



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Arquitectura

Licenciatura en Urbanismo



Análisis urbano-funcional de la línea 1 del Metrobús en
la Ciudad de México

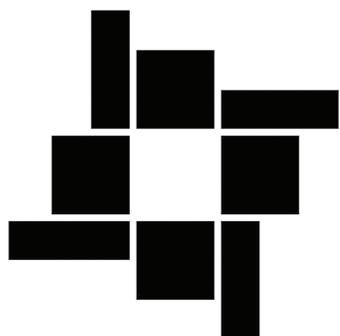
T E S I S

Que para obtener el título de

U R B A N I S T A

presenta

González Antonio Jonathan Orlando



México D.F.

Octubre/2015



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

Segoe Script

Índice de contenido

Índice de imágenes, tablas y gráficas	4
Introducción	6
Protocolo de investigación	7
Capítulo I.- El Metrobús en México	13
I.1.- Antecedentes y características	14
I.2.- Antecedentes internacionales	16
I.3.- Antecedentes del Metrobús en México	17
1.3.1.-El BRT de León, Guanajuato	17
I.4.- La operación del corredor insurgentes antes del Metrobús	19
I.5.- La operación del corredor insurgentes después del Metrobús	22
1.5.1.- Aspectos cualitativos	22
1.5.2.- Aspectos cuantitativos	24
1.5.3.- Aspectos ambientales	26
Capítulo II.- Análisis de la oferta y la demanda de usuarios actuales en el corredor Insurgentes	31
II.1.- Capacidad histórica del corredor Insurgentes (2005 – 2011)	32
II.2.- Demanda histórica del corredor Insurgentes (2005 – 2011)	33
II.3.- Proyecciones de oferta y demanda de usuarios (2011 – 2030)	33
II.4.- El estado actual del corredor Insurgentes	35
II.4.1- Operación del sistema Metrobús en el corredor Insurgentes	35
II.4.2- Rutas de servicio	35
II.4.3- Patios de encierro	36
II.5.- Estaciones con mayor demanda de usuarios	38
Capítulo III.- Análisis territorial del corredor Insurgentes	41
III.1.- Análisis demográfico en las zonas más importantes del corredor	42
III.2.- Viajes con destino en Insurgentes	50
Capítulo IV.- Reestructuración del corredor Insurgentes	61
Percepciones sociales	64
VI.1 Escenarios propuestos.....	66
Escenario I.- Sustitución de autobuses a flota de únicamente bi-articulados. ---	66
Escenario II.- Construcción de un carril de rebase para servicio exprés	67
Escenario III.- Tren ligero en el corredor Insurgentes	71
Escenario IV.- Construcción del metro subterráneo en el corredor Insurgentes --	75
IV.2.- Comparativa entre escenarios	75
Escenario 1	76
Escenario 2	76
Escenario 3	76
Escenario 3.1	77
Escenario 4	78
IV.3.- Resultados	80
Capítulo V.- Conclusiones y recomendaciones	85
Conclusiones	86
Recomendaciones	88
Referencias	90
Anexos	93

Índice de gráficas, imágenes y tablas.

Imágenes

Imagen I.1. Espectro de calidad de transporte público sobre llantas. -----	15
Imagen I.2. Línea del tiempo en la historia del BRT en el mundo12 -----	16
Imagen I.3. Actividades realizadas por las dependencias en el proyecto del SIT-Optibús. -----	18
Imagen I.4. SIT-Optibús de León, Guanajuato. -----	19
Imagen I.5. Aspecto de la avenida Insurgentes antes de la operación del sistema Metrobús. -----	20
Imagen I. 6. Construcción del corredor de BRT en Insurgentes. -----	21
Imagen I.7 División por secciones para elaboración de encuesta de satisfacción a usuarios de Metrobús línea 1 -----	23
Imagen I.8 Concentraciones medianas de contaminantes en el interior de vehículos de transporte público en la Av. Insurgentes. -----	27
Imagen I.9. Extensión de 8.5 km en el corredor de Metrobús Insurgentes Sur. -----	27
Imagen II.1. Rutas de servicio en la línea 1 de Metrobús Insurgentes (*La ruta A8 no viene especificada con código por Metrobús, sin embargo, esta ruta se puede observar en campo.). -----	35
Imagen II.2. Usuarios por estación y “zonas críticas” en la línea 1 de Metrobús. -----	40
Imagen III.1. Área de cobertura de las estaciones de mayor demanda en el corredor Insurgentes. -----	43
Imagen III.2. Población total por AGEB alrededor de la zona de cobertura de las estaciones de mayor demanda en el corredor Insurgentes. -----	44
Imagen III.3. Densidad de población por AGEB en el área de cobertura de las estaciones de mayor demanda en el corredor Insurgentes. -----	45
Imagen III.4. Densidad de vivienda por AGEB en la zona de cobertura de las estaciones de mayor demanda en el corredor Insurgentes. -----	46
Imagen III.5. Total de empleos remunerados por AGEB en la zona de cobertura de las estaciones de mayor demanda en el corredor Insurgentes. -----	47
Imagen III.6. Nivel socio-económico por AGEB en la zona de cobertura de las estaciones de mayor demanda en el corredor Insurgentes. -----	48
Imagen III.7. Viajes totales con destino a los distritos cercanos a la estación Indios Verdes del Metrobús Insurgentes. -----	52
Imagen III.8. Viajes totales con destino a los distritos cercanos a la estación Buenavista del Metrobús Insurgentes. -----	53
Imagen III.9. Viajes totales con destino a los distritos cercanos a las estaciones Reforma y Glorieta de Insurgentes del Metrobús Insurgentes. -----	54
Imagen III.10. Viajes totales con destino a los distritos cercanos a la estación Chilpancingo del Metrobús Insurgentes. -----	55
Imagen III.11. Viajes totales con destino a los distritos cercanos a la estación Poliforum del Metrobús Insurgentes. -----	56
Imagen III.12. Viajes totales con destino a los distritos cercanos a la estación Dr. Galvez del Metrobús Insurgentes. -----	57
Imagen III.13. Viajes totales con destino a los distritos cercanos a la estación Perisur del Metrobús Insurgentes. -----	58
Imagen III.14. Viajes totales con destino a los distritos cercanos a la estación El Caminero del Metrobús Insurgentes. -----	59
Imagen IV.1. Tabla comparativa entre Metro línea 12, Tren Ligero y Metrobús línea 1. -----	62

Imagen IV.2. Capacidad y costo de autobuses para el corredor Insurgentes de Metrobús. -----	66
Imagen IV.3.- Propuesta de dos nuevas rutas expresas. -----	71
Imagen IV.4.- Propuesta de tranvía para el centro histórico de la Ciudad de México. ----	72
Imagen IV.5.- Adaptación de la imagen "Capacidad de pasajeros y costos capitales para opciones de transporte masivo", en Guía de Planificación de Sistemas BRT -----	75
Imagen IV.6.- Trazo del corredor Insurgentes con y sin conexión a la línea 3 del metro en la estación Miguel Ángel de Quevedo. -----	77

Tablas

Tabla I.1. Comparación de encuestas realizadas a usuarios de Metrobús. -----	23
Tabla I.2. Incorporación de autobuses por año en Metrobús línea 1. -----	28
Tabla II.1. Comparación de superficie en los patios de encierro por sistema BRT. -----	37
Tabla II.2. Estaciones con el promedio de mayor demanda de usuarios diariamente en la línea 1 de Metrobús ("Zonas Críticas"). -----	38
Tabla III.1.- Análisis demográfico del entorno cercano (2km) de las estaciones con mayor demanda en la línea 1 de Metrobús. -----	50
Tabla III.2.-Distritos utilizados de la encuesta Origen-Destino 2007 y la estación de Metrobús cercana a ellos. -----	51
Tabla IV.1.- Tabla resumen de características de cada medio de transporte masivo. ----	65
Tabla IV.2.-Costo y descripción de acciones a realizar en el escenario 1. -----	67
Tabla IV.3.-Costo y descripción de acciones a realizar en el escenario 2. -----	68
Tabla IV.4.- Comparativa entre ancho de banquetas antes y después de la implementación del carril de rebase para Metrobús en Insurgentes. -----	69
Tabla IV.5.- Comparativa entre las características principales de sistemas BRT con rebase. -----	71
Tabla IV.6.- Costo y descripción de acciones a realizar en el escenario 3. -----	73
Tabla IV.7.- Costo y descripción de acciones a realizar en el escenario 4. -----	74

Gráficas

Gráfica I.1.- Comparativo de la percepción de comodidad en el Metrobús en distintas encuestas. -----	24
Gráfica I.2.- Comparativo del Metrobús con otros medios de transporte urbano. -----	25
Gráfica I.3.- Comparativo tiempo realizado por los usuarios del corredor Insurgentes antes y después del Metrobús por sección. -----	26
Gráfica II.1.- Evolución del número de pasajeros transportados en el corredor Insurgentes de Metrobús -----	32
Gráfica II.2.- Usuarios de la línea 1 de Metrobús por horario en un día hábil.-----	33
Gráfica II.3.- Proyección de la demanda en el corredor Insurgentes de Metrobús. -----	34
Gráfica II.4.- Usuarios por estación en la línea 1 de Metrobús. -----	39
Gráfica IV.1.- Viajes diarios por estación en la hora pico matutina y vespertina en la línea 1 de Metrobús. -----	70
Gráfica IV.2.- Comparación de la demanda atendida por el corredor Insurgentes en base a los escenarios propuestos. -----	80
Grafica IV.3.- Indicadores de calidad entre sistemas masivos de transporte público. ----	81
Grafica IV.4.- Indicadores de calidad entre sistemas masivos de transporte público. ----	82

Introducción

El Distrito Federal tiene una gran importancia para toda la República Mexicana, en ella se encuentran concentrados los tres poderes de gobierno, distintas Secretarías de Estado y es el área jurisdiccional con mayor porcentaje de aportación al Producto Interno Bruto del país (17.9%). En el Distrito Federal el sector económico terciario es el que tiene la mayor aportación al PIB Federal (INEGI, 2009), pues en la ciudad se encuentran las grandes cadenas hoteleras, servicios financieros, restaurantes, actividades inmobiliarias, servicios culturales y de transporte.

Un gran porcentaje de las aportaciones al PIB y la recaudación de impuestos en la Ciudad de México, se ve concentrada en los grandes centros de servicios y de trabajo, donde se encuentran las oficinas corporativas de empresas transnacionales y edificios de importancia nacional, los cuales crean una gran oferta de empleo y generan una necesidad en la dotación de infraestructura para estas zonas laborales.

En la Ciudad de México, la movilidad ha girado en torno al uso del automóvil particular, dejando en segundo plano al transporte público, a tal grado que se registra un aumento de más del 10 por ciento anual en el parque vehicular (Transeunte.org, 2010), generando así problemas ambientales y en el funcionamiento del sistema vial, los cuales se han convertido en una prioridad a resolver. Este caos vial se ve reflejado en la reducción de la velocidad promedio de 17 km/hr a 7 km/hr (SETRAVI, 2013) de la ciudad y sus congestionamientos, los cuales ocurren diariamente sobre las principales avenidas de la ciudad tales como Viaducto, Periférico y la Avenida de los Insurgentes.

La Avenida Insurgentes tiene la propiedad de conectar los núcleos financieros y de servicios más importantes del país, convirtiéndola en una arteria vial de gran magnitud e importancia para el desarrollo económico de la ciudad; sin embargo, la

acumulación de los viajes diarios hacia esta zona fueron generando mayor saturación de automóviles y un sistema de transporte público ineficiente, inseguro y altamente contaminante.

En 2005 se creó Metrobús siendo la avenida Insurgentes el primer corredor en utilizarlo. Este sistema de transporte retoma los beneficios del transporte masivo de pasajeros por medio de autobuses articulados y los combina con la creación de una organización encargada de regular la operación del transporte público aumentando la velocidad promedio en los viajes sin poner en riesgo a los usuarios.

La idea para la primera línea del sistema de Autobuses de Tránsito Rápido (BRT por sus siglas en Inglés de Bus Rapid Transit) "Metrobús", fue retomada de sistemas similares implementados en ciudades Latinoamericanas, donde resultó ser una solución al caos vial, mejorando el servicio de transporte público.

El sistema Metrobús fue planeado sobre el corredor Insurgentes tras haber realizado estudios sociales, financieros y ambientales que demostraron su viabilidad con una demanda aproximada de 250 mil viajes diarios, hechos que generaron interés por parte de los concesionarios, además de que esta avenida contaba con características geométricas y topográficas adecuadas. La demanda, con el paso del tiempo y la aceptación del sistema fue creciendo en virtud de la aparición de nuevos servicios, el crecimiento de la población y los empleos generados sobre el corredor y su zona de influencia.

PROBLEMÁTICA

Tras ocho años de operación, el crecimiento de la demanda en el corredor Insurgentes ascendió de 250 mil a 440 mil pasajeros por día (Metrobús, 2012), llevando al sistema Metrobús a ofrecer un bajo nivel operativo en las horas de máxi-

ma demanda, ya que en las terminales y zonas de mayor afluencia de usuarios, los autobuses operan a su máxima capacidad, y la infraestructura sigue siendo la misma, causando impactos económicos y sociales cada vez mayores.

De continuar el ascenso en la demanda, el sistema Metrobús necesitará buscar nuevas opciones en su diseño y organización para garantizar una opción de movilidad sustentable que ofrezca comodidad, rapidez y eficiencia.

JUSTIFICACIÓN

La importancia del análisis del crecimiento de la demanda y el impacto que ocasionaría una reestructuración del sistema actual de la línea 1 del Metrobús, es indispensable para tener escenarios y posibles soluciones a los problemas actuales y futuros.

Debido a que la avenida Insurgentes tiene una gran importancia tanto económica como social, las soluciones a la operación del transporte público deberán atender con la mayor eficacia la demanda de viajes a esta zona.

Es por eso que el sistema BRT es considerado por muchos autores como una de las soluciones al problema del tránsito excesivo en las ciudades así como para la disminución de emisiones realizadas al ambiente por el sector transporte, el cual es el responsable de emitir alrededor de una cuarta parte de la contaminación global, haciendo una prioridad el hacer mejoras en la forma en que se transportan diariamente las personas.

Las propuestas realizadas por especialistas en el tema que serán analizadas en este estudio, estarán fundamentadas a partir de datos actuales encontrados en estudios realizados, datos obtenidos en campo, así como la estadística de la operación obtenida por Metrobús en sus encuestas origen-destino y sus aforos por estación, con el fin de determinar una solución objetiva a partir de datos reales de costo y operación.

El enfoque a través del cual se ana-

lizan los datos, está encaminado a buscar los aspectos que dan sustento y oportunidad de desarrollo a la movilidad sustentable, es decir, las propuestas para hacer de la movilidad en las ciudades una actividad que disminuya la contaminación y sea sustentable, a través de la planeación urbana y promover el uso del transporte público y la bicicleta. En este enfoque se pone especial énfasis en priorizar al peatón sobre cualquier medio de transporte, haciendo ciudades eficientes a escala humana y con mayor calidad de vida.

Otro enfoque utilizado en la realización de esta tesis es el de la relación oferta/demanda y su impacto en el transporte y uso de suelo, la geografía urbana es la ciencia que ayudará a observar el impacto de la demanda de transporte en un sitio y a mostrar cómo responden los usos del suelo que se encuentran en una zona, logrando proponer una oferta de transporte suficiente para captar los posibles usuarios que estarán en función de la densidad de población, el nivel socioeconómico y las actividades comerciales y laborales que se encuentren en cada una de las zonas analizadas.

HIPÓTESIS

En este trabajo de tesis se busca analizar la forma en que opera el Metrobús actualmente e identificar variables que puedan ser mejoradas a través de una reestructuración en el sistema, con el fin de ofrecer un mejor servicio a mediano y largo plazo en las estaciones de mayor demanda y en los horarios de saturación de la línea 1 en el corredor Insurgentes.

Es posible hacer mejoras en la operación del sistema Metrobús en las estaciones de mayor demanda del corredor Insurgentes, para atender la creciente demanda de viajes, mediante una reestructuración

física y operativa, que permita lograr un aumento en los pasajeros transportados diariamente y mejore así su eficacia.

HIPÓTESIS PARTICULARES

- A través del análisis de la operación del corredor Insurgentes, se puede obtener un escenario actual del funcionamiento del Metrobús y detectar posibles mejoras en las estaciones de mayor demanda.
- El incremento y mejora de la flota de autobuses que operan en la línea 1 de Metrobús, la reorganización de las rutas de servicio y la construcción de un carril de rebase para ofrecer un servicio exprés, aumentará la capacidad del sistema y su vida útil.
- Con una mayor aceptación del sistema Metrobús a través del tiempo, aumentará así su demanda, hasta que en un mediano o largo plazo la infraestructura actual será insuficiente para dar servicio de forma cómoda y eficaz, siendo necesaria la ampliación o mejora de la infraestructura con la que se cuenta actualmente.
- El crecimiento proyectado de la demanda en el sistema Metrobús puede ser atendido por un sistema integral de BRT, es decir, un sistema que ofrezca la posibilidad de cambios intermodales accesibles y rutas de servicio acorde a las necesidades de los usuarios para lograr cortos tiempos de traslado.
- Es posible que con el crecimiento de la demanda del corredor Insurgentes, al necesitar mejoras en su infraestructura y funcionamiento para atenderla, el impacto urbano que se generaría en el corredor cambiaría la tendencia actual normativa de uso de suelo e intensidad de construcción.

OBJETIVO GENERAL

El objetivo de la investigación es ofrecer aportaciones que ayuden a resolver los problemas de saturación del sistema Metrobús en su corredor Insurgentes, mediante el análisis de su operación y demanda, con el fin de buscar soluciones objetivas basadas en el costo-beneficio para mejorar la calidad del servicio así como el impacto urbano que ha tenido a lo largo de su operación hasta la actualidad.

OBJETIVOS PARTICULARES

- 1) Conocer los antecedentes que dieron origen a la gestión de un programa de transporte que dió como resultado al sistema BRT llamado Metrobús en la Ciudad de México, así como realizar una evaluación comparativa del nivel de servicio brindado al usuario a través de los años de operación.
- 2) Identificar el estado en que comenzó a operar el sistema y hacer una comparación con la operación actual analizar la oferta y la demanda de pasajeros actual e histórica.
- 3) Analizar los orígenes y destinos de los viajes en las estaciones de mayor afluencia de usuarios hacer una evaluación de diversas propuestas y seleccionar la mejor solución operativa en cuanto al costo, su operación y el nivel de servicio brindado, así como la inclusión de un sistema que ofrezca una intermodalidad fácil y eficiente en el corredor Insurgentes.
- 4) Analizar distintos escenarios posibles para determinar los costos y beneficios que implica cada propuesta de solución a la problemática.

METODOLOGÍA

- 1) Recopilación y análisis de información documental, datos demográficos actuales, demanda de usuarios, operación de la línea 1 de Metrobús y costos de operación y construcción de sistemas de transporte masivo.
- 2) Análisis de la demanda por estaciones, AGEBS, medición de longitudes y superficies mediante sistemas de información geográfica.
- 3) Recopilación y análisis de la información empírica. Se realizaron encuestas y se compararon para fundamentar cambios y propuestas.
- 4) Análisis de información oficial de Metrobús de los ascensos y descensos en estaciones de mayor afluencia para tener una aproximación de cifras de usuarios en Horas de Máxima Demanda (HMD)
- 5) Análisis de datos demográficos y de usuarios para crear un modelo actual e histórico de usuarios.
- 6) Obtención del perfil de estaciones con mayor afluencia de usuarios en Metrobús Insurgentes.
- 7) Agrupación de costos de operación y construcción
- 8) Comparación de costos entre medios de transporte público masivo.
- 9) Evaluación de cuatro escenarios de mejoramiento del servicio en el corredor Insurgentes con ayuda del software de modelación TRANUS. Los escenarios son implementación de buses bi-articulados en el corredor Insurgentes, rutas expresas de Metrobús contando con rebase entre

autobuses para mejorar la capacidad del sistema, sustitución del corredor Metrobús en Insurgentes por Metro subterráneo y por último, implementación de tren ligero sustituyendo al Metrobús en Insurgentes.

10) Análisis de resultados de modelación de la demanda en base a escenarios propuestos.

11) Realización de conclusiones

ESTRUCTURA

Este documento está dividido en cuatro capítulos, el primero aborda el contexto histórico de la implementación de los corredores de autobuses de tránsito rápido en Latinoamérica y la forma en que llegó a México primero en la ciudad de León en Guanajuato y después en la Ciudad de México bajo el nombre de Metrobús, así mismo se describe la situación actual del sistema.

El segundo capítulo está dedicado para el análisis cuantitativo de la demanda actual de usuarios en el corredor Insurgentes, el cual concluye con la identificación de las estaciones con mayor afluencia de usuarios en todo el corredor.

En el tercer capítulo del documento se expone el resultado de un análisis territorial del corredor en el contexto de toda la ciudad y se utilizan datos demográficos y de transporte para visualizar su contenido.

En el cuarto capítulo se exponen las características de los principales sistemas de transporte público urbano masivo y se realiza un análisis comparativo entre ellos y entre posibles opciones de intervención en la avenida Insurgentes teniendo en cuenta costos y beneficios de cada escenario propuesto. Por último, el capítulo cinco sirve para hacer reflexiones, análisis y conclusiones de todo el estudio para hacer propuestas al respecto.

Análisis urbano-funcional de la línea 1 del Metro-bús, corredor Insurgentes de la Ciudad de México

Capítulo I.- El Metrobús en México

“Muchas ciudades terminan posponiendo las cosas porque quieren entenderlo todo. Ellos no entienden que la innovación está a punto de partida. El cuidado de una ciudad es un proceso que se inicia, y luego dar el espacio población para responder.” -Jaime Lerner, ex-alcalde de Curitiba, Brasil-

En este capítulo se abordan los temas que incluyen los aspectos conceptuales que se deben conocer para explicar el funcionamiento de un sistema de tipo Bus Rapid Transit que en la Ciudad de México fue denominado con el nombre de "Metrobús". Además se presenta el panorama histórico del proceso de planeación del Metrobús como sistema así como la problemática que llevó a las autoridades a tomar la decisión de su implementación.

I.1.- Antecedentes y características del BRT

El Sistema de Autobuses de Tránsito Rápido (BRT, por sus siglas en inglés de Bus Rapid Transit) *"es un sistema de alta calidad basado en buses que proporcionan movilidad urbana rápida, cómoda y de relación favorable costo-beneficio a través de la provisión de infraestructura de carriles segregados, operación rápida y frecuente así como excelencia en mercadeo y servicio al cliente"* (ITDP, 2010). Este sistema de movilidad ofrece las ventajas operativas de un transporte masivo como el Tren Ligero (LRT) o el metro, pero a una fracción de su inversión, aportando flexibilidad en su planeación.

Este concepto de transporte público urbano ha ido ganando terreno y aceptación en ciudades que buscan soluciones de transporte con relaciones favorables de costo/beneficio. Con sistemas exitosos operando en todo el mundo, se implementan sistemas de BRT para demandas donde el metro o tren ligero, no resultan un beneficio monetario para la operadora.

La implementación exitosa de los sistemas de transporte urbano basados en Autobuses de Tránsito Rápido, se logra a través de la planeación y estructuración de las características físicas y operacionales que se ven involucrados en el funcionamiento del sistema.

Un sistema BRT debe cumplir al menos cinco características:

- Primera) debe ofrecer un infraestructura física que cuente con carriles segregados o carriles solo-bus, predominantemente en el carril central.
- Segunda) Debe existir una red integrada de rutas y corredores.
- Tercera) Las estaciones de abordaje deben ser mejoradas para que sean convenientes, cómodas, seguras y protegidas a condiciones climáticas.
- Cuarta) Las estaciones deben tener un acceso a nivel entre la plataforma y el piso del vehículo, considerando también estaciones especiales y terminales que faciliten la integración física fácil entre rutas troncales, servicios de alimentación y otros sistemas de transporte masivo en caso de ser posible en cada caso,.
- Quinta) Debe ofrecer una mejoría al espacio público circundante (ITDP, 2010).

En cuanto a las características operacionales de un sistema BRT es posible mencionar siete aspectos que debe cumplir como:

- Primero) el ofrecer un servicio frecuente y rápido entre orígenes y destinos principales.
- Segundo) Ofrecer una capacidad amplia para demanda de pasajeros a lo largo de los corredores.
- Tercero) Un abordaje y desembarque rápido de pasajeros.
- Cuarto) Recaudo y verificación de la tarifa antes de abordar.
- Quinto) El marco institucional y de negocios debe asegurar una entrada al sistema restringida a operadores prescritos bajo un negocio y estructura administrativa reformada (es decir, un "sistema cerrado"); permitir los procesos licitados competitivamente y totalmente transparentes para adjudicación de contratos y concesiones. Este marco debe también gestionar eficientemente, eliminando

o minimizando los subsidios del sector público hacia la operación del sistema, también debe tener un sistema de recaudo de la tarifa operado y gestionado independientemente y por último, dar seguimiento del control de calidad por parte de una entidad o agencia independiente.

Sexto) Contar con tecnologías de vehículos de bajas emisiones de contaminantes y ruido, tecnología de recaudo y verificación de tarifa automática, gestión del sistema a través de un centro de control centralizado, utilizando aplicaciones de Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS) tales como localización automática de vehículos y dar prioridad semafórica o separación de nivel en intersecciones.

Séptimo) Mercadeo y servicio al cliente, ya que procura dar una identidad distintiva al sistema, ya que debe existir excelencia en el servicio al cliente y provisión de facilidades clave anteriormente mencionadas. También debe facilitar el acceso entre el sistema y otras opciones de movilidad (tales como personas a pie, bicicletas, taxis, transporte colectivo, vehículos motorizados privados, etc.); así mismo debe ofrecer una infraestructura especial para facilitar el acceso a grupos en desventaja física, tales como los niños, personas de la tercera edad y los discapacitados físicamente, así como contar con mapas de rutas, señalización y/o pantallas de información en tiempo real claros que se ubican de manera visible dentro de estaciones y/o vehículos (ITDP, 2010).

Las características mencionadas incluyen los conceptos medulares para su funcionamiento, el cual, estará en función de las necesidades y tamaño de cada ciudad donde se proyecte su implementación.

Los sistemas BRT aumentan su nivel de eficacia conforme la planeación y complejidad del sistema sea más robusta, ya que no ofrecen el mismo servicio los autobuses que circulan por carriles segregados a un sistema de BRT completo, donde el sistema está más integrado y con mayor infraestructura para la operación. En la imagen I.1 se muestra un esquema en el que se toma al sistema de BRT completo como el que ofrece mayor calidad en el servicio. (ITDP, 2010).



Imagen I.1. Espectro de calidad de transporte público sobre llantas. Fuente: "Guía de Planificación de Sistemas BRT". ITDP. 2010.

Existen muchos ejemplos de sistemas BRT en el mundo actualmente, unos más exitosos y ambiciosos que otros, así que es necesario analizar y estudiar los ejemplos más representativos, para conocer e identificar las ventajas que ha ofrecido en otras ciudades para disminuir el impacto ambiental del transporte público y particular, mostrando así la eficacia del transporte masivo de superficie.

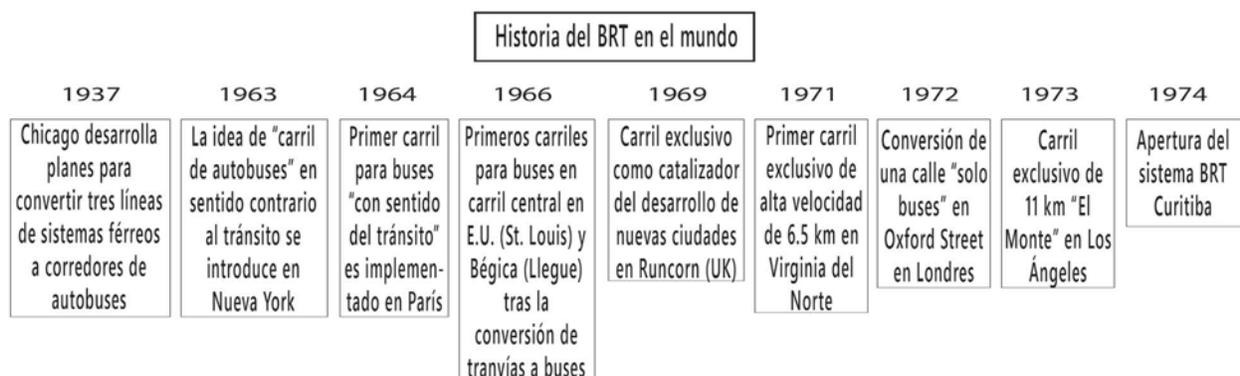
I.2.- Antecedentes internacionales

Aunque la historia de este sistema es reciente, se pueden rastrear sus orígenes al año 1937, en el cual se comenzaron a desarrollar planes para convertir tres líneas de sistemas férreos en corredores expresos de autobuses en la ciudad de Chicago. Sin embargo, la idea de carril exclusivo fue creada en la década de los años 60 con la planeación de carriles segregados para autobuses en sentido contrario al tránsito en la ciudad de Nueva York.

Posteriormente, se crearon carriles exclusivos para autobuses en otras ciudades de Estados Unidos como St. Louis, Virginia del Norte y Washington, así como en ciudades europeas, tales como Liege en Bélgica y Runcorn, Reino Unido.

Sin duda, la historia de los sistemas modernos de BRT como los entendemos hoy en día, es decir, no sólo un carril confinado de vehículos sino un modelo integral de organización y transporte, comienza en la ciudad de Curitiba, en Brasil, en donde al ser limitados los recursos para el transporte público, en lugar de la construcción de un sistema férreo de metro, el equipo del entonces alcalde Jaime Lerner (1974), construyó un sistema de corredores de carriles exclusivos que salían del centro de la ciudad, utilizando tecnología en sus autobuses y reduciendo así el costo de la construcción en infraestructura para el transporte público. La imagen I.2 presenta una línea del tiempo con los años y sucesos importantes en la historia del BRT, desde sus inicios, hasta la construcción del primer sistema con grandes logros para la regeneración del espacio urbano en la ciudad de Curitiba en Brasil. Éste último es el ejemplo más significativo de la eficiencia del sistema BRT tronco-alimentado, brindando casi todas las ventajas del metro subterráneo pero con un costo de inversión mucho menor.

Imagen I.2. Línea del tiempo en la historia del BRT en el mundo. *Fuente: Elaboración propia con datos de: "Guía de Planificación de Sistemas BRT". ITDP. 2010.*



Tras el éxito obtenido por las ciudades Brasileñas como Curitiba (1974), Sao Paulo (1975), Goiânia (1976), Porto Alegre (1977) y Belo Horizonte (1981); se comenzaron a construir sistemas BRT en ciudades de todo el mundo, pero generalmente se planearon para ciudades medianas y pequeñas, lo cual generó la creencia en varios ingenieros en transporte, de que un sistema de autobuses no podía prestar servicio cómodamente a más de 12,000 pasajeros por dirección, por sentido, por carril, a cualquier velocidad razonable. Sin embargo, la creación del sistema BRT "Transmilenio" en Bogotá ha transformado la percepción acerca de esta forma de movilidad, ya que en esta ciudad de 7 millones de habitantes y una densidad de 240 habitantes por hectárea, ha demostrado que un sistema BRT es capaz de proporcionar un desempeño de alta capacidad para megaciudades (ITDP,2010).

Un aspecto a destacar en la puesta en marcha del sistema Transmilenio, es que se establecieron medidas complementarias para apoyar y fomentar el uso del transporte público. Estas acciones incluyen 300 km de ciclovías, mejoras al espacio público peatonal, el cierre de 120 kilómetros de calles en los días Domingo, programas sociales y educativos para fomentar la cultura y respeto hacia usuarios del sistema, el día sin carro más grande del mundo y la restricción vehicular a través de limitaciones en estacionamientos y un programa que sólo permite el uso de vehículos en ciertos días en hora pico a partir del número de las placas en el automóvil (ITDP, 2010).

Desde la creación de Transmilenio en el año 2000, el sistema ha ido creciendo en demanda e infraestructura, ya que para el año 2006 el sistema alcanzó los 84 km de corredores troncales y 420 km de rutas de alimentación. Actualmente, la cobertura del sistema BRT de Bogotá, cuenta con seis corredores tronco-alimentados con aproximadamente 310 km de vía en ambos sentidos y transporta 1'650,000 usuarios diariamente incluyendo los abordajes en las rutas alimentadoras (ITDP, chinabrt.org, Junio 2011)

Tras las mejoras a la movilidad obtenidas en Brasil y Colombia, la implementación de los sistemas BRT se fue haciendo cada vez más común en países latinoamericanos y del resto del mundo, es por eso que en México no tardó mucho en aparecer el primer sistema de este tipo.

I.3.- Antecedentes del Metrobús en México

El éxito y reconocimiento a nivel mundial de los sistemas BRT desde la implementación en importantes ciudades (Curitiba, Sao Paulo, Quito, Bogotá, etc.) generó en México, como en otras ciudades de países en desarrollo y de Latinoamérica, la preocupación por el medio ambiente y la búsqueda de la forma de combatir los niveles de contaminación a través de sistemas de transporte público eficientes y económicos como el sistema BRT. A continuación se describe brevemente la experiencia del BRT en dos ciudades mexicanas en donde se ha implementado: León, Guanajuato y la Ciudad de México.

I.3.1.-El BRT de León, Guanajuato

La planeación del SIT-Optibús (Sistema Integrado de Transporte) surge a partir del Plan Integral de Vialidad y Transporte Urbano (PITUL, 1989), el estudio de reestructuración de rutas realizado por la SEDESOL en 1995, el Plan Estratégico de Ordenamiento Territorial, un diseño funcional detallado del SIT en 1999 y de la asistencia y asesoramiento especializado en los años 2003 y 2004. Cabe mencionar que para el año 2000 el municipio de León tenía una población de 1 millón 134 mil 842 habitantes.

En León, al igual que en muchos municipios del país, se presentaba un gran rezago y se prestaba un mal servicio en los sistemas de transporte público. Por ello, el Municipio de León, mediante convenio suscrito con el Gobierno del Estado, desde 1995, desempeñó funciones en la vigilancia del servicio de transporte urbano, promoviendo a través de

acuerdos tarifarios, acciones enfocadas a disminuir estos rezagos; y fue hasta el 2002 que se le dio la municipalización para brindar el servicio.

El SIT-Optibús inicia sus operaciones el 23 de Septiembre del 2003, siendo el primer proyecto BRT en México. El proyecto fue el primer ejercicio en materia interinstitucional y colegiada a nivel estratégico del municipio, al participar activamente todas las dependencias municipales involucradas directamente, lideradas por la Secretaría del H. Ayuntamiento, que rendía informes directamente al Presidente Municipal, asignándosele a cada dependencia un rol específico, desde el año 2000 (Dirección General de Movilidad de León, 2011). En la imagen I.3 se presentan las actividades desempeñadas por los distintos actores o dependencias que se vieron involucradas en la planeación y operación del SIT-Optibús.

La primera etapa del Optibús estaba integrada por tres rutas troncales que constan de 52 autobuses articulados, seis rutas auxiliares y 31 rutas alimentadoras de 500 autobuses tradicionales. La inversión del SIT fue de 200 millones de pesos, con una participación del



Imagen I.3. Actividades realizadas por las dependencias en el proyecto del SIT-Optibús.

Fuente: Gobierno de Nuevo León. Marzo, 2006.

45 por ciento del Gobierno del Estado y un 55% del Municipio de León, además de 20 millones de inversión privada en paraderos a cambio de publicidad por 15 años.

El sistema es operado por 13 empresas transportistas que invirtieron 220 millones de pesos, en la adquisición de 52 autobuses articulados, adquisición de terrenos, construcción de instalaciones administrativas y talleres, así como la contratación de capacitación del personal.

Optibús en su primera etapa realizó 220 mil viajes al día, que representan un 30 por ciento de la movilidad total en la ciudad (650 mil viajes/día). Además, los usuarios calificaron con 8.4 la calidad y seguridad en el servicio (Gobierno de Nuevo León, Marzo, 2006).

En Agosto de 2010 se inauguró la segunda etapa del SIT-Optibús, en la que se amplió la cobertura del servicio hacia las zonas poniente, surponiente y suroriente de León, con 29 unidades nuevas articuladas conocidas como "Orugas", que vienen a suplir a 90 autobuses, los cuales reducen el consumo de diesel y la emisión de contaminantes al medio ambiente. Con esta segunda etapa del SIT, se integran 69 rutas, 5 troncales, 47 alimentadoras y 17 auxiliares, además de mantener en funcionamiento 31 rutas convencionales. Debido al éxito de este sistema, la planeación de la tercera etapa del SIT-Optibús está siendo gestionada y se estima un costo aproximado de 800 millones de pesos para su construcción (CTS México, 2010).

La llegada a México del sistema BRT a través del Optibús León (Imagen I.4), marcó la pauta para que se realizara un proyecto de transporte de este tipo en la Ciudad de México, lo cual sucedería pocos años después en la Avenida de los Insurgentes.

I.4.- La operación del corredor Insurgentes antes del Metrobús

En la Zona Metropolitana del Valle de México circulan más de 3.2 millones de vehículos de los cuales 2.3 millones son automóviles particulares; sin embargo, el 81 por ciento de los viajes se realizan en transporte público, mientras que sólo el 19 por ciento se realiza



Imagen I.4. SIT-Optibús de León, Guanajuato. Fuente: Transeunte.org. Enero 2011.



Imagen I.5. Aspecto de la avenida Insurgentes antes de la operación del sistema Metrobús. Fuente: ITDP, *Presentación de Claudia Sheinbaum. Metrobús. Mayo 2005.*

en automóviles particulares (Sheinbaum, 2005).

Esto trajo consigo fuertes problemas de congestionamiento en las vialidades, sobre todo en las horas pico, en las cuales el nivel de servicio que se alcanzaba era el mínimo, considerando la importancia económica y social que representa la avenida más grande de Latinoamérica, como es la Avenida de los Insurgentes, la cual se compone de tres secciones: Insurgentes Norte, Centro y Sur, donde en estos periodos se observaba una velocidad promedio de circulación de 12 km/hr (Sheinbaum, 2005).

En la imagen I.5 se muestran fotografías del estado del corredor Insurgentes antes de la implementación del sistema Metrobús, destacando los aspectos de congestión de autobuses y de automóviles aunado a una imagen urbana de baja calidad, ya que la operación se desarrollaba en derecho de vía tipo C (tránsito mixto).

A estas condiciones, se deben sumar las deficiencias operativas y de servicio en el transporte como unidades con diseños deficientes, mantenimiento mínimo, zonas de parabuses no respetadas ya que el ascenso y descenso se realizaba al deseo del usuario ocasionando un desorden vial, la competencia por el pasaje, invasión de carriles, etc.

Es por eso, que el Gobierno del Distrito Federal planteó en 2004 el desarrollo de un sistema de transporte público de pasajeros basado en corredores estratégicos sobre las principales avenidas de la ciudad. Estos corredores de transporte se comprometieron en un Programa Integral de Transporte y Vialidad (PITV), el cual se rige por el Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la ZMVM 2002-2010 (PROAIRE), con el objetivo de disminuir los niveles de contaminación y garantizar el flujo eficiente y seguro de personas para mejorar así la calidad de vida de los habitantes.

Las características de un corredor de transporte incluyen que sea público y masivo, con operación regulada y controlada, con un recaudo centralizado, con carriles reservados total o parcialmente en su derecho de vía, con paradas fijas predeterminadas, infraestructura de estaciones para el ascenso y descenso de pasajeros; finalmente que los transportistas estén organizados dentro de una empresa.

Tras el éxito obtenido en corredores de transporte público masivo de superficie tales como los sistemas BRT de países como Brasil, Colombia, y la experiencia del SIT-Optibús en México en la ciudad de León Guanajuato, se comenzó la planeación de un sistema de transporte para la Ciudad de México.

Después de estudios sociales, económicos, financieros, entre otros, se seleccionó a la Av. Insurgentes para implementar el proyecto de corredor de transporte urbano ya que reunía características óptimas de potencial como una demanda esperada de 250 mil

pasajeros diarios, el interés de los concesionarios de la época y la viabilidad por características geométricas y topográficas, en 2005 se puso en marcha el sistema BRT conocido como Metrobús, contando con 19.5 km en su recorrido, 34 estaciones intermedias, 2 rutas de servicio, una flota de 80 autobuses articulados con tecnología certificada EURO III, una velocidad promedio de servicio de 23 km/hr¹ y un intervalo de paso aproximado de 2 minutos. Además, con uso de mejores tecnologías, el cambio modal de usuarios, la reducción del tiempo de viaje y de vehículos, así como la maximización en el uso de la flota de autobuses, se logró una reducción de 73,046 toneladas anuales de emisiones contaminantes (Sheinbaum, 2005). La imagen I.6 muestra fotografías tomadas en las obras de construcción de las estaciones y del cambio de la superficie por rodamiento de concreto hidráulico para la operación del Metrobús sobre la Avenida Insurgentes.

Imagen I.6. Construcción del corredor de BRT en Insurgentes. Fuente: Exposición de la Secretaría de Medio Ambiente del DF, Claudia Sheinbaum. "Metrobús". Mayo 2005.



1 Los autobuses de la Red Integral de Transporte en Curitiba, para el año 2003 operaban con un promedio de 22.4 km/hr. (Demery Jr, Leroy W. Bus Rapid Transit in Curitiba, Brazil - An Information Summary publictransit.us Special Report No. 1. Publictransit.us, Estados Unidos, 2004. P. 18.

I.5.- La operación del corredor Insurgentes después del Metrobús

El 19 de Junio del año 2005 se puso en marcha el sistema Metrobús, sustituyendo 260 microbuses y 90 camiones por 85 modernos autobuses articulados, reduciendo a la mitad los gases contaminantes a los que está expuesto el usuario y evitando la emisión al ambiente de gases de efecto invernadero con 35 mil toneladas anuales. Esto generó la oportunidad de la venta de la reducción de gases en bonos de carbono al Fondo Español de Carbono, fungiendo como fiduciario el Banco Mundial, logrando ser el primer proyecto de transporte que vende su reducción de emisiones contaminantes (AMTM, 2010).

Tras la puesta en marcha del sistema Metrobús en la Ciudad de México, se realizaron diversos estudios para determinar si este nuevo sistema traía consigo mejoras sustanciales como lo habían prometido las empresas que llevaron a cabo su construcción. Para observar de forma más objetiva estos estudios se debe hacer una separación que incluya los campos:

- Aspectos cualitativos (satisfacción del usuario)
- Aspectos cuantitativos como la reducción en el tiempo de traslado y ambientales en cuanto a las reducciones que genera el sistema Metrobús

I.5.1.- Aspectos cualitativos

Para evaluar este rubro se realizaron encuestas directas a los usuarios para conocer su opinión de aspectos como seguridad, confort y limpieza, con el fin de calificar la calidad del servicio que brinda Metrobús. Para este trabajo se consultaron: la encuesta publicada por el CTS México (Centro de Transporte Sustentable) en el 2007, la tesis de licenciatura en Urbanismo de Lina Calderón en 2008 y el estudio de grado de satisfacción realizado por Metrobús en 2010.

A partir del análisis de los parámetros en común que buscaban conocer estas encuestas, se obtuvo un perfil promedio de los usuarios así como la frecuencia con la que utilizan el sistema, su percepción de seguridad y confort, así como los aspectos que generan incomodidad. El resumen de los resultados se muestra a continuación en la tabla I.1:

Tabla I.1. Comparación de encuestas realizadas a usuarios de Metrobús. (Fuente: Elaboración propia con datos de CTS México, Tesis de licenciatura en Urbanismo de Patricia Calderon y Encuesta de Metrobús).

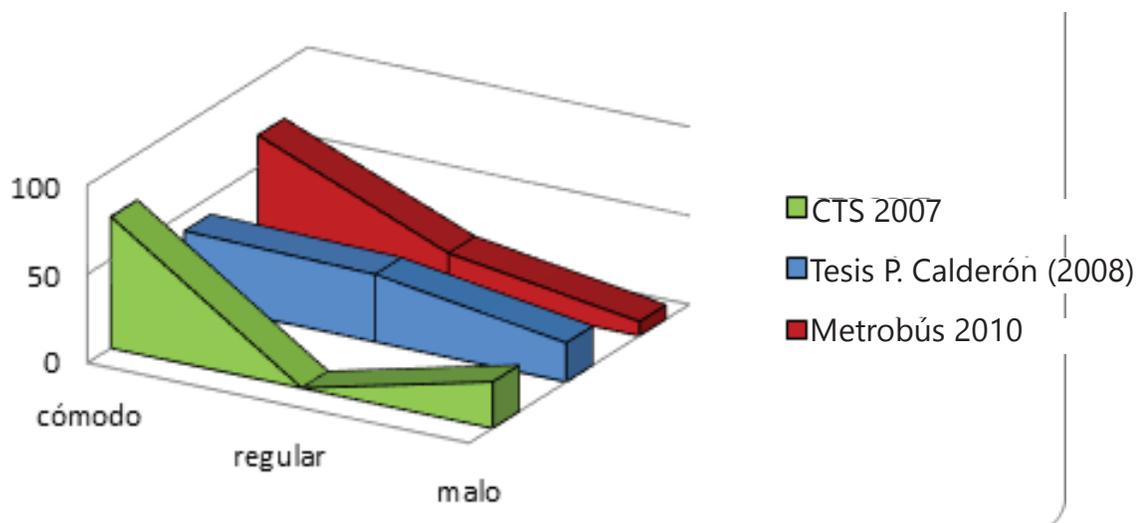
*Salario mínimo traído de valores del 2007 al 2010 (INPC)

Concepto	CTS 2007	Tesis de P. Calderón (Junio-2008)	Metrobús 2010
Total de encuestados	3,780	426	2,000
Edad promedio usuarios [años]	34	No especifica	34.3
Grado de escolaridad	Bachillerato y superior	No especifica	Bachillerato completo
Ingresos [salarios mínimos]	Entre \$172.38 y 574.6*	No especifica	\$6,400 - \$8,000 (familia)
Frecuencia de viaje	Diario	Diario	Diario
Motivo del viaje	Trabajo	No especifica	Trabajo
¿Tiene auto?	no	No especifica	No
A favor de nuevas líneas de MB	No especifica	Si	Si
Seguridad en estaciones	Buena	Buena	Buena
Estado/seguridad en autobuses	Buena	Buena	Buena
Vigilancia / Seguridad	Buena	No especifica	Buena
Modo de conducir	Bueno	Bueno	No especifica
Comodidad / temperatura	Cómodo	Bueno/regular	Cómodo
Funcionamiento de máquinas de prepago	Regular	Bueno	No especifica
Tiempo de recorrido	Bueno	Bueno	No especifica
Número y capacidad de autobuses	Regular	Regular/Malo	No especifica

Al analizar los resultados de las encuestas realizadas a los usuarios de Metrobús, se encuentran varios aspectos en común acerca de la percepción del servicio, así como los beneficios y las posibles mejoras al sistema. Se concluye además que la mayor cantidad de usuarios utilizan este medio de transporte diariamente, para ir al trabajo y no cuentan con automóvil, esto significa que Metrobús transporta principalmente al usuario cautivo del sistema de transporte anterior (autobuses y microbuses). También indican que en general es buena la seguridad, la comodidad y el tiempo de traslado. Es por eso que la calificación otorgada por los usuarios y registrada en las encuestas, el promedio del sistema es de 8 (en una escala del 1 al 10), destacando inconformidades en la capacidad de los autobuses respecto a la comodidad de los usuarios y el suficiente abasto de máquinas para el pago y recarga de tarjetas electrónicas, dejando estos aspectos como estratégicos para la mejora del sistema.

La gráfica I.1 muestra que si se comparan las encuestas de calidad en el servicio que brinda el Metrobús, la mayoría opina que viajan cómodos en las unidades, con esto se infiere que esta condición se cumple fuera de la hora de máxima demanda en el sistema. Sin embargo, en periodo pico no se puede esperar que esto se cumpla. Los parámetros de comodidad se refieren a capacidad y temperatura adecuada en autobuses, aunque en los resultados son los aspectos que más encuentran opiniones negativas dentro del total de encuestados, haciendo relevante el hecho de que en un futuro se procure atender a la mejora de capacidad en los autobuses o disminuir la frecuencia entre el paso de unidades en función de brindar un transporte más cómodo, frecuente y puntual en horarios de máxima demanda.

Gráfica I.1. Comparativo de la percepción de comodidad en el Metrobús en distintas encuestas. Fuente: *Elaboración propia con datos de CTS México, P. Calderón (2008) y Metrobús.*



Por otra parte, como resultado de las encuestas se puede conocer también la ventaja que tiene el Metrobús sobre otro medio de transporte público urbano, en estas encuestas se toman en cuenta los tipos de transporte público que existían antes sobre el corredor Insurgentes, siendo en su mayoría microbuses, cabe mencionar que en comparación al Metrobús, se logró una importante mejora en tiempo de recorrido y comodidad. La comparación entre las encuestas del 2007 y 2010 se muestra en la gráfica I.2.

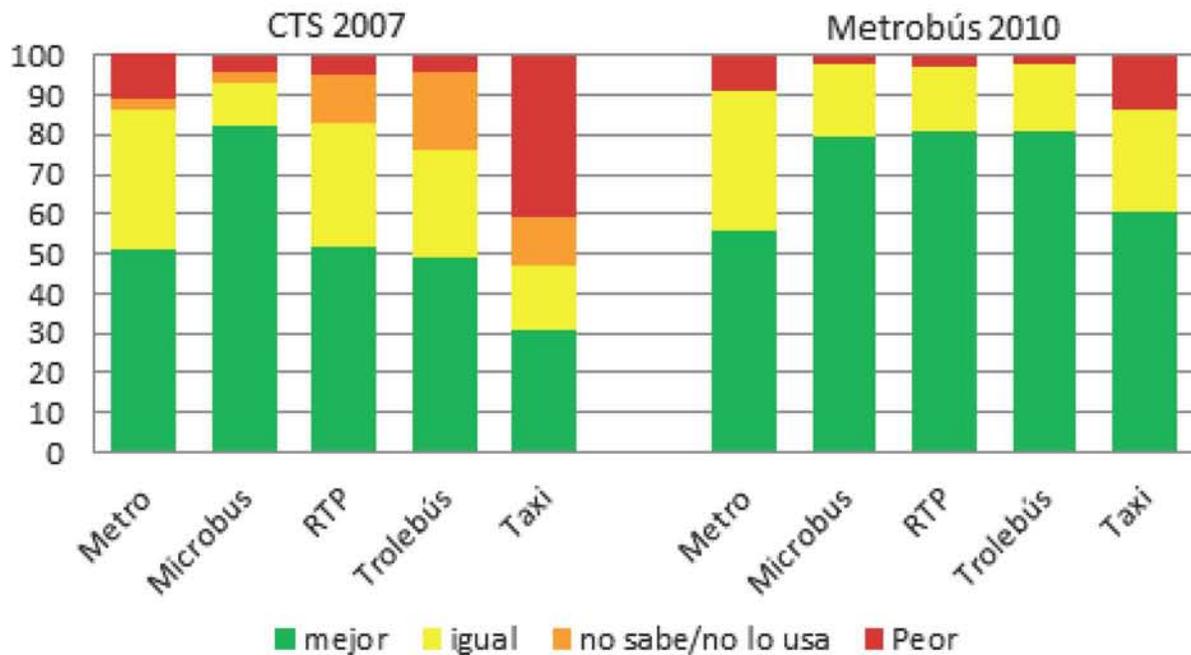
Se observa que los usuarios perciben como "mejor" al Metrobús en comparación con distintos medios de transporte público, incluso comparado con el metro.

Es interesante que aunque el microbús es el más usado en los viajes diarios (EOD 2007, SETRAVI, 2007) se le observa como un transporte de poca calidad en comparación a los niveles de servicio que ofrece el Metrobús.

I.6.2.- Aspectos cuantitativos

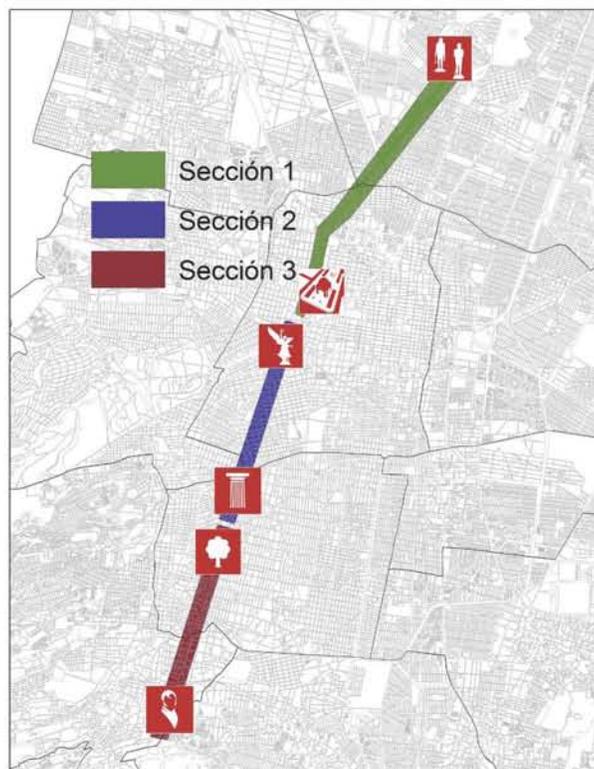
Se refieren a los beneficios que ha traído consigo la puesta en marcha de Metrobús. Uno de los puntos más importantes es la identificación de una reducción en los tiempos de traslado comparando antes y después de Metrobús. En la imagen I.7 se muestra la división por secciones utilizada en las encuestas de satisfacción a usuarios (Calderón, 2008) y en la gráfica I.3 se expresa esta reducción de tiempo a partir de la encuesta realizada en 2008.

Gráfica I.2. Comparativo del Metrobús con otros medios de transporte urbano. Fuente: Elaboración propia con datos de CTS México y Encuesta de Metrobús

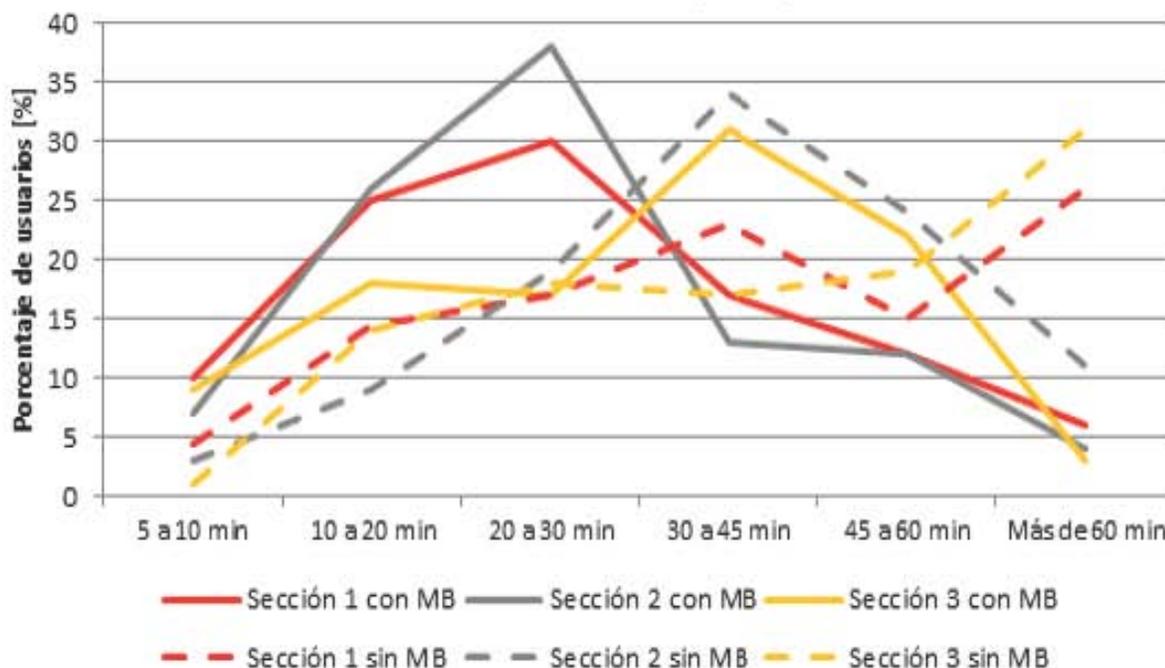


La encuesta separa el corredor Insurgentes en tres secciones (sección 1 de Indios Verdes a Tabacalera, sección 2 de Reforma a Nápoles y la sección 3 de Col. Del Valle a Dr. Gálvez) y analiza los resultados por separado. Sin embargo, al observar el comportamiento de la gráfica, se concluye que aumenta el porcentaje de usuarios que redujeron en 15 min su tiempo de traslado, es decir, se desplazan en la gráfica la mayoría de los usuarios una o

Imagen I.7. División por secciones para elaboración de encuesta de satisfacción a usuarios de Metrobús línea 1. Fuente: Tesis de licenciatura de Patricia Calderón, Junio, 2008.



Gráfica I.3. Comparativo tiempo realizado por los usuarios del corredor Insurgentes antes y después del Metrobús por sección. Fuente: Tesis de licenciatura Patricia Calderón, Junio, 2008.



dos cotas, indicando reducciones de tiempo en todos los viajes. Inclusive el sistema logra que menos del 10 por ciento de usuarios inviertan más de 60 minutos en sus traslados, lo que implica un incremento en el rendimiento laboral de los usuarios o aprovechamiento del tiempo en otras actividades.

En general, el servicio que brinda Metrobús es aceptado por los usuarios y apoyan la iniciativa de construir más líneas troncales para tener una red de transporte superficial alternativa al metro, ya que cumple con estándares de comodidad y rapidez, además de los beneficios ambientales que esto representa.

I.6.3.- Aspectos ambientales

En cuestión ambiental, el Metrobús contribuyó de manera importante en la reducción de emisiones al ambiente ya que el 16.2 por ciento de los usuarios de este nuevo sistema dejó el automóvil y utilizó el Metrobús (Metrobús, 2011).

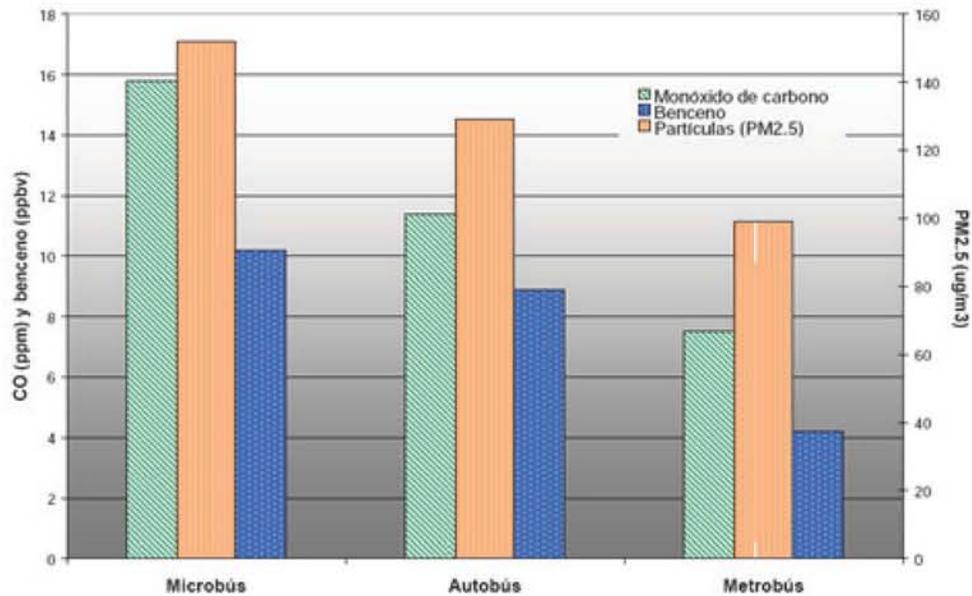
Para medir este cambio, el Centro de Transporte Sustentable en compañía con el Instituto Nacional de Ecología (CTE e INE, 2005) evaluaron la magnitud en la reducción de niveles de exposición a contaminantes a bordo de vehículos de transporte público antes y después de la puesta en operación del Metrobús.

Para ello se realizaron mediciones de contaminantes atmosféricos con equipo de monitoreo especializado en el trayecto de Indios Verdes a San Ángel. Dicho proyecto se llevó a cabo en dos etapas. La primera realizada de Junio a Agosto del 2004, midiendo la concentración de contaminantes en microbuses y autobuses que operaban en la avenida Insurgentes antes de Metrobús. La segunda etapa se realizó de Agosto a Octubre del 2005, dando como resultado reducciones de más del 50% en algunos contaminantes como se aprecia en la imagen I.8 (INE y CTS, 2005).

Además del corredor Insurgentes que se inauguró en 2005, se realizó en Marzo

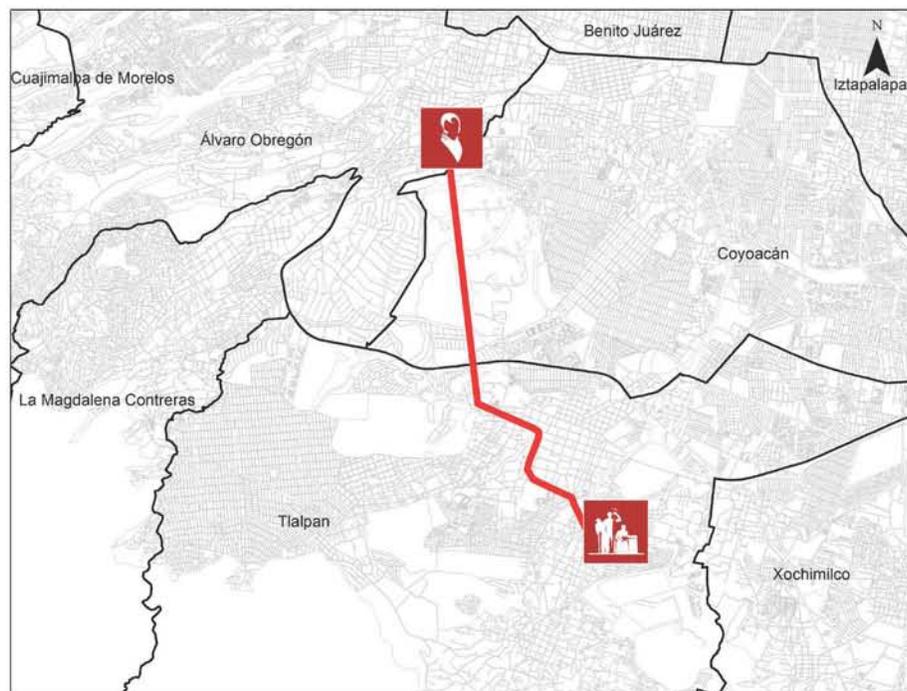
Imagen I.8. Concentraciones medianas de contaminantes en el interior de vehículos de transporte público en la Av. Insurgentes.

Fuente: INE y CTS. 2005



del 2008 una expansión del sistema hacia Insurgentes Sur tras varios estudios técnicos en el tramo que comprende del Eje 10 Sur hasta su intersección con el Viaducto Tlalpan (monumento a El Caminero), estos estudios identificaron que existía una sobre oferta del transporte público con un aprovechamiento de la capacidad ofertada del 25 por ciento, indicando un exceso del parque vehicular similar al que se observó en Insurgentes antes del Metrobús (imagen I.8). Las unidades que operaban en este tramo eran altamente con-

Imagen I.9. Extensión de 8.5 km en el corredor de Metrobús Insurgentes Sur. Fuente: Elaboración propia.



taminantes y habían concluido su vida útil², siendo necesario reducir las y sustituirlas con unidades de mayor capacidad, suficientes para atender la demanda estimada de 50,000 usuarios en los días hábiles; con ello se mejora la velocidad de operación y aprovechando al máximo la energía, el tiempo y el espacio (SETRAVI, 2007). La imagen I.8 muestra el tramo de Insurgentes Sur que se integró a la línea 1 hasta la terminal de El Caminero.

Desde el inicio de operaciones en 2005, se han realizado significativos cambios con el fin de mejorar el servicio que brinda y beneficiar más habitantes. Es a través de estos cambios, que en 2014 Metrobús cuenta con 5 líneas troncales que suman 105 km de recorrido y 171 estaciones y atiende una demanda de 855 mil pasajeros diariamente, contando con 403 autobuses, de los cuales 322 son articulados, 27 biarticulados y 54 son autobuses de 12 metros y de piso bajo; siendo ocho de ellos híbridos. La reducción de sus emisiones contaminantes suma en total las 100 mil toneladas de CO2 anuales (Metrobús, Diciembre 2013).

Conforme ha ido aumentando la infraestructura del sistema, la flota vehicular de autobuses en el corredor Insurgentes también ha sido ampliada para satisfacer la demanda de usuarios. En la tabla I.2 se muestra el año en que fueron incorporados estos autobuses.

Tabla I.2. Incorporación de autobuses por año en Metrobús línea 1.
(Fuente: Elaboración propia con datos de Metrobús a través del IFAI, 2013).

AÑO	TOTAL DE UNIDADES ACUMULADO	AUTOBUSES INCORPORADOS
2005	80	Inicio de operaciones
2006	98	18
2007	98	0
2008	143	45
2009	150	7
2010	152	2
2011	152	0
2013	166	14

Con la incorporación de Metrobús, algunos operadores del corredor Insurgentes se organizaron en empresas y para cada corredor existen varias concesionarias que lo operan. Estas empresas son cuatro para todo el corredor Insurgentes: Corredor Insurgentes S.A. De C.V. (CISA), Red de Transporte de Pasajeros (RTP), Rey Cuauhtémoc S.A. De C.V. (RECSA) y una incorporación en Junio de 2012 de Vanguardia y Cambio S.A. de C.V. (VYC), con un total de 170 autobuses (Metrobús, IFAI, 2012). Aunque en ocasiones se brindan apoyo entre concesionarias para operar en otro corredor al que regularmente se da servicio. Esto no debe implicar un cambio en la calidad de operación y servicio, ya que todas las concesiones deberán mantener homogeneidad en sus condiciones operativas (Tabla I.3).

² En el D.F. se consideran 10 años para vehículos de transporte público como vida útil.

Tabla I.3. Flota vehicular de autobuses por tipo y concesionaria en el sistema Metrobús.
(Fuente: Elaboración propia con datos de Metrobús a través del IFAI, 2012).

Empresa operadora	Modelo de autobús	Cantidad de autobuses
CISA (Corredor Insirgentes S.A. de C.V.)	Volvo B12	61
	Volvo B10	7
	Volvo BRT 7300	15
	Volvo BRT 7300 BIART	1
	Subtotal	84
VyC (Vanguardia y Cambio S.A de C.V.)	Volvo BRT 7300	6
	Volvo BRT 7300 BIART	8
	Subtotal	14
RTP (Red de Transporte de Pasajeros)	SCANIA - DOPPIO	10
	SCANIA - MEGA	8
	Mercedez Benz Gran Viale	12
	Volvo BRT 7300 A.Acond.	9
	Volvo BRT 7300 BIART	12
	Subtotal	51
RECSA (Rey Cuauhtémoc S.A de C.V)	Volvo BRT 7300	21
	Subtotal	21
	TOTAL	170

El crecimiento del sistema Metrobús refleja, al igual que las encuestas de satisfacción mencionadas, que es un medio de transporte público masivo aceptado por los usuarios en general, aunque con posibles mejoras en la calidad del servicio ofrecido. Sin embargo, es necesario analizar aspectos específicos de operación, tales como ascensos y descensos por estación para observar más allá de la satisfacción a sus usuarios, con el objetivo de encontrar las características operativas más importantes y sus posibles mejoras. También es necesario para complementar el análisis, tener un panorama histórico de los pasajeros transportados e identificar las estaciones con mayor demanda de usuarios diariamente y en hora pico, haciendo énfasis en las actuales "zonas críticas", las cuales requerirán mayor atención al momento de hacer una propuesta.

Capítulo II.- Análisis de la oferta y la demanda de usuarios actuales en el corredor Insurgentes

“No puede haber ninguna duda de que el sector del transporte es el sector más importante de nuestra economía.” -Robert Brady, Político estadounidense-

En este capítulo se expone la información obtenida en la labor documental para realizar un análisis de los datos de demanda del corredor Insurgentes y mostrar el comportamiento de viajes diarios.

En el sistema de transporte público de la Ciudad de México es indispensable contar con información que permita la modelación y visualización de la demanda de usuarios que son transportados por los distintos medios de transporte; es de vital importancia la mayor precisión posible en la cuantificación de los resultados.

El STC Metro y Metrobús existen los suficientes recursos económicos, humanos y tecnológicos para contabilizar la demanda así como evaluar la forma en que se comporta en un periodo y lugar determinado. Sin embargo, en ocasiones no es posible medir la cantidad de pasajeros en transporte público en toda la red cuando se trata de transporte concesionado como microbuses y autobuses, dificultando la posibilidad de tener información detallada de cada medio de transporte en la ciudad.

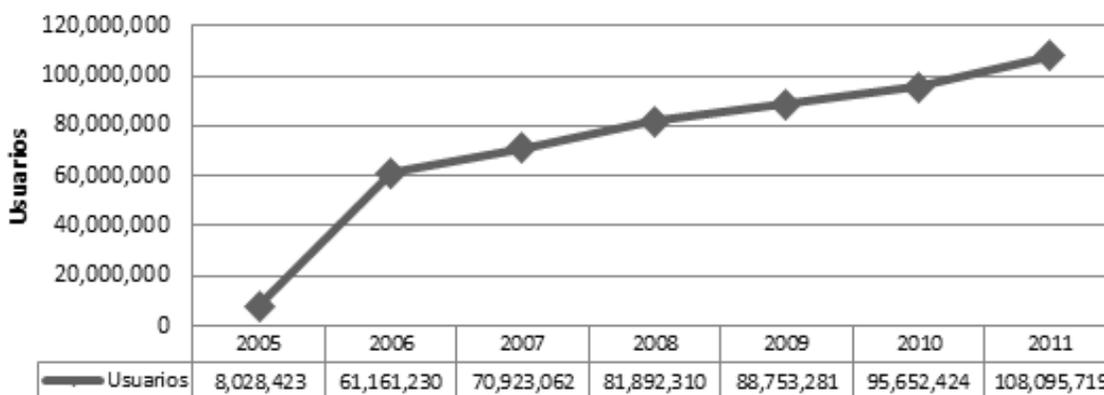
II.1.-Capacidad histórica del corredor Insurgentes (2005 – 2011)

El sistema Metrobús, como se ha mencionado anteriormente, ha ido expandiendo su infraestructura con el tiempo para lograr un aumento en el número de pasajeros diarios transportados. En la gráfica II.1 se presenta el número de pasajeros transportados por año en la línea 1 de Metrobús del corredor Insurgentes.

En el año 2005, se contabilizó a poco más de 8 millones de usuarios y en 2011 fueron transportados más de 68 millones de usuarios, logrando así un crecimiento de 1.7 veces el número de pasajeros a partir del año 2006, ya que en este año fue posible contabilizar los 365 días del año en operación (Metrobús, 2012). esto indica que desde que se inauguró, hasta el 2011 ha incrementado un 20 por ciento su participación en la demanda atendida³.

Gráfica II.1. Evolución del número de pasajeros transportados en el corredor Insurgentes de Metrobús desde el primero de Octubre del año 2005 al 31 de Diciembre del 2011.

(Fuente: Elaboración propia con datos de Metrobús a través del IFAI,).



³ Los datos proporcionados por Metrobús llegan hasta el 31 de Agosto del año 2011, sin embargo, para lograr analizar por completo el año 2011, se obtuvo el cociente de los pasajeros de cada mes en el año 2011, y se multiplicó por el número de meses faltantes, logrando así la suma de los doce meses para su representación.

II.2.-Demanda actual del corredor Insurgentes

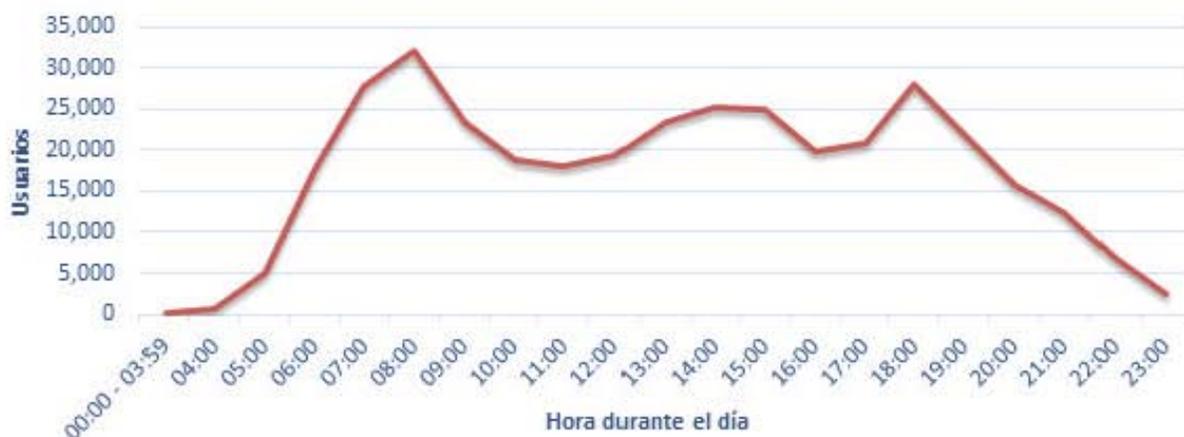
Metrobús ha realizado distintas encuestas origen destino para contabilizar el número de usuarios que abordan y descienden de los autobuses en cada una de las estaciones a lo largo de toda la ruta.

En 2011, éste realizó al menos dos conteos de usuarios en los que determinó las entradas y salidas por estación, así como el total de pasajeros que utilizan el sistema y la hora del día en que lo hacen.

También en 2011 se obtuvieron datos acerca de las entradas y salidas de usuarios en cada estación por cada día de la semana. En Noviembre del mismo año, Metrobús realizó un conteo de usuarios transportados en su línea 1. Los resultados de ambas encuestas arrojaron que el promedio de pasajeros diarios transportados respectivamente es de 376,493, siendo el viernes 11 el día de mayor afluencia con 392,013 usuarios (Metrobús, 2011).

En la gráfica II.2 se muestra el comportamiento de la demanda de usuarios durante un día hábil en la línea 1 de Metrobús, las horas pico del sistema son a las 7 y 8 de la mañana, así como las 6 de la tarde; por otra parte, las horas valle son las 11 de la mañana y 4 de la tarde. Estos datos nos indican que el transporte de esta ciudad, debe tener el mayor grado de eficiencia en las horas que los habitantes entran y salen de sus trabajos y/o escuelas, disminuyendo la pérdida de horas-hombre en traslados, las cuales se redujeron en 40 por ciento, recuperando más de 25 millones de horas-hombre (CTS, 2009).

Gráfica II.2. Usuarios de la línea 1 de Metrobús por horario en un día hábil. *Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Metrobús a través del IFAI, Noviembre, 2011.*



II.3.-Proyecciones de oferta y demanda de usuarios (2011 – 2030)

Con base en los datos obtenidos tras el análisis de la demanda histórica de usuarios en el corredor Insurgentes, es importante tener un panorama no solo histórico sino prospectivo. Se realizará una proyección de la demanda para el año 2030 tomando en cuenta los factores actuales hasta 2011; aunque existen factores externos que modifican parcialmente el resultado si no se consideran todos los posibles riesgos de cambio y sus magnitudes, como con la construcción de corredores adicionales de Metrobús.

Es posible hacer proyecciones de población y de usuarios a partir de los anteriores crecimientos registrados, permitiendo hacer una aproximación de la cantidad de usuarios

que necesitará transportar el Metrobús en Insurgentes para comprobar algunas hipótesis planteadas y llevar a la conclusión de si necesitará o no de nueva infraestructura.

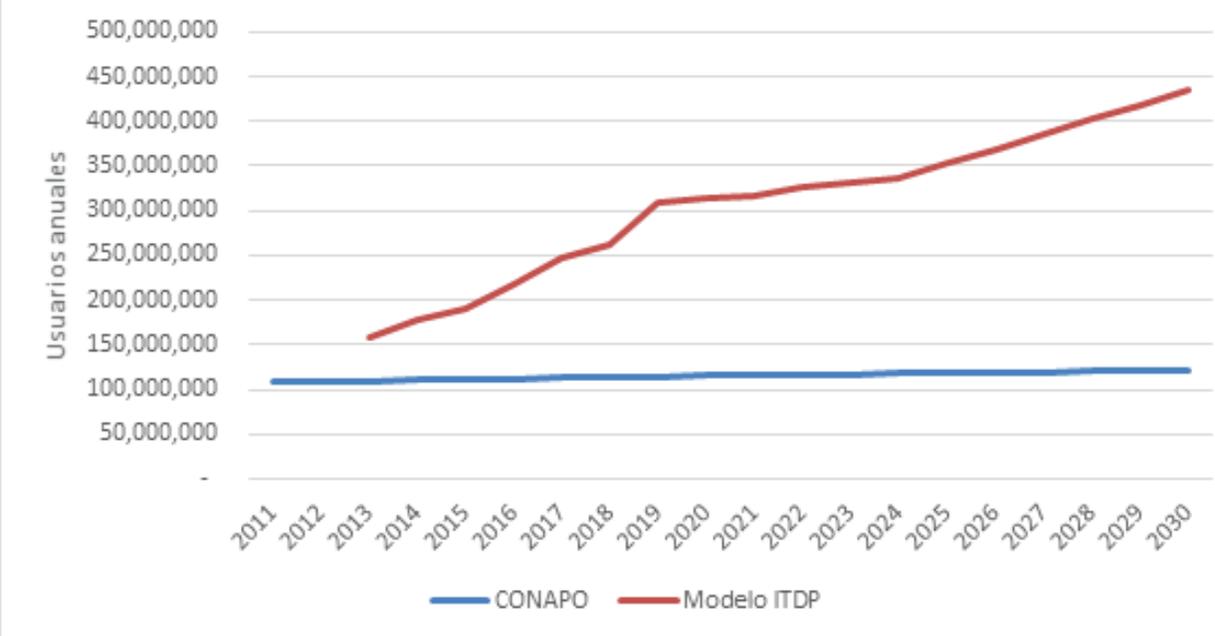
Tomando como base la demanda histórica analizada en el punto 2.1 del capítulo II de esta tesis y el crecimiento poblacional se elaboró una proyección de la demanda en la cual se considera un crecimiento promedio del 0.62% de usuarios anualmente. Esta tendencia de crecimiento parte del supuesto de que la demanda de usuarios de Metrobús Insurgentes crece al mismo ritmo que la población, siendo el resultado para un largo plazo, es decir para el año 2030, la demanda será de a 121 millones 801 mil 456 pasajeros.

Por otro lado, se consideraron también los resultados de la modelación de corredores BRT en al ZMVM realizada por ITDP (ITDP, 2014), en ellos la tasa de crecimiento anual promedio es de 5.67%, siendo mayor con respecto a las proyecciones poblacionales debido a que se propone una política de mayor inversión pública en la zona metropolitana, lo cual genera mayor demanda en el transporte público pues supone la creación de una red integrada de corredores BRT⁴.

Estos resultados muestran que aunque las proyecciones no estiman factores externos de crecimiento económico, cambios de uso de suelo, atracción de viajes por construcciones realizadas en la ciudad, entre otros. Es un hecho que el sistema tenderá a crecer, ya que cada vez es más aceptado y utilizado el Metrobús por ofrecer una manera segura y digna de usar el transporte público.

En la gráfica II.3 se muestra el crecimiento de la demanda de usuarios en el corredor Insurgentes al año 2030. En ella se aprecia diferencia significativa entre ambas proyecciones pero debe considerarse que en la modelación se incluyen gran cantidad de variables que modifican anualmente la demanda del corredor mientras que en los datos de CONAPO se considera un crecimiento homogéneo.

Gráfica II.3. Proyección de la demanda en el corredor Insurgentes de Metrobús.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Metrobús, CONAPO e ITDP.



4 La modelación realizada por ITDP está estimada al año 2024, para estimar a 2030 se consideró el aumento de la demanda a partir del año 2025 igual al promedio de los años modelados, esto dio como resultado que la demanda crezca 5.67% anualmente si se considera el periodo 2014-2030.

II.4.-El estado actual del corredor Insurgentes

La línea 1 de este sistema cuenta con 30 km de longitud y 46 estaciones en el recorrido en ambos sentidos sobre la Avenida Insurgentes. Tiene una demanda aproximada de 390 mil pasajeros diariamente y tiene conectividad con distintos medios de transporte como Metro, Tren Suburbano, Ecobici, Circuito Periférico y el Corredor Reforma. Las reducciones de Gases de Efecto Invernadero de esta línea son de 50 mil toneladas cada año (Metrobús, 2011).

II.4.1.-Operación del sistema Metrobús en el corredor Insurgentes

La manera en que está organizada la salida de autobuses de este sistema, está determinada mediante la hora del día y la estación donde está ubicada la mayor demanda. Conforme la información de Metrobús, el corredor Insurgentes es el único en el cual se utilizan los autobuses articulados y biarticulados. Las líneas 2, 3, 4 y 5 son atendidas solamente por autobuses articulados o de piso bajo.

El recorrido promedio de cada unidad en un día laborable en el corredor Insurgentes es de 281.86 km; sin embargo, la longitud recorrida depende de la ruta que sigue el autobús (Metrobús, 2012).

II.4.2.-Rutas de servicio

La línea 1 opera con 8 rutas, buscando proporcionar un número de autobuses suficiente y asegurar que en todas las estaciones se pueda abordar un autobús con la menor ocupación posible. En la imagen II.1 se muestran las estaciones y las rutas en las que opera el corredor Insurgentes.

Imagen II.1. Rutas de servicio en la línea 1 de Metrobús Insurgentes (*La ruta A8 no viene especificada con código por Metrobús, sin embargo, esta ruta se puede observar en campo.). Fuente: Elaboración propia con información de Metrobús a través de IFAI.



La forma en que operan las rutas en la línea 1 de Insurgentes responde a previos análisis de origen y destino, proporcionando una ruta de transbordo con la línea 2 (Tacubaya – Tepalcates).

Podemos apreciar que la distribución de las rutas indica mayor demanda de orígenes y destinos en estaciones como Indios Verdes y El Caminero, no obstante, la Glorieta de Insurgentes aparece con dos rutas de servicio destacándose por su importante ubicación, cercana a los centros de trabajo de Reforma y por los servicios recreativos que se prestan en esta zona, principalmente la Zona Rosa.

II.4.3.-Pacios de encierro

La infraestructura de Metrobús cuenta con 8 patios de encierro para las unidades articuladas y bi-articuladas, estos patios aproximadamente suman 20.1 Ha y están ubicados en diferentes puntos de la Ciudad de México⁵. Debido a que la operación de los Autobuses es concesionada a varias empresas, hay encierros exclusivos para unidades de Metrobús, pero en las instalaciones de RTP se almacenan autobuses articulados para la red de Metrobús y autobuses convencionales que operan en rutas operadas por este sistema de transporte público.

La infraestructura destinada para este propósito depende mucho del número de unidades con las que cuenta cada sistema. Al comparar las dimensiones de los encierros para autobuses articulados en la Ciudad de México, con otros sistemas BRT operando en León, Guanajuato (SIT-Optibús) y Bogotá, Colombia (Transmilenio), se puede apreciar que es proporcional el número de unidades con la demanda que atienden y la forma en que funciona el sistema, pues a diferencia de Metrobús, sistemas como SIT-Optibús y Transmilenio operan bajo un modelo tronco-alimentador, es decir, incluyen rutas que recolectan la demanda de usuarios con rutas que se dirigen y concentran en las estaciones terminales de los corredores, promoviendo así el uso del sistema y aumentando la cantidad de viajes realizados diariamente.

La tabla II.1 muestra un comparativo de la superficie aproximada de los patios de encierro en tres distintos sistemas BRT, haciendo notar la proporción de cada sistema a partir de su flota y su demanda diaria.

5 Datos obtenidos a partir de mediciones con Google Earth, Marzo, 2012.

Tabla II.1. Comparación de superficie en los patios de encierro por sistema BRT.

*Sistemas Troco-alimentados

Fuente: Elaboración propia con datos de Google Earth, la Asociación Latinoamericana de Sistemas Integrados y BRT, e información de Metrobús a través de IFAI, Marzo, 2012.

	Pacios de encierro en sistemas BRT				
	Ubicación	Superficie aprox. [Ha]	Unidades del sistema	Pasajeros / día	Corredores
Metrobús (20.1 Ha)	Modulo 23 RTP	4.4	282	705,000	3
	Indios Verdes	1.2			
	Modulo 15 RTP	3.4			
	Universidad	0.9			
	Patio Oriente	1.7			
	Modulo 13	0.7			
	Patio Vallejo	6.6			
	Patio Maravillas	1.2			
SIT-Optibús* (7.8 Ha)	San Jerónimo	3.9	618	650,000	8
	Delta	3.9			
Transmilenio* (37.2 Ha)	Calle 80	3.0	1,797	1'672,369	9
	Portal de SUBA	5.7			
	Portal de las Américas	7.8			
	Portal del Sur	4.3			
	Patio Norte	3.5			
	Portal del Tunal	5.0			
	Portal USME	7.9			

En la actualidad el sistema Metrobús ha ido ganando terreno como forma de movilidad y tiene aceptación en los usuarios debido a que es un medio rápido y seguro de recorrer la ciudad. Sin embargo, aún está en proceso de consolidación y es necesaria una red integral de corredores de BRT para ofrecer una alternativa que compita con la rapidez y capacidad del metro. No obstante, está demostrado que con una buena infraestructura y políticas que fomenten el uso del transporte público y no contaminante, la movilidad con sistemas tipo BRT en las ciudades puede ser un foco de desarrollo urbano.

Así mismo, en las ciudades con políticas amigables con el medio ambiente es importante contar con servicios de calidad que ofrezcan una amplia cobertura para lograr establecer un medio de transporte cómodo y eficiente para lograr reducir con esto el uso del automóvil privado. Dicha meta es factible alcanzarla a través de la mejora y construcción de mayor número de kilómetros de infraestructura de transporte, éste puede ser metro, tren ligero o BRT para atender grandes volúmenes de demanda.

II.5.-Estaciones con mayor demanda de usuarios

Como se había mencionado anteriormente en este capítulo, en el corredor Insurgentes hay ciertas estaciones más concurridas que otras, y es en las estaciones de mayor demanda, donde los problemas de saturación son más visibles en las horas pico. Según los datos de Metrobús las estaciones que sobrepasan o se acercan a los 15 mil pasajeros diarios son sólo nueve de las 46 estaciones que conforman el corredor (Metrobús 2011).

En la tabla II.2 se muestra una tabla en la que se enumeran las estaciones de mayor demanda (correspondiente a 43% del total) y el número de usuarios por día de cada una, siendo Indios Verdes la de mayor participación con 7.6% de la demanda.

A partir de este análisis, es posible ubicar las estaciones conflictivas para elaborar propuestas que ayuden a aumentar la calidad del servicio en el corredor, generando así un sustento con datos sólidos para la modificación del sistema y operación de Metrobús o la inversión para la creación de nueva infraestructura, con el fin de mejorar la eficacia del sistema y la calidad del servicio brindado al usuario.

Las estaciones con mayor cantidad de usuarios se pueden agrupar con base en distintos criterios. En esta ocasión, a partir de los datos en el conteo de usuarios de Metrobús en agosto del 2011, se identificaron 7 estaciones con más de 15 mil usuarios diariamente (Indios Verdes, Glorieta de Insurgentes, Chilpancingo, Poliforum, Doctor Galvez, Perisur y El Caminero) y 2 estaciones con una demanda cercana a los 13 mil usuarios (Buenavista y Reforma).

Tabla II.2. Estaciones con el promedio de mayor demanda de usuarios diariamente en la línea 1 de Metrobús (Zonas Críticas).

Fuente: Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Metrobús a través del IFAI.

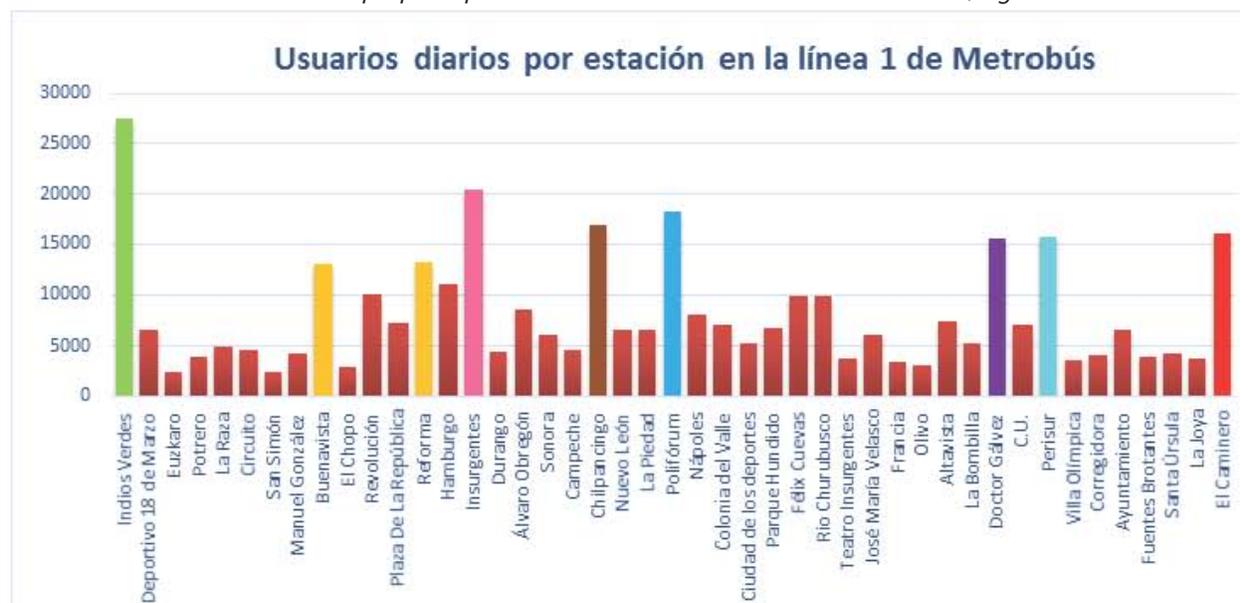
Estación	Usuarios/día	%
Indios Verdes	27,551	7.6
Insurgentes	20,457	5.6
Polifórum	18,197	5
Chilpancingo	16,882	4.6
El Caminero 1	16,051	4.4
Perisur	15,669	4.3
Doctor Gálvez	15,497	4.3
Reforma	13,127	3.6
Buenavista	12,996	3.6
TOTAL	156,426	43%

El conjunto de estas estaciones forman el grupo nombrado para este estudio Zonas Críticas, las cuales se analizan para realizar propuestas que permitan mantener una calidad del servicio adecuada en estas estaciones y en el resto del corredor. La demanda de usuarios de todo el corredor Insurgentes se muestra en la gráfica II.3.

El comportamiento de la demanda por estación también está expresado en el territorio, es decir, para tener una visión integral de cómo se comporta la demanda, se deben relacionar los datos obtenidos con la información espacial para identificar los sitios atractores de viajes.

Gráfica II.4. Usuarios por estación en la línea 1 de Metrobús.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Metrobús a través del IFA., Agosto 2011.



Una vez identificado el contexto territorial de las estaciones con mayor demanda, es posible comprobar las premisas que indican que los centros de trabajo más frecuentes se ubican en el área donde se encuentran las grandes corporaciones y los edificios de comercio internacional. Además, es posible conocer si las terminales del corredor Insurgentes responden a la necesidad de los usuarios y el comportamiento de la demanda que ocurre en las estaciones intermedias.

Conocer este último aspecto ayudará a diseñar rutas de servicio en caso de ser necesario y permitirá conocer la cantidad de usuarios que pueden realizar un cambio modal de transporte al arribar a una terminal, promoviendo así oportunidades de implementación de transporte no contaminante como la bicicleta.

Las nueve estaciones con mayor demanda actualmente, representan un 43 por ciento de los usuarios totales de todo el corredor Insurgentes, es por eso que es importante enfocar la atención en estas locaciones para observar su comportamiento y la causa de su alta demanda de usuarios.

Una vez que se conoce la zona de estudio, es decir, cuando se acotan las estaciones con mayor demanda y se pueden identificar los lugares para futuras propuestas, es necesario conocer el entorno espacial y urbano en torno a estas estaciones para identificar los factores que generan una alta concentración de usuarios en comparación a las demás estaciones.

Conforme a lo observado, el escenario tendencial de la demanda del Metrobús seguirá incrementando aunque no se realice ninguna modificación, es por esto que es necesario anticiparse al escenario de un sistema cuya demanda no pueda cubrir. Para esto debe realizar alguna acción que brinde mejoras significativas para ofrecer un mejor

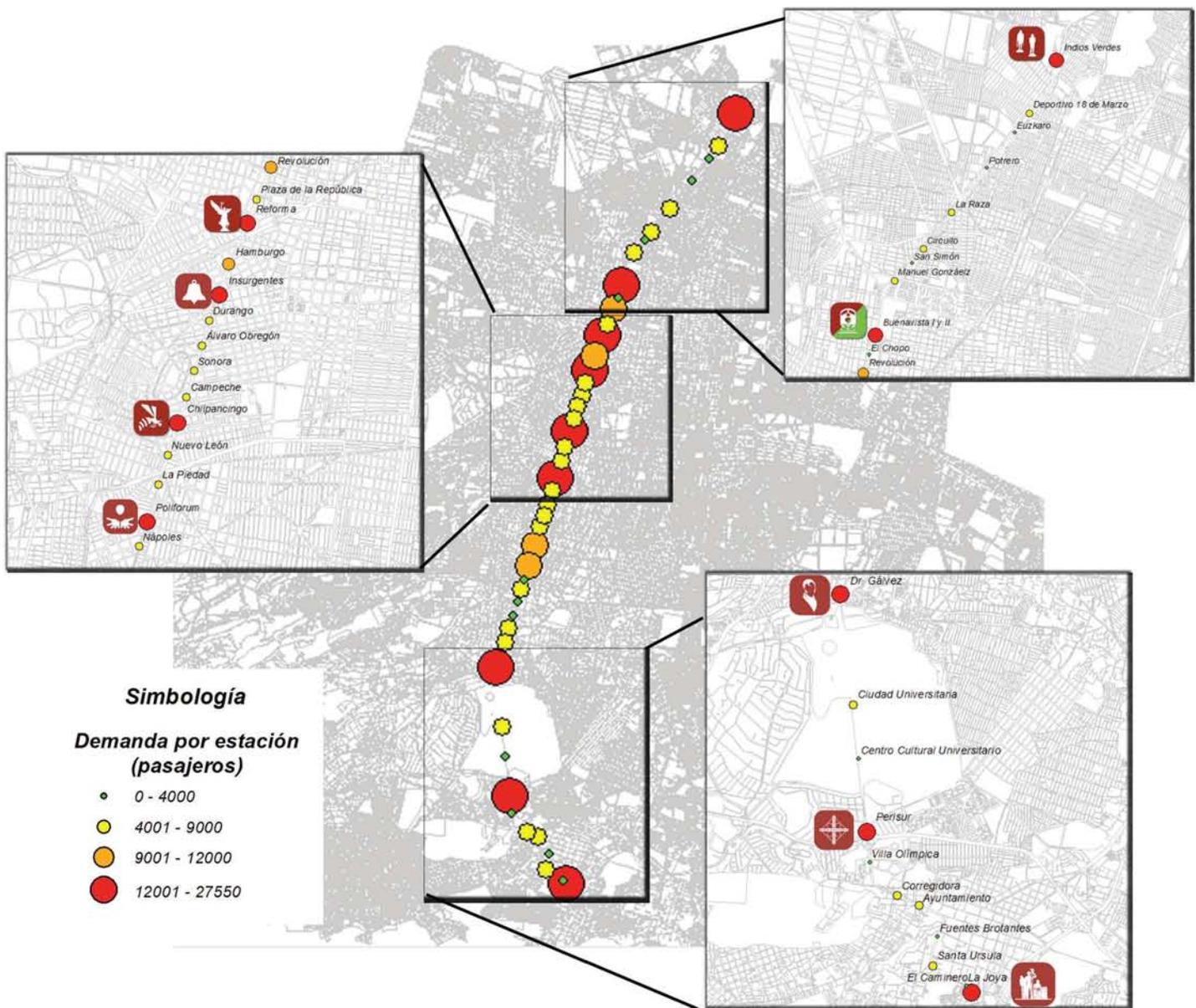
servicio y se mantenga siendo un eficiente sistema de transporte público.

El resultado del análisis de la información brindada por Metrobús, permitió la creación de un mapa donde se representan las estaciones que lograron más demanda de usuarios en el conteo, la imagen II.2 muestra las estaciones críticas y su ubicación en el corredor Insurgentes (Metrobús 2011).

Un aspecto que cabe mencionar y hacer énfasis es que la infraestructura de estaciones en Metrobús línea 1, salvo la ampliación hacia el sur y la adecuación en estaciones para recibir autobuses biarticulados, sigue siendo la misma que se planteó para la demanda de usuarios en 2005, es decir, el ancho de los pasillos y la longitud en estaciones, el carril de concreto hidráulico para los autobuses y los dispositivos de control de tránsito no parecen estar preparados para un crecimiento como el que ha demostrado el sistema, generando saturación en autobuses y calidad baja en el servicio. Debido a esto, es importante entonces comenzar a generar ideas que puedan ir construyendo un sistema de gran magnitud en materia de transporte público.

Imagen II.2. Usuarios por estación y "zonas críticas" en la línea 1 de Metrobús.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Metrobús a través del IFAI, Agosto 2011.



Capítulo III.- Análisis territorial del corredor In- surgentes

“No existe lógica que pueda ser sobreimpuesta en la ciudad; la genta la hace, y es para ellos, no para los edificios, para quienes debemos adecuar nuestra planeación” - Jane Jacobs

En este capítulo se analiza el entorno urbano de las estaciones de mayor demanda identificadas en el capítulo anterior, con el objetivo de conocer el comportamiento del espacio construido y el uso de suelo cercano a las estaciones, logrando así compararlo con los estándares que logran un sistema de transporte que integra la vivienda, el comercio y los servicios indicados en los manuales de desarrollo orientado al transporte.

III.1.- Análisis demográfico en las zonas más importantes del corredor

Para lograr beneficios ambientales, sociales y económicos es necesario que el desarrollo urbano esté íntimamente relacionado con los medios de transporte de una ciudad, es por eso, que la proximidad de la vivienda y centros de trabajo a las estaciones de transporte público, debe representar una distancia razonable a pie o en bici (500m a 1km) para fomentar la disminución del uso del automóvil. La proximidad al transporte público se verá reflejada en el primer kilómetro alrededor de la estación, ya que dentro de este radio será más posible que se cumplan los objetivos de fomentar la vida pública y promover los viajes locales (CTS, 2009).

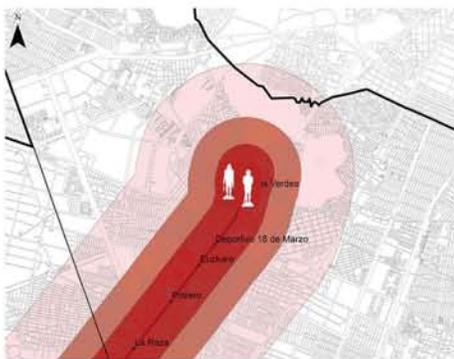
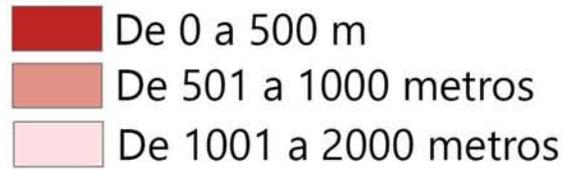
La densidad de población en una ciudad medianamente densa como París es de 300 Hab/Ha, mientras que en las ciudades mexicanas la tasa de esta densidad se ha mantenido no mayor a 100 Hab/Ha (CTS, 2009). Lo anterior indica que es necesario conocer la cantidad de habitantes que residen cerca de las estaciones de Metrobús y comparar los patrones obtenidos con los estándares que evalúan la densidad como los manuales DOTS, a través de indicadores demográficos como son densidad habitacional y de población así como el número total de habitantes en cada sección.

Las imagen III.1 a III.6 ilustran un análisis de la información demográfica de las estaciones de mayor demanda analizada por AGEBA. Se hace referencia a un radio de 500 m a 2 km y el contexto de habitantes y viviendas totales así como nivel socio-económico que se encuentran en el entorno inmediato a estas estaciones, estos datos están referenciados con datos del Censo de Población y Vivienda del 2010 y el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas del 2014.

En la imagen III.1 se describe gráficamente la cobertura inmediata del corredor insurgentes en un radio de 500, 1000 y 2000 metros a partir de cada estación mediante la cual se

Imagen III.1. Área de cobertura de las estaciones de mayor demanda en el corredor Insurgentes.
 Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INEGI, Censo de población y vivienda 2010.

Cobertura de estaciones



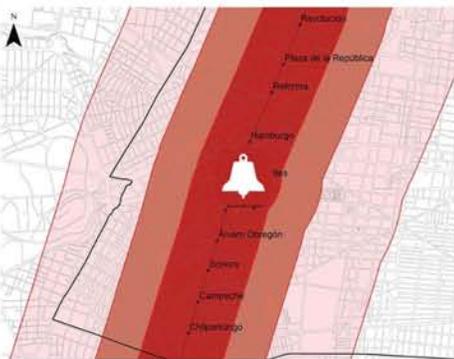
Indios Verdes



Buenavista



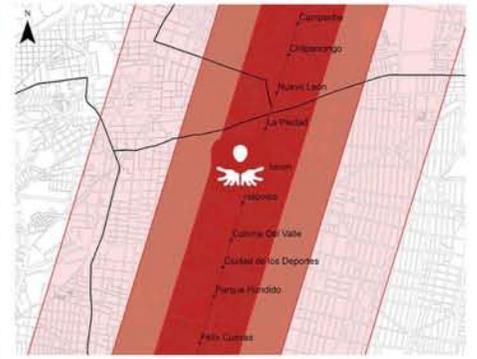
Reforma



Insurgentes



Chilpancingo



Polifórum



Dr. Gálvez



Perisur

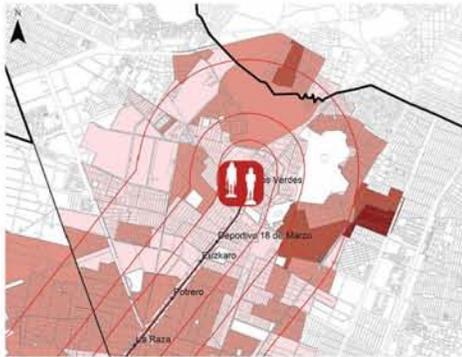


El Caminero

Imagen III.2. Población total por AGEB alrededor de la zona de cobertura de las estaciones de mayor demanda en el corredor Insurgentes.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INEGI, Censo de población y vivienda 2010.

Población total por AGEB



Indios Verdes



Buenavista



Reforma



Insurgentes



Chilpancingo



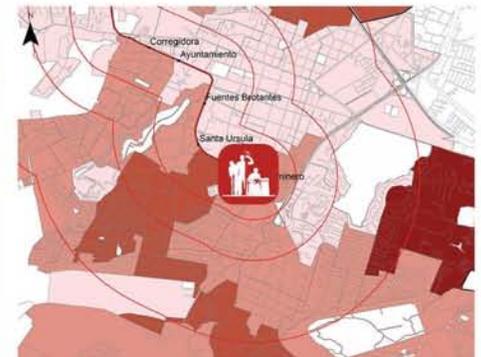
Polifórum



Dr. Gálvez



Perisur

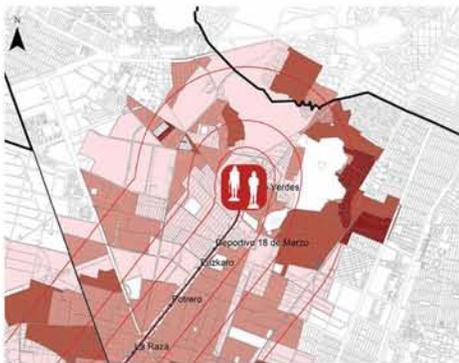


El Caminero

Imagen III.3. Densidad de población por AGEB en el área de cobertura de las estaciones de mayor demanda en el corredor Insurgentes.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INEGI, Censo de población y vivienda 2010.

Densidad de población por AGEB [Hab/Ha]



Indios Verdes



Buenavista



Reforma



Insurgentes



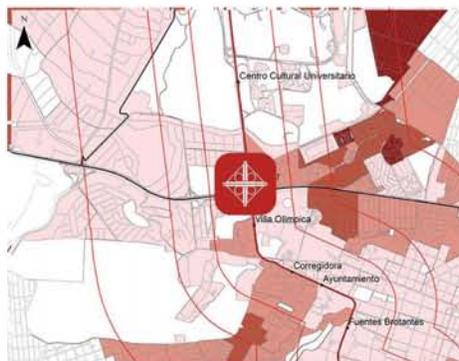
Chilpancingo



Polifórum



Dr. Gálvez



Perisur



El Caminero

Imagen III.4. Densidad de vivienda por AGEB en la zona de cobertura de las estaciones de mayor demanda en el corredor Insurgentes.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INEGI, Censo de población y vivienda 2010.

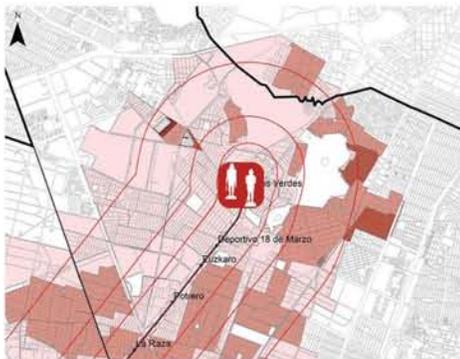
Densidad de vivienda por AGEB

De 0 a 50 Viv/Ha

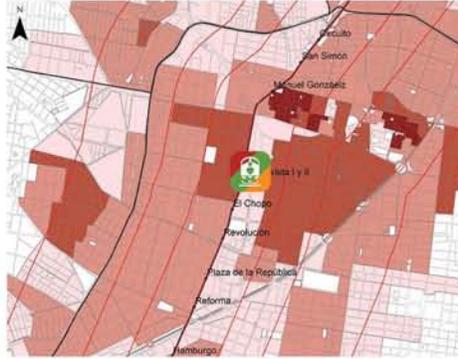
De 101 a 150 Viv/Ha

De 51 a 100 Viv/Ha

Más de 150 Viv/Ha



Indios Verdes



Buenavista



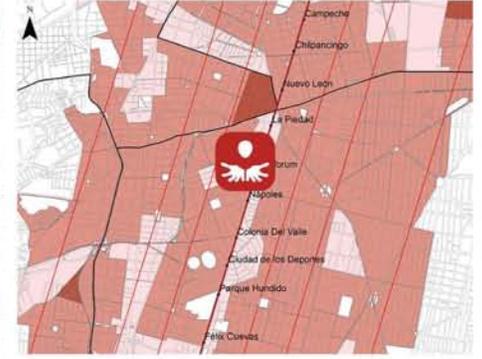
Reforma



Insurgentes



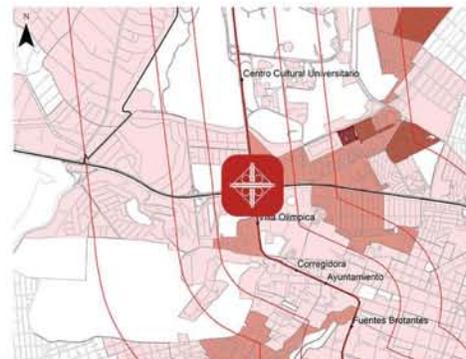
Chilpancingo



Polifórum



Dr. Gálvez



Perisur



El Caminero

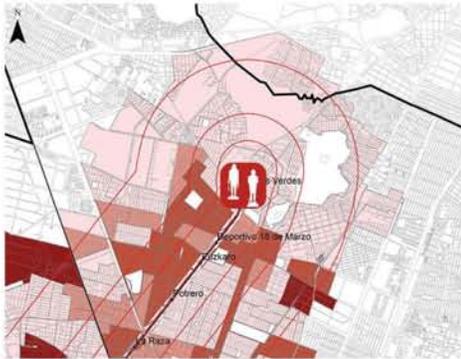
Imagen III.5. Total de empleos remunerados por AGEB en la zona de cobertura de las estaciones de mayor demanda en el corredor Insurgentes.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INEGI, DENUE 2014.

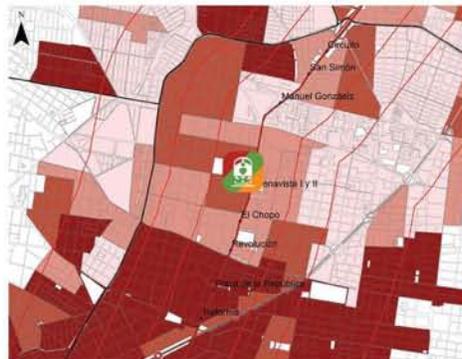
Empleos remunerados por AGEB

De 0 a 500 empleos
De 501 a 1000 empleos

De 1001 a 2000 empleos
Más de 2000 empleos



Indios Verdes



Buenavista



Reforma



Insurgentes



Chilpancingo



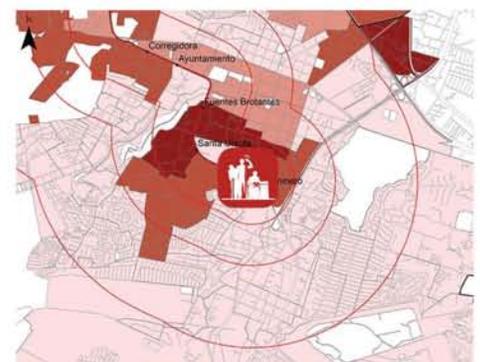
Polifórum



Dr. Gálvez



Perisur



El Caminero

Imagen III.6. Nivel socio-económico por AGEB en la zona de cobertura de las estaciones de mayor demanda en el corredor Insurgentes.

Fuente: Sitio web DOTDF de ITDP 2014

Nivel Socio-económico por AGEB



Indios Verdes



Buenavista



Reforma



Insurgentes



Chilpancingo



Polifórum



Dr. Gálvez



Perisur



El Caminero

realiza enseguida un análisis espacial de la información censal del año 2010 y económica del año 2014. De esta forma, en la imagen III.2 se muestra a nivel AGEB el total de la población residente, en la cual se observa que aunque se analizaron las estaciones de mayor demanda, no es alto el número de población cercana a ellas, mostrando sólo un ligero aumento en las estaciones Buenavista y Reforma que se encuentran cerca del centro de la ciudad.

En la imagen III.3 se muestra la densidad de población por AGEB dando como resultado las mismas estaciones de la imagen anterior sumando la estación Indios Verdes, mostrando que la concentración de población es mayor en colonias del norte y del centro como las regiones cercanas a la Villa/Basílica, Santa María la Rivera, Guerrero y Tabacalera, siendo estas colonias de estratos medios y bajos permitiendo la acumulación de población en menor cantidad de superficie.

En la imagen III.4 se muestra la densidad de vivienda dando como resultado mapas en los cuales las viviendas se encuentran concentradas para la zona de estudio, en su mayoría en la ciudad central, siendo menor la densidad en el norte y sur del corredor Insurgentes (estación Indios Verdes y El Caminero), respondiendo al hecho de que la concentración de vivienda no se encuentra precisamente en esta zona sino en el oriente de la ciudad como se sabe por la encuesta origen-destino del año 2007 (SETRAVI, 2007).

En la imagen III.5 se muestra el análisis de la información del censo económico en la cual los empleos remunerados por AGEB se concentran efectivamente en el corredor Insurgentes, siendo un gran atractor de viajes y haciendo notar que las zonas en uno de los centros de negocios de la ciudad como reforma e Insurgentes centro-sur son de gran importancia y justificando por su parte el énfasis del impacto que tiene a nivel ciudad.

Finalmente, en la imagen III.6 se muestra el nivel socio-económico por AGEB dando como resultado que en la zona central de Insurgentes los estratos de la población son mayores en colonias como Juárez, Cuauhtémoc, Condesa, Roma, Del Valle, Pedregal, etc; mientras que en los extremos del corredor va disminuyendo gradualmente el nivel socio-económico.

Del análisis demográfico-espacial se desprenden los datos siguientes: A una distancia de dos kilómetros alrededor de las estaciones de mayor demanda, se encuentra una población total de 1,356,394 habitantes en 529,626 viviendas.

Si se toma en cuenta que la superficie que ocupa este radio de dos kilómetros en cada estación es igual a 13,168 Hectáreas, la densidad de población promedio en estas nueve estaciones será entonces de 115 hab/Ha. Así mismo, se obtuvo que en promedio, existe una densidad de vivienda en las estaciones de mayor demanda de 45 viv/Ha. Sin embargo, en la tabla III.1 se muestra la población total que se encuentra dentro de este radio de dos kilómetros a la redonda por estación, esta tabla no discierne la creación del diámetro de análisis, provocando que las estaciones compartan la información de distintos AGEBS, resultando un doble conteo de estos AGEBS al separarlos por estación, dando un total de población de 1,934,449 habitantes dentro del área de influencia de 2 kilómetros por estación.

A partir de los datos obtenidos con el análisis de estas nueve estaciones, es posible comparar la densidad actual promedio de 109 hab/Ha con la densidad que promueve un

Tabla III.1.- Análisis demográfico del entorno cercano (2km) de las estaciones con mayor demanda en la línea 1 de Metrobús. Fuente: *Elaboración propia con datos de INEGI, 2010* (*estas estaciones comparten cierto número de AGEBS dentro del rango de 2 km).

Estación	Población total	Viviendas totales	Superficie total [Ha]	Densidad de Población [Hab/Ha]	Densidad de vivienda [Viv/Ha]
Indios Verdes	133,229	44,088	1,422.6	94	31
Buenavista*	320,637	125,705	1,864.9	172	67
Reforma*	298,956	133,697	2,193.4	136	61
Glorieta de Insurgentes*	264,896	125,004	2,362.8	112	53
Chilpancingo*	270,881	125,546	2,156.9	126	58
Poliforum*	253,673	114,711	1,800.9	141	64
Dr. Galvéz	96,102	33,532	2,144.0	45	16
Perisur	110,910	36,611	1,952.6	57	19
El Caminero	185,165	56,019	1,804.0	103	31
TOTAL	1,934,449	794,913	17,702.1	109 (promedio)	44 (promedio)

desarrollo compacto de las ciudades que comprende un rango de 200 a 300 hab/Ha. Además, los resultados arrojan también la estación con mayor densidad de población y de vivienda dentro de las nueve analizadas es Buenavista con 172 habitantes por hectárea y 67 viviendas por hectárea. De lo anterior se puede concluir que, basado en los datos de población y vivienda: Primero, las estaciones con mayor demanda deben su importancia a factores externos que no están íntimamente relacionados con la vivienda local, esto debido a que se encuentran cerca de centros de trabajo y recreación, haciendo que la zona sea en su mayoría de comercio y servicios. Segundo, se observa también que las estaciones terminales presentan una baja densidad de habitantes en el radio de un kilómetro y, si además se considera que en ellas no existen los incentivos adecuados para promover la accesibilidad y realizar un intercambio modal de bicicleta y/o automóvil, entonces su evaluación en cuanto a densidad de población cercana a la estación y conectividad modal, no concordará con las estrategias de desarrollo orientadas al transporte sustentable (CTS, 2009). Por último, con estos resultados se explica de mejor manera el fenómeno urbano de ciudades dormitorio en la periferia y los suburbios, pues al no estar concentrada la vivienda o el empleo cerca de estaciones de alta demanda, ni en terminales de Metrobús, indica que las personas deben hacer un recorrido más largo de dos kilómetros para llegar de su casa a su destino, representando así mayores tiempos de viaje.

III.2.- Viajes con destino en Insurgentes

En capítulos anteriores se mencionó que la avenida Insurgentes fungía como un atractor de viajes debido a la importancia del equipamiento comercial y de servicios en la Ciudad de México, así como los principales centros de trabajo hacia el cual se dirigen una gran cantidad de viajes en transporte público y privado diariamente.

En este apartado se muestran los resultados obtenidos tras delimitar primero las zonas críticas del sistema Metrobús Insurgentes, es decir, las nueve estaciones con mayor afluencia de usuarios diarios. Al tener ubicadas estas estaciones, se seleccionaron los distritos en los cuales la estación se encontraba dentro del polígono del distrito o en caso de encontrarse entre varios polígonos, se tomaban en cuenta los más cercanos dependiendo de su ubicación espacial. Estos datos fueron obtenidos de la encuesta Origen-Destino realizada en el año 2007, en este caso, se utilizó para conocer el número de viajes totales que se generaron con destino a cada uno de estos distritos. La lista de los distritos que corresponden a las estaciones de mayor demanda se muestra en la tabla III.2.

Una vez que se realizó la selección de los distritos destino que coinciden con el corredor Insurgentes, es posible construir mapas de líneas de deseo de viaje (Spider Dia-

Tabla III.2.-Distritos utilizados de la encuesta Origen-Destino 2007 y la estación de Metrobús cercana a ellos.

Fuente: Elaboración propia con datos de SETRAVI, 2007.

Estación	Distrito
Indios Verdes	Lindavista, Politécnico, Tepeyac, La Villa
Buenavista	Buenavista
Reforma	Zona Rosa
Glorieta de Insurgentes	Zona Rosa
Chilpancingo	Condesa
Poliforum	Del Valle, Ciudad de los Deportes
Dr. Gálvez	Plateros, Jardines del Pedregal, Viveros, Ciudad Universitaria
Perisur	Villa Olímpica
El Caminero	San Pedro Mártir

grams en inglés), en los que se puedan mostrar la cantidad de viajes con destino a un distrito, identificando la diferencia entre volúmenes a través de grosores de líneas que se dirijan al centroide de cada distrito seleccionado.

Las líneas de deseo son realizadas comúnmente para conocer los puntos de origen y destino que el usuario cautivo y potencial utiliza o desea seguir con el fin de ser una herramienta en la planeación de rutas de transporte que reduzcan tiempos de traslado (Moliner, 2002).

En la realización de las líneas de deseo se utilizaron los viajes totales, es decir, de la información disponible, se sumaron los viajes en automóvil, transporte colectivo y el STC metro, esto con la finalidad de representar al corredor Insurgentes como un destino común sin importar el medio de transporte utilizado, y aunque la temática de la tesis esté orientada al transporte público, era necesario considerar a los usuarios de automóvil que se transportaban hacia la avenida Insurgentes para tener un enfoque más completo. A continuación se muestran las imágenes realizadas (Imágenes III.7 a III.14) con las líneas de deseo y su contexto geográfico.

Con esta información gráfica es posible observar y analizar la cantidad de viajes los distritos de la zona de estudio, de los cuales existen algunos aspectos que es importante

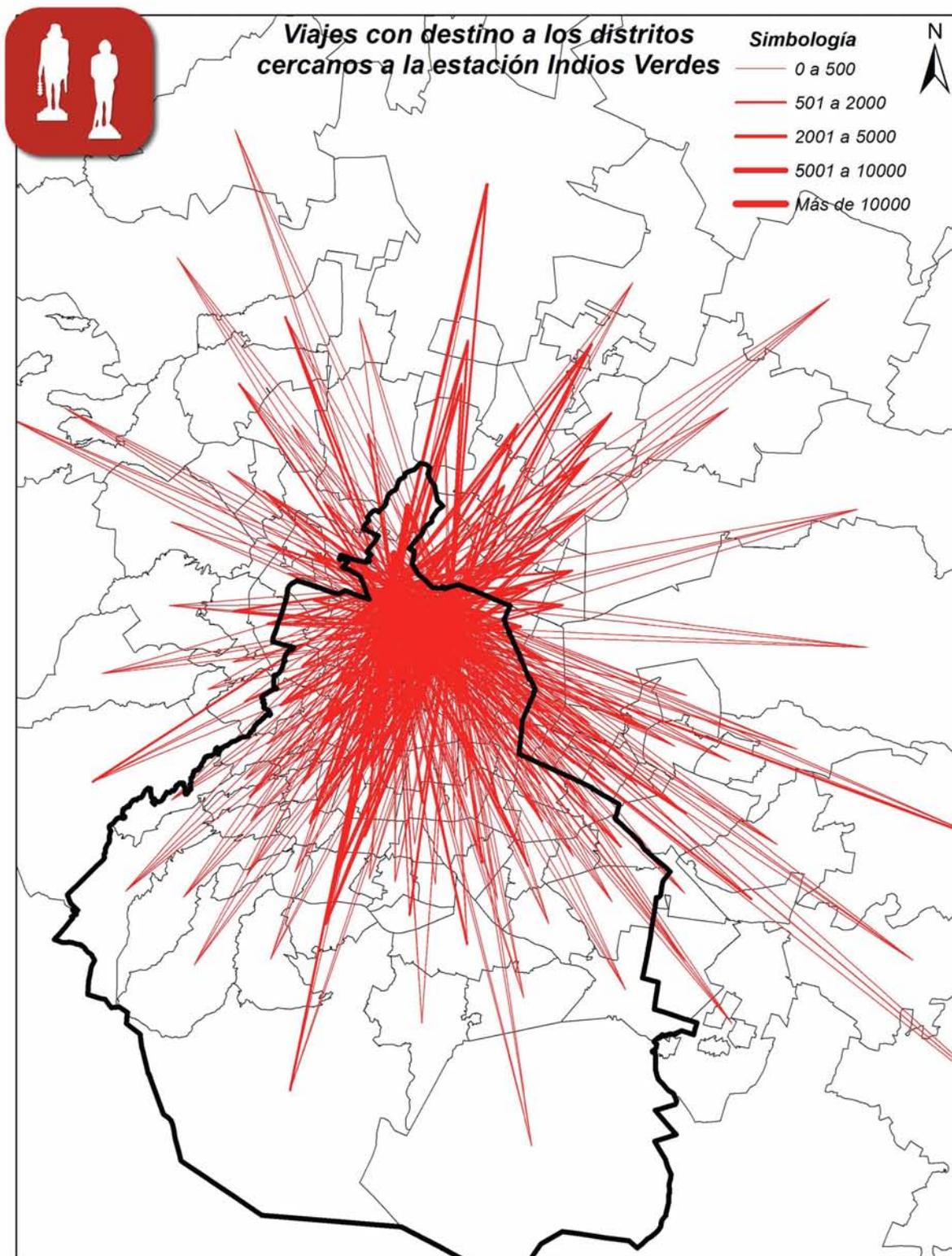


Imagen III.7. Viajes totales con destino a los distritos cercanos a la estación Indios Verdes del metrobús Insurgentes.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SETRAVI, Encuesta Origen-Destino 2007.

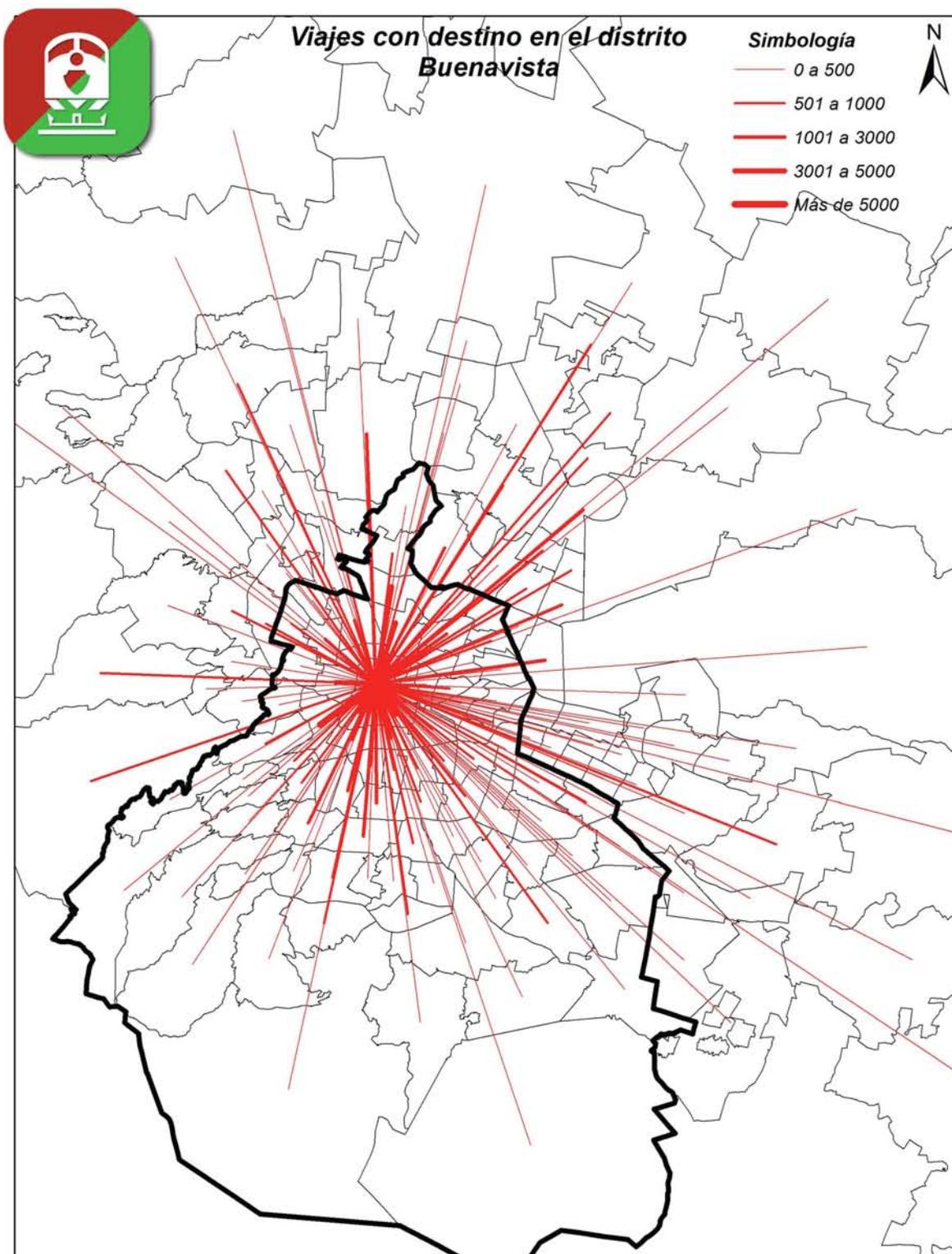


Imagen III.8. Viajes totales con destino a los distritos cercanos a la estación Buenavista del Metrobús Insurgentes.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SETRAVI, Encuesta Origen-Destino 2007.

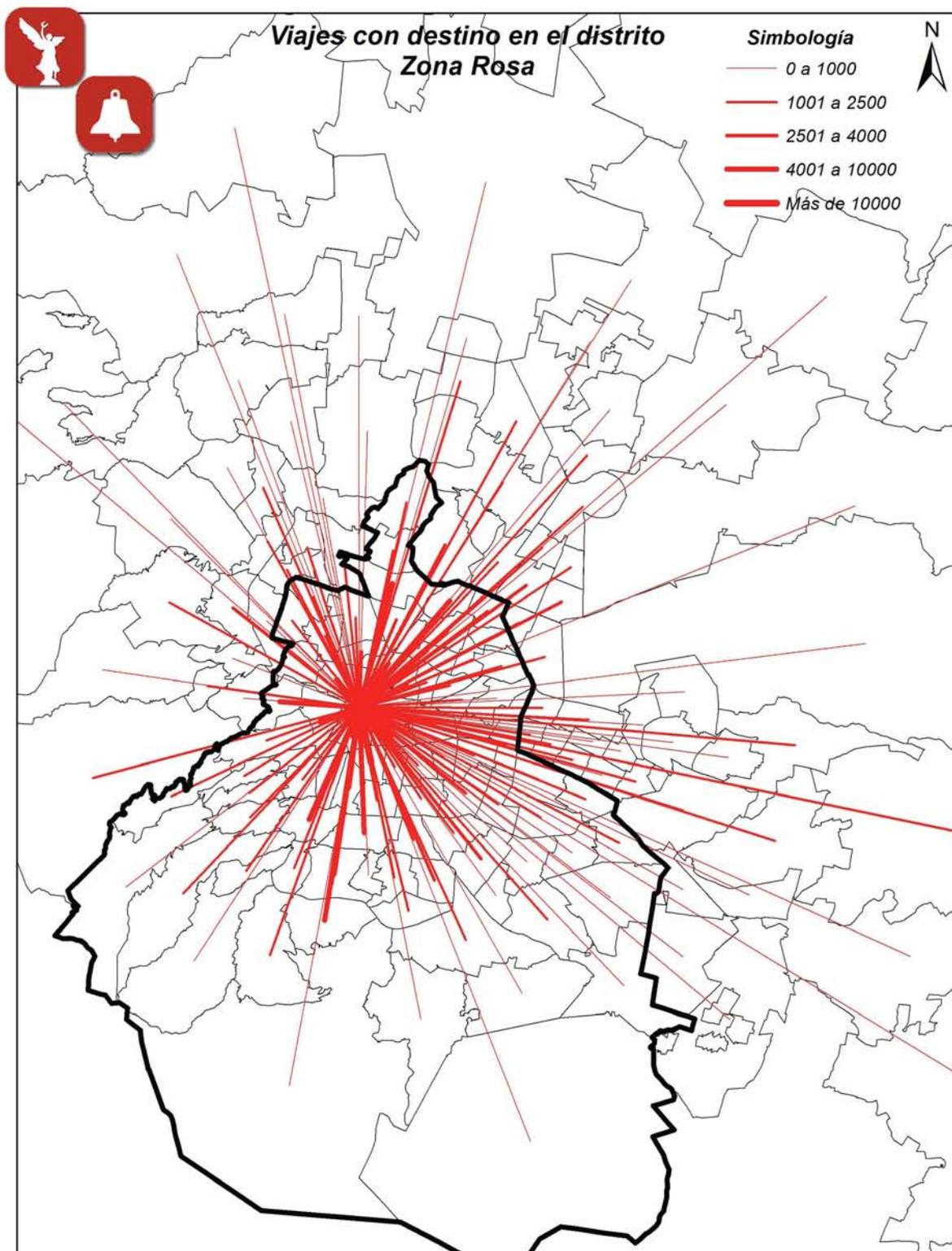


Imagen III.9. Viajes totales con destino a los distritos cercanos a las estaciones Reforma y Glorieta de Insurgentes del Metrobús Insurgentes.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SETRAVI, Encuesta Origen-Destino 2007.

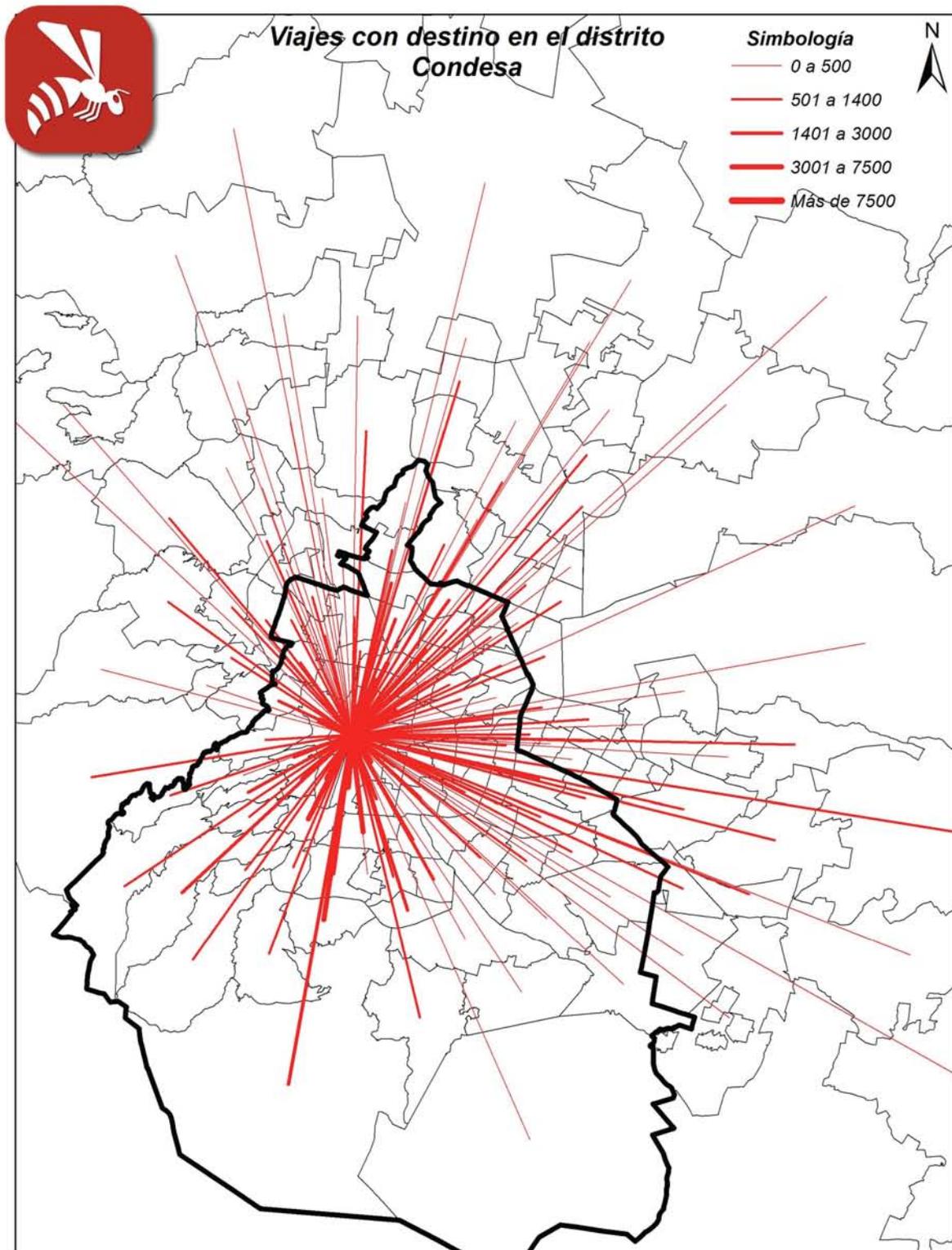


Imagen III.10. Viajes totales con destino a los distritos cercanos a la estación Chilpancingo del Metrobús Insurgentes.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SETRAVI, Encuesta Origen-Destino 2007.

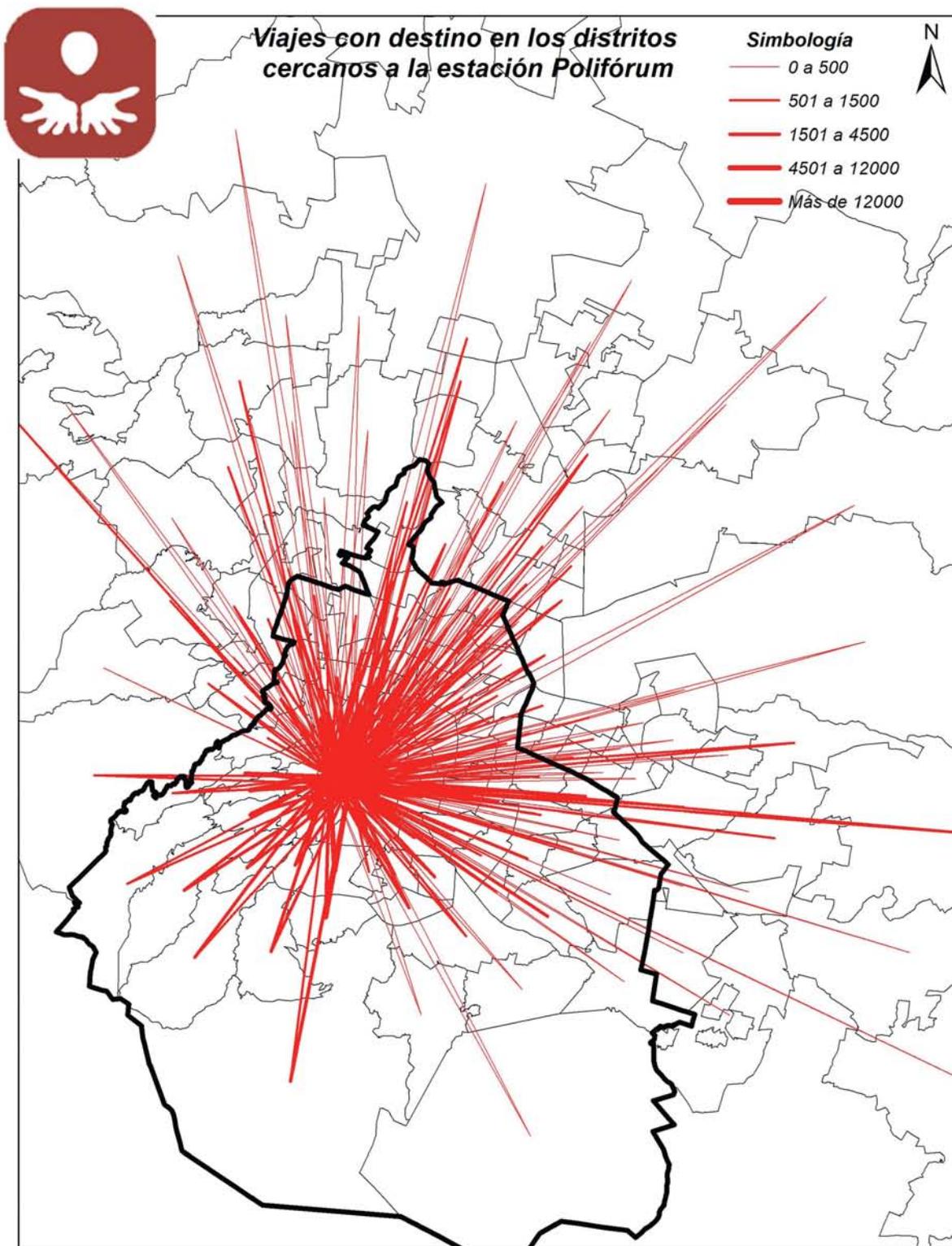


Imagen III.11. Viajes totales con destino a los distritos cercanos a la estación Polifórum del Metrobús Insurgentes.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SETRAVI, Encuesta Origen-Destino 2007.

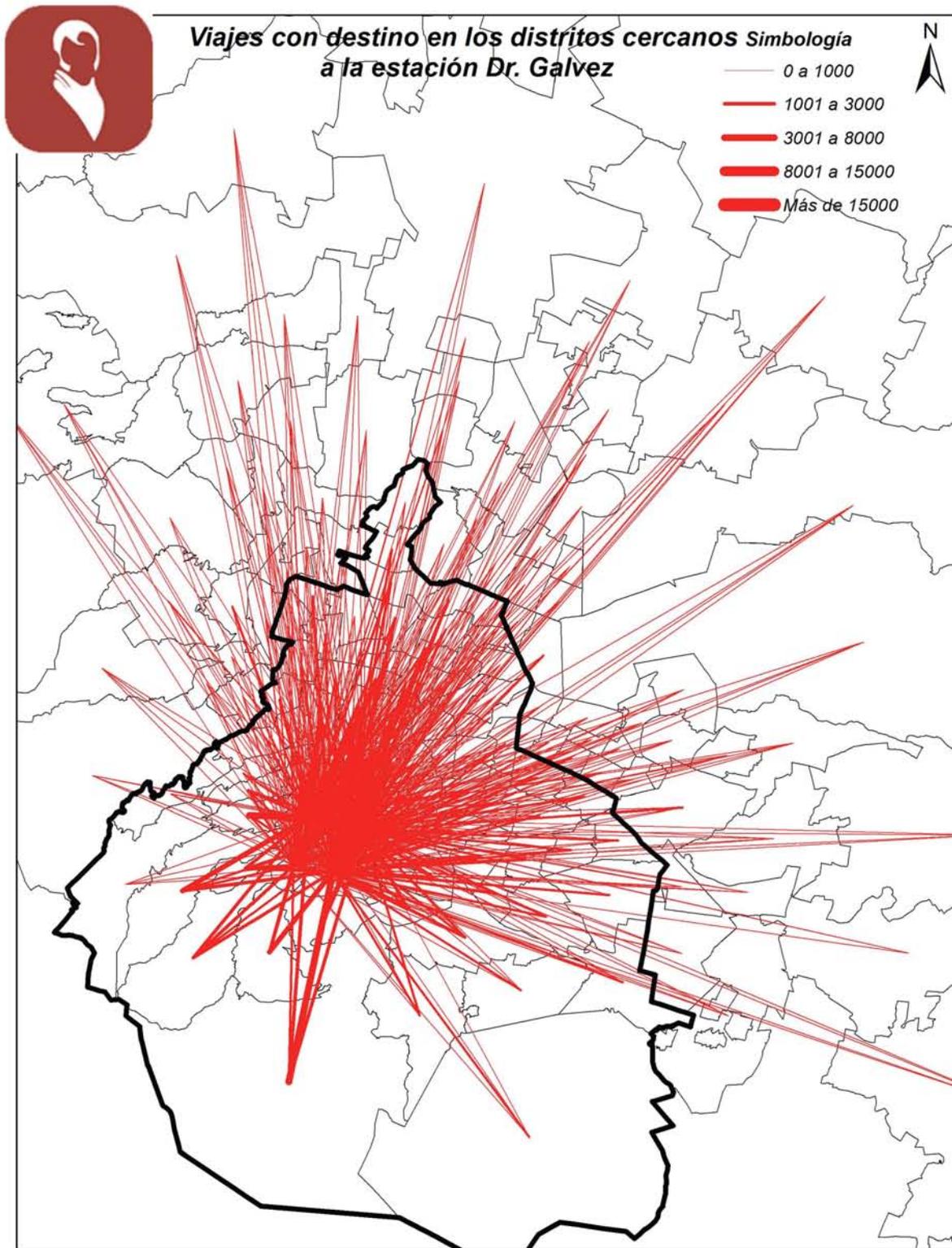


Imagen III.12. Viajes totales con destino a los distritos cercanos a la estación Dr. Galvez del Metrobús Insurgentes.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SETRAVI, Encuesta Origen-Destino 2007.

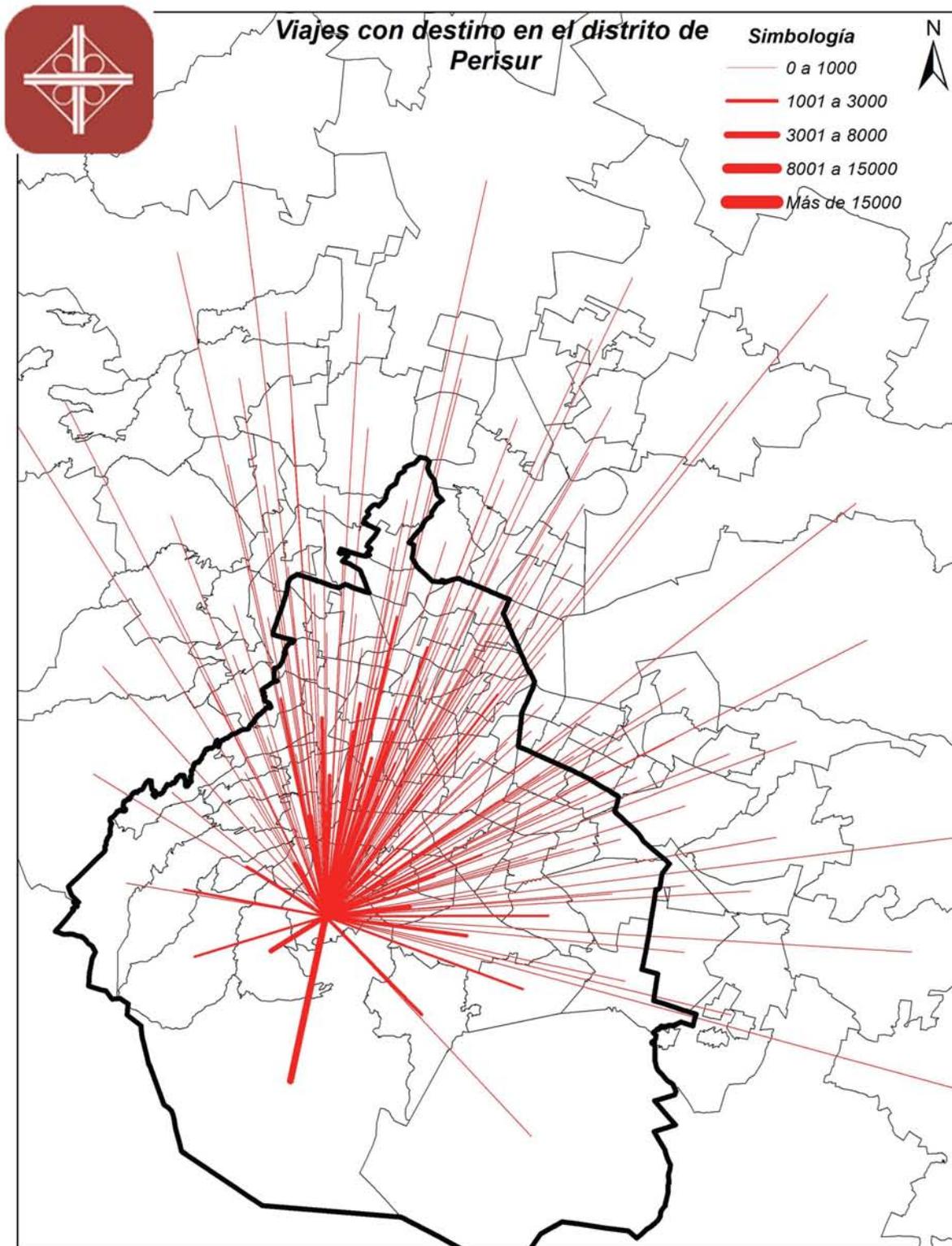


Imagen III.13. Viajes totales con destino a los distritos cercanos a la estación Perisur del Metrobús Insurgentes.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SETRAVI, Encuesta Origen-Destino 2007.

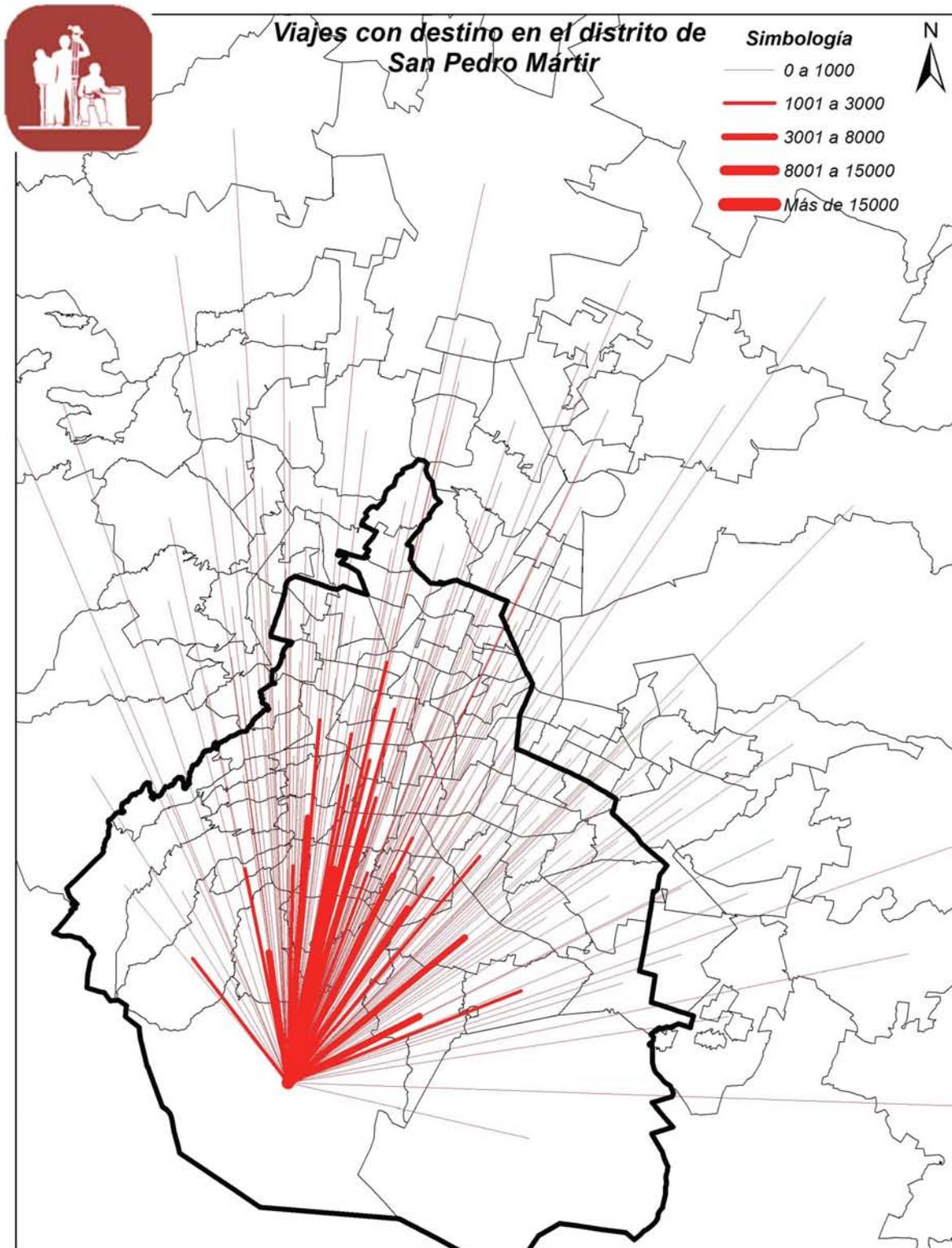


Imagen II.14. Viajes totales con destino a los distritos cercanos a la estación El Caminero del Metrobús Insurgentes.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SETRAVI, Encuesta Origen-Destino 2007.

resaltar y mencionar. La primera de ellas es que en el año en que se realizó la encuesta Origen-Destino, el Metrobús contaba con solamente una línea que corría sobre la avenida Insurgentes y no podía realizar ningún tipo de transbordo, ya que la línea 2 inició sus operaciones hasta el año 2009. Incluso la línea 1 contaba con menos estaciones que en la actualidad, ya que la ampliación hacia el caminero se realizó a inicios del 2008. Este aspecto repercute en el hecho de que para los distritos en los que se encuentra cerca una estación de metro, los viajes presentan una tendencia importante en la utilización del metro en lugar del Metrobús, ya que aún no estaba concretada la ampliación del sistema Metrobús. Además, la estación terminal de El Caminero no existía y no generaba tantos viajes debido a que la conectividad de la zona era más reducida.

De lo anterior se concluye que la encuesta Origen-Destino no es un gran indicador para demostrar la forma en que se trasladan las personas en una ciudad, ya que si bien puede mostrar en donde inicia y termina un viaje, omite las intermodalidades y no considera el recorrido completo para conocer el trayecto en común y observar patrones de congestión en distintas zonas.

Con esto se comprueba gráficamente que como se mencionó con anterioridad, el corredor Insurgentes es un gran destino en común para los habitantes no sólo del Distrito Federal sino también a nivel metropolitano, pues como se observa en la imagen de los viajes destinados a los distritos de la estación Indios Verdes existe una gran cantidad de viajes provenientes de los municipios de Ecatepec, Coacalco, Nezahualcóyotl, entre otros, lo que abre la puerta a otro tema de discusión que se escapa de los límites de esta tesis: La conectividad Metropolitana.

Tras el análisis demográfico-territorial realizado se comprueba que el sistema Metrobús tiene un alto impacto en la población atendiendo una gran cantidad de viajes y se ve reflejado en el territorio. Se sabe también que las personas no viven cerca de las principales estaciones de Metrobús, pues la densidad de población cercana a estaciones no sugiere una ciudad compacta, sino que los habitantes se tienen que trasladar en automóvil o en algún transporte masivo para realizar el trayecto casa-trabajo. Es por esto que ahora conviene analizar si es factible promover el transporte masivo tipo Metrobús y compararlo con otros medios similares para conocer las ventajas y desventajas de su operación, esto con el fin de mostrar qué medio de transporte es viable priorizar para una ciudad con comportamiento metropolitano y así garantizar una movilidad incluyente y eficaz.

En el siguiente capítulo se utilizará información con respecto a los costos de operación de mantenimiento de los principales medios de transporte de la Ciudad de México: Metro, Metrobús y Tren Ligero con la finalidad de hacer comparaciones entre su costo operativo y de construcción así como de sus beneficios y capacidad. Además, se analizan distintas propuestas de mejora para el corredor Insurgentes basado en modelación de la demanda de transporte público en la Zona Metropolitana del Valle de México.

Capítulo IV.- Reestructuración del corredor Insurgentes

“Una ciudad desarrollada no es aquella en la que los pobres andan en coche, sino aquella en que los ricos utilizan el transporte público” -Enrique Peñalosa, ex-alcalde de Bogotá, Colombia-

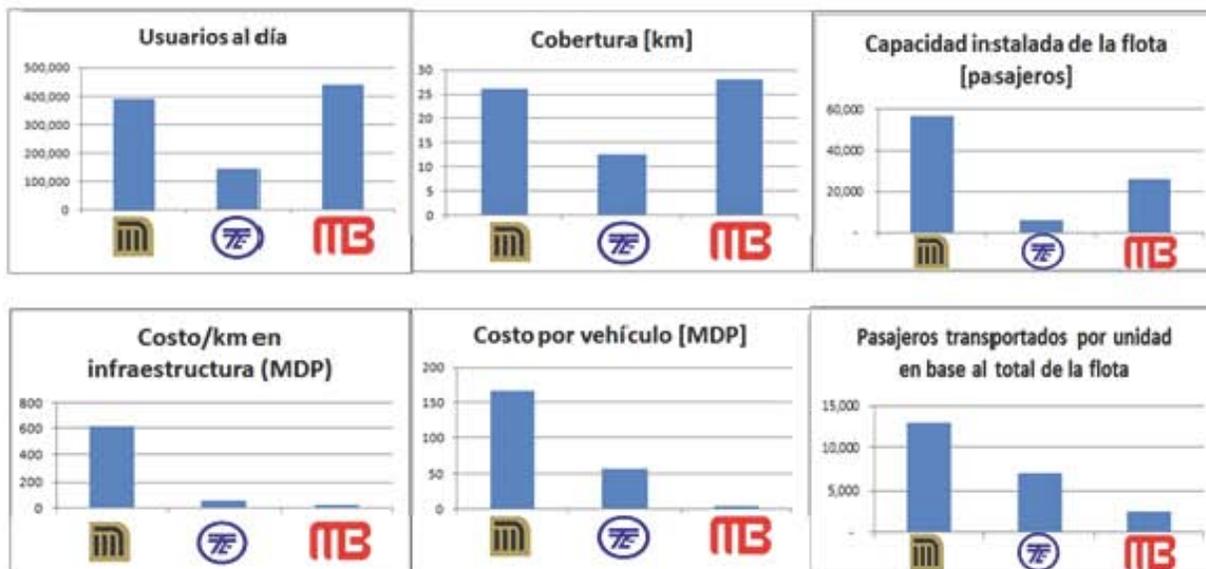
El corredor de Metrobús Insurgentes es, sin duda, un parte aguas en la movilidad de la Ciudad de México. Sin embargo, en los últimos años ha tenido un gran aumento en los usuarios atendidos diarios y esto ha provocado la saturación del sistema en horas pico al grado de ofrecer una mala calidad en el servicio según usuarios del mismo medio de transporte.

En el éste capítulo se realizará un análisis de distintos escenarios posibles que podrían ayudar a mejorar la saturación de usuarios en la línea 1 de Metrobús. Cada uno de estos escenarios genera impactos en el entorno, además sus costos de construcción y la variación en los tiempos de implementación. Es por esto que es conveniente comparar aspectos similares entre tres tipos de transporte masivo que operan en la ciudad: Metro, Metrobús y Tren Ligero, considerando que en el desarrollo de este capítulo se mostrarán datos de la construcción de la línea 12 de Metro, por eso, el punto de comparación entre los tres medios masivos mencionados, son: Línea 12 Bicentenario, Línea de Tren Ligero y Línea 1 Metrobús Insurgentes. En la imagen IV.1 muestra un comparativo de estos tres medios de transporte en cinco variables: Pasajeros transportados, cobertura en kilómetros, vehículos en operación, costo por kilómetro de la infraestructura construida, costo por vehículo y su capacidad.

Imagen IV.1. Comparativo entre Metro línea 12, Tren Ligero y Metrobús línea 1.

Nota: Millones de Pesos [MDP]

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de STC Metro, Sistema de Transportes Eléctricos, Metrobús y Secretaría de Obras Públicas del Distrito Federal. Diciembre 2012.



Como se observa en la imagen IV.1 que si se comparan estos tres medios de transporte masivos, el total de usuarios a los que está destinada la línea 12 del Metro es similar la cantidad a los pasajeros transportados en 2012 por Metrobús en el corredor Insurgentes. Pero esto puede necesitar algunas aclaraciones. Primero, para la gráfica de usuarios al día se consideraron los siguientes datos: La capacidad de transporte ofrecida para la línea del tren ligero que corre de Tasqueña a Xochimilco en día laborable es de 143,027 usuarios (STE, 2012), a 21 días de ser inaugurada la línea 12 del metro, una afluencia promedio de 390 mil usuarios en día laborable incluyendo transbordos (STC Metro, Noviembre 2012), la demanda de 440,000 pasajeros promedio en día laborable en 2012 en la línea 1 de Metrobús (Metrobús, 2012).

Como resultado se concluye que en cuanto a la demanda diaria de usuarios según datos oficiales, el Metrobús Insurgentes atiende incluso a más usuarios diariamente que la proyección de la línea 12 del Metro y el Tren Ligero.

Segundo, para la cobertura se consideró solamente la longitud del trazo de la línea y no doble por la ida y vuelta de la superficie de rodamiento (ver gráfica b en imagen IV.1), es decir:

- 26 km de Metro
- 12.5 km de Tren Ligero
- 28 km de Metrobús Línea 1

También en este apartado se observa que el Metrobús tiene mayor recorrido al tener mayor longitud en el trazo. Habría que discutir también la ubicación de cada trazo para determinar cuál tiene mayor impacto urbano, económico y social, pero eso es un tema que sobrepasa los alcances de la presente tesis.

Tercero, al comparar el número de unidades utilizadas en cada medio de transporte, se encuentra que el total de unidades es relevante y está en proporción de la demanda que se estima atender ya que si se compara el tran ligero, resulta tener pocas unidades con poca capacidad, lo cual se ve reflejado en su demanda diaria de usuarios. En este rubro es importante realizar las siguientes aclaraciones. La flota vehicular con la que contaba la línea 1 de Metrobús en 2012 que era de 170 autobuses (149 articulados con capacidad de 140 pasajeros y 21 biarticulados con capacidad de 240 pasajeros). La flota completa de la línea 12 del metro era de 30 trenes con capacidad de 1,200 pasajeros cada uno. En el Tren Ligero se consideraron los 20 trenes con capacidad de 300 pasajeros (STE, 2012).

Es pertinente la aclaración de que los autobuses con los que cuenta Metrobús tienen una tecnología Euro IV y Euro V, las cuales reducen las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera además de utilizar Diesel Ultra Bajo en Azufre (UBA).

Cuarto, en cuanto al costo por kilómetro de infraestructura es importante resaltar los detalles de cada rubro (ver gráfica e en imagen IV.1): En el caso de la línea 12 del Metro deben dividirse entre los 26 km de trazo, los 16 mil 72 millones, 287 mil 613 pesos utilizados para la construcción solamente en su infraestructura, lo cual se refiere a la construcción de talleres y su equipamiento, estaciones y tramos de vía y sistemas complementarios (IFAI: STC Metro, 2012), resultando un total de 618 millones 164 mil 908 pesos por kilómetro. El costo por kilómetro de la construcción de infraestructura para el Tren Ligero es significativamente menor al de la construcción de la línea 12 del Metro, pero mayor al Metrobús, ya que se necesitan \$53 millones, 934 mil 310 pesos para su realización, este costo incluye el valor de la vía y la catenaria así como la cimentación y las subestaciones eléctricas que utiliza para su operación (IFAI: STE, 2012), resultando 4 millones, 314 mil 745 pesos para cada uno de sus 12.5 kilómetros. El Metrobús requiere un costo de construcción en infraestructura de 22.5 millones de pesos por kilómetro, de los cuales se gastaron 307 millones de pesos en la etapa de Indios Verdes a Doctor Gálvez y 325.5 millones de pesos en la ampliación hacia el caminero que incluye el carril del autobús de concreto hidráulico y estaciones.

La gran diferencia entre el costo del Metrobús y del Metro es uno de los puntos más importantes de este análisis, ya que anteriormente se mencionó que ambos transportan una cantidad similar de pasajeros diariamente. Es entonces cuando el costo de la construcción de una línea de metro se multiplica al menos 20 veces en comparación con la construcción de infraestructura para Metrobús.

Quinto, En el costo por vehículo resulta más caro obviamente cada tren de metro que un autobús debido a sus dimensiones y adecuaciones técnicas. Sin embargo es importante considerar lo siguiente: No fue utilizada información de compra de trenes para la línea 12 del STC Metro, ya que como fue un contrato de arrendamiento por 17 años (IFAI: STC, Septiembre 2011), tendría que compararse con otro medio que también haya rentado vehículos. En su lugar, se utilizó la más reciente compra de trenes realizada por el STC en el año 2003, en la cual se adquirieron 45 trenes nuevos a la empresa Bombardier para la línea 2 del metro con un valor total de 428 millones 500 mil dólares (Periódico Reforma, 12/10/2002), dando como resultado 5 mil 570 millones, 500 mil pesos por tren si se considera un valor del dólar como el actual a finales del 2012 de 13 pesos. Se consideró un costo de 57.7 millones de pesos de un Tren Ligero del STE de acuerdo con la última adquisición de trenes en el ejercicio 2006 que llegaron para el ejercicio del 2008 (STE, Junio 2012). El costo utilizado para un autobús articulado es de 3.9 millones de pesos.

Es muy importante resaltar la escala de precios al ser comparados, pues el tren del metro de la línea 2 en comparación al autobús articulado es 1,428 veces más caro, mientras que el tren ligero es solamente 14.8 veces más caro que el autobús.

Por último, la gráfica de la capacidad de pasajeros por vehículo está en función del tipo de sistema, ya que entre más grande es el vehículo como el metro, naturalmente podrá transportar más pasajeros. Esta gráfica está relacionada con la flota vehicular pues representa la eficiencia para transportar personas con base en la demanda y la flota total de cada medio y se consideró lo siguiente: Para el metro se dividieron los 390,000 pasajeros diarios en 2012 entre los 30 trenes de su flota, para el tren ligero se dividieron los 143,027 pasajeros diarios en el año 2012 entre su flota de 20 trenes y finalmente para el metrobús se dividieron los 440,000 pasajeros diarios en 2011 entre los 170 autobuses sin considerar sus capacidades.

Cabe mencionar que la capacidad de Metrobús puede ser ampliada a 240 pasajeros por unidad al ser bi-articulada.

Como se ha observado, hay mucha información técnica y económica para realizar comparaciones entre los medios de transporte, no solo para dimensionar el costo de la infraestructura sino para tomar en cuenta costos sociales de imagen urbana al construirse algún medio masivo de transporte.

Percepciones sociales

Primero, un ejemplo claro de los costos sociales que repercuten en la imagen urbana de la ciudad es el derecho de vía necesario para el funcionamiento del metro en comparación al del tren ligero o metrobús. Sobre todo, el espacio ocupado por un sistema de metro es mucho mayor si se realiza de forma elevada con columnas que sostienen la vía por donde corren los rieles. Tal es el caso de la línea 12 del metro la cual se analiza, ya que aunque no todo su trazo es elevado, la mayoría de las estaciones son de superficie y elevadas, lo que genera que la Avenida Tláhuac se vea dividida por la infraestructura. Esto ocasiona que el número de cruces peatonales a nivel se reduzca en comparación a un sistema de BRT en el que en cada estación se realiza una intervención para facilitar el acceso a peatones como en el caso del corredor Insurgentes. El tren ligero por su parte, realiza también esta segmentación del espacio al colocar límites físicos como bardas, rejas y camellones para evitar el cruce de autos y peatones reduciendo de igual manera el número de cruces para los peatones.

Segundo, otro aspecto social importante es el tiempo de construcción necesario para cada medio de transporte pues en el caso de Metrobús, al utilizar materiales prefabricados para las estaciones es capaz de ser construida una calle completa como la línea 5

en alrededor de 6 meses. Por otro lado, el metro de la línea 12 tomó alrededor de 4 años para su realización. La diferencia de tiempos de construcción es una variable importante para tomar en cuenta no sólo en términos económicos sino políticos, pues muchas veces los proyectos deben realizarse durante el tiempo de gobierno o antes de que éstos terminen para tener un referente del gobernante en turno y sus logros obtenidos en construcción de transporte público.

Como conclusión, en la tabla IV.1 se realiza un resumen de los aspectos analizados y se incluyen algunos aspectos sociales característicos de cada medio.

Tras haber estudiado las diferencias y similitudes técnicas que tienen en común estos tres sistemas de transporte masivo, es posible comenzar a abordar con más detalle a cada sistema para lograr tener una idea más clara del beneficio que aporta a la ciudad y destacar un sistema que logre resolver el problema de saturación en la línea 1 de Metrobús.

Tabla IV.1.-Tabla resumen de características de cada medio de transporte masivo.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos a través de IFAI, 2012.

Característica	Metro línea 12	Tren ligero	Metrobús Insurgentes
Demanda diaria [pasajeros/día]	390,000	143,027	440,000
Cobertura del trazo [km]	26	12.5	28
Flota Vehicular	30 trenes	20 trenes	170 autobuses
Costo/km en infraestructura (MDP)	\$ 618,164,908	\$ 4,314,745	\$ 23
Costo por vehículo [MDP]	\$ 166.7	\$ 57.7	\$ 3.9
Capacidad por vehículo [Pasajeros]	1,900	292	140 y 240
Velocidad promedio [km/hr]	41	25	20
Costo por pasajero (Costo del vehículo/capacidad) [MXN/pasajero]	\$138,917 por pasajero	\$192,333 por pasajero	\$16,250 por pasajero
Capacidad instalada de la flota [pasajeros]	36,000	6,000	25,900
Pasajeros transportados al día por unidad de la flota	13,000	7,151	2,588
Ancho del derecho de vía (aprox.)	10.2 m	13.2 m	9.5 m
Tiempo de construcción	48 meses	2 años (Transición tecnológica)	6 meses

V.1.- Escenarios propuestos

A continuación se presentan cuatro escenarios para atender la demanda actual y creciente del corredor Insurgentes a través de la implementación de varios medios de transporte masivo exponiendo sus beneficios y aspectos negativos para posteriormente realizar una comparación entre ellos.

ESCENARIO I.- Sustitución de autobuses a flota de únicamente bi-articulados.

El primer escenario para la mejora del servicio en la línea 1 de Metrobús Insurgentes es la compra de autobuses bi-articulados y la sustitución de los actuales autobuses articulados que dan servicio en esta línea.

Lo primero es conocer lo que pasará con los 170 autobuses que operan actualmente en Insurgentes (149 articulados y 21 bi-articulados), cabe mencionar que un autobús de este tipo tiene una vida útil de 10 años y que en el año 2015 Metrobús tendrá que realizar un cambio en la flota que haya cumplido este tiempo a menos que se realice una "repotenciación" a los autobuses para extender su vida útil (Metrobús, 2012). Aún así, solamente los autobuses bi-articulados podrán circular sobre Insurgentes bajo este nuevo esquema planteado en el escenario, quedando como posibilidad mandar a los demás autobuses a cubrir la demanda de las demás líneas existentes para entonces mediante un esquema de compra-venta basados en kilometraje recorrido que es necesario analizar con detalle pero sale del alcance de este trabajo de investigación.

En el escenario 1 de las propuestas la línea 1 de Metrobús transportó a 112,322,116 pasajeros (IFAI y Metrobús, 2011), es decir, aproximadamente 307,732 pasajeros diariamente en día laboral. Se presentan las acciones a realizarse en este escenario y se resumen en la tabla IV.2:

- Comprar 150 autobuses bi-articulados para igualar la flota actual de autobuses y elevar la capacidad de cada vehículo de 160 a 240 pasajeros, los cuales tienen un costo de 3 millones 900 mil pesos los autobuses articulados y 5 millones 590 mil pesos los buses bi-articulados (Ver imagen IV.2).
- Tomar en cuenta el costo anual del combustible y sumarlo para conocer el costo del primer año de su operación.

Imagen IV.2 Capacidad y costo de autobuses para el corredor Insurgentes de Metrobús.

Fuente: Elaboración propia con datos de Metrobús obtenidos a través de IFAI, 2012.

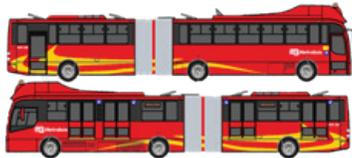
Articulado		Capacidad	Costo (MXN)
		160 pasajeros	3.9 MDP
Biarticulado		240 pasajeros	5.59 MDP

Tabla IV.2.-Costo y descripción de acciones a realizar en el escenario 1.

Fuente: Elaboración propia con datos de Metrobús obtenidos a través de IFAI, 2012.

Acción	Costo (MXN)	Descripción
Compra de autobuses Bi-Articulados	\$ 838,500,000	Compra de 150 autobuses bi-articulados a 5.59 MDP cada uno
Costo anual de diesel para 150 Autobuses Bi-Articulados en Línea 1	\$ 101,250,000	Costo anual considerando: \$10.8 el litro de Diesel UBA y que un autobús Bi-Articulado gasta alrededor de 62 mil 500 litros de Diesel UBA al año
Total	\$ 939,750,000	

Al ser una compra de vehículos, no es necesario añadir un tiempo adicional para la adecuación de estaciones, pues las puertas de ingreso para bi-articulados actualmente están disponibles en todas las estaciones. El tiempo de implementación y familiarización es inmediato pues actualmente ya existen autobuses de este tipo sobre el corredor.

ESCENARIO II.- Construcción de un carril de rebase para servicio exprés

En diversos sistemas BRT alrededor del mundo la infraestructura del carril confinado está diseñada para brindar mayor y mejor servicio al ofrecer rutas de transporte expreso. Este tipo de transporte tiene la característica de hacer paradas sólo en algunas estaciones destinadas en la ruta y realizar un rebase que generalmente se efectúa en una bahía de ascenso y descenso adicional en la estación, ofreciendo con esto, recorridos más rápidos al no detenerse en cada parada de la ruta ordinaria.

En México sólo el sistema BRT del Estado de México conocido como "Mexibús" cuenta con esta infraestructura, sin embargo, es posible construir un carril semejante en el sistema Metrobús para disminuir el tiempo de los traslados y evitar la saturación en el sistema.

Para considerar su factibilidad deben considerarse distintos factores antes de implementar esta medida, como el costo por kilómetro de carril confinado de Metrobús, la compra de nuevos autobuses, mantenimiento de la estación, sueldos y salarios de los trabajadores, etc.

La construcción de rebases a lo largo de la avenida Insurgentes representa no sólo la inversión que se debe realizar para su implementación, sino que más allá de la operación dentro del sistema, repercute drásticamente en la ciudad al eliminar un carril de automóviles para beneficiar al transporte público. Esta solución es, sin duda, controversial, ya que al ser una de las arterias viales más importantes de la ciudad, tomando como premisa en el escenario que los beneficios para los usuarios de transporte público deben ser mayores ya que representan el 80% de los viajes en la Ciudad de México, en contraste con los de usuarios de automóvil que solo representan el 20% (Lobo Adriana, 2009), reduciendo así mayor cantidad emisiones de gases contaminantes a la atmósfera causados por automóviles en circulación. Se muestra una tabla IV.3 con los datos y costos de su construcción.

Tabla IV.3.-Costo y descripción de acciones a realizar en el escenario 2.*Fuente: Elaboración propia con datos de Metrobús obtenidos a través de IFAI, 2012.*

Acción	Costo [MXN]	Descripción
Construcción de concreto hidráulico en toda la avenida (ambos sentidos de BRT y automóviles)	\$1,601,600,000	Tres veces el costo del carril original de la línea 1 (\$280 MDP de Indios Verdes a Dr. Galvez = 19.5 km), entonces, cuesta 14.3 MDP el km de concreto hidráulico.
Adecuación en estaciones para arribo de 2 autobuses por sentido	\$230,000,000	Adecuación de estaciones para acceso de pasajeros conforme ubicación de puestas en Bi-Articulados (46 estaciones, 5 MDP por estación en L1)
Mantenimiento a la Línea 1	\$1,000,000	Mantenimiento anual de la línea (considerando 0.7 MDP para 2011 en L1 Insurgentes)
Total	\$1,832,600,000	

Como se observa, el costo de implementación del escenario II es de casi el doble en comparación al primero, esto debido a que la construcción del concreto hidráulico se realizó no solamente para el nuevo carril confinado, sino en el carril restante para automóviles, esto con el fin de asemejar el costo de construcción de la línea 3 de Metrobús en la que se repavimentó el arroyo vehicular completo. Además, al dejar un solo carril para automóviles, es posible realizar mejoras también en el espacio público. Para comprobar esto se realizó una medición aproximada desde la imagen satelital de Google Earth en cada estación para tener la distancia que existe entre paramentos. Con estos datos es posible restar el ancho de cada elemento que pertenece al carril de Metrobús así como el arroyo vehicular y obtener el aproximado del ancho de banqueta. Para efecto de este análisis se debe tener presente las siguientes dimensiones:

- Ancho de estación: 5 m
- Ancho de carril confinado: 3m
- Ancho de la barra de confinamiento: 20 cm
- Ancho de carril para automóviles (antes del carril de rebase): 2.8 m
- Ancho de carril para automóviles (después del carril de rebase): 3.0 m

Es importante resaltar que para el análisis de mejora en el ancho de banquetas se consideró un aumento en el ancho de carril para automóviles, lo cual permite un aumento en la velocidad promedio al ser de 3 metros, manteniendo esta dimensión como mínimo en todo el corredor. La tabla IV.4 muestra el ancho de banqueta antes y después de la implementación de un carril de rebase en Insurgentes.

La tabla IV.4 también muestra una mejora en las dimensiones del espacio destinado como banqueta ya que las nuevas medidas se ajustaron a la reducción de un carril vehicular y un modelo de estaciones para todo el corredor. Con esto se concluye que la mejora no solamente es para el espacio que ocupa el transporte público sino también para los peatones, lo cual significa mejor calidad para un corredor BRT pues es incluyente con su entorno al facilitar el acceso universal a personas con alguna discapacidad y promueve el modelo de calles completas al considerar al peatón como parte integral del esquema de movilidad.

Tabla IV.4.- Comparativa entre ancho de banquetas antes y después de la implementación del carril de rebase para Metrobús en Insurgentes.

Fuente: Elaboración propia con información de Google Earth.

Estación	Sección de calle [m]	Sección de banqueta Antes	Sección de banqueta Después
El caminero	21.91	-0.345	0.755
La Joya	30.96	4.18	5.28
Santa Úrsula	34.04	5.72	6.82
Fuentes Brotantes	35.04	6.22	7.32
Ayuntamiento	34.06	5.73	6.83
Corregidora	34.34	5.87	6.97
Villa Olímpica	41.4	9.4	10.5
Perisur	48.75	13.075	14.175
CUC	29.51	3.455	4.555
C.U.	30.61	4.005	5.105
Doctor Gálvez	35.36	6.38	7.48
La Bombilla	35.64	6.52	7.62
Altavista	34.99	6.195	7.295
Olivo	33.37	5.385	6.485
Francia	36.37	6.885	7.985
José Ma. Velazco	32.75	5.075	6.175
Teatro Insurgentes	34.44	5.92	7.02
Rio Churubusco	31.7	4.55	5.65
Félix Cuevas	34.92	6.16	7.26
Parque Hundido	34.74	6.07	7.17
Ciudad de los Deportes	34.46	5.93	7.03
Col. Del Valle	39.9	8.65	9.75
Nápoles	34.97	6.185	7.285
Poliforum	34.61	6.005	7.105
La Piedad	35.89	6.645	7.745
Nuevo León	32	4.7	5.8
Chilpancingo	30.2	3.8	4.9
Campeche	35.13	6.265	7.365
Sonora	35.34	6.37	7.47
Álvaro Obregón	32.18	4.79	5.89
Durango	28.74	3.07	4.17
Glorieta de Insurgentes	28.02	2.71	3.81
Hamburgo	29.95	3.675	4.775
Reforma a Plaza	39.46	8.43	9.53
Plaza de la República	38.93	8.165	9.265
Revolución	38.24	7.82	8.92
El chopo	26.96	2.18	3.28
Buenavista	36.75	7.075	8.175

Estación	Sección de calle [m]	Sección de banqueta Antes	Sección de banqueta Después
Manuel González	45.5	11.45	12.55
San Simón	29	3.2	4.3
Circuito	40.07	8.735	9.835
La Raza	31.34	4.37	5.47
Potrero	53.72	15.56	16.66
Euzkaro	43.48	10.44	11.54
Deportivo 18 de Marzo	47.21	12.305	13.405
Indios Verdes	61.62	19.51	20.61

La propuesta para este escenario, considerando la construcción del carril de rebasa, es la inclusión de dos o más nuevas rutas expresas que tendrán un número de paradas inferior al promedio en las actuales rutas. Las estaciones de parada para las nuevas rutas están basadas en los orígenes y destinos más frecuentes de toda la línea en los horarios pico donde se registran más accesos de usuarios al sistema tanto en la mañana (8:00 am a 8:30 am) como en la tarde (6:00 pm a 6:30 pm), dicho comportamiento en las estaciones se muestra en la gráfica IV.1, y un ejemplo de las nuevas rutas se encuentra en la imagen IV.3:

Gráfica IV.1 Viajes diarios por estación en la hora pico matutina y vespertina en la línea 1 de Metrobús.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Metrobús a través del IFAI, Agosto 2011.

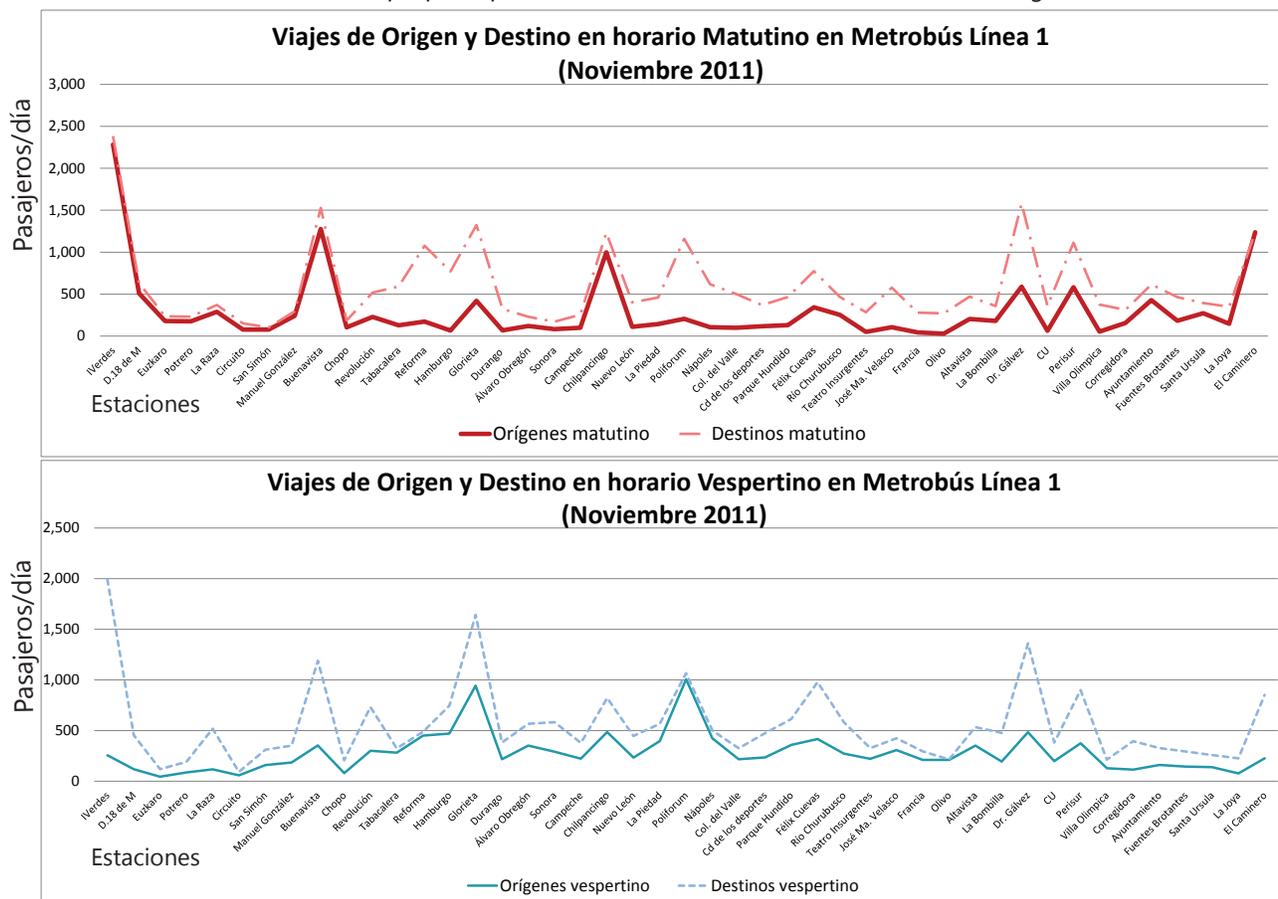
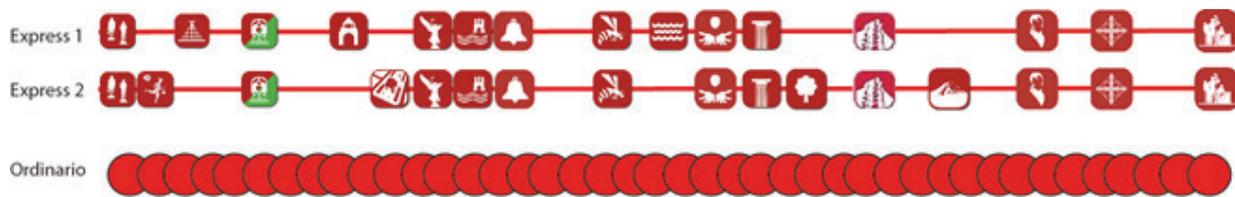


Imagen IV.3.- Propuesta de dos nuevas rutas expresas. Fuente: Elaboración propia.



Express 1: 15 estaciones
Express 2: 16 estaciones
Ordinario: 46 estaciones

Las mejoras que conlleva esta solución son principalmente orientadas para los usuarios del transporte público, ya que con un carril adicional para la circulación de los autobuses la capacidad y velocidad del sistema mejora considerablemente mejorando a su vez la fluidez de los servicios de emergencia que podrán usar los carriles exclusivos. Sin embargo, estas mejoras deben ir acompañadas con la mejora no sólo de la superficie de rodamiento y capacidad de la vía para los autobuses, sino de toda una mejora integral de la calidad y eficiencia del servicio. Esto incluye la programación de los autobuses y la información al usuario en tiempo real para promover el cambio modal del auto y preferir el transporte público. Además, la mejora del servicio de Metrobús reduciría emisiones al ambiente pues el carril o los de automóviles restantes serán ocupados sólo para acceder a los usos comerciales y de servicios en la vía, lo que necesita un plan maestro de integración de bahías y entradas a negocios que podrían verse afectados severamente si no se incluyen en la planeación e implementación del proyecto. La tabla IV.4 muestra una comparativa de algunos de los beneficios (ITDP, 2014):

Tabla IV.5.- Comparativa entre las características principales de sistemas BRT con rebase.

Fuente: Elaboración propia

CONCEPTO	SIN REBASE	CON REBASE
Capacidad del corredor	13,000 pas/hr/sentido	30 a 40,000 pas/hr/sentido
Implementar rutas expresas	No es posible	Si es posible
Velocidad promedio	20 km/hr	25 km/hr

ESCENARIO III.- Tren ligero en el corredor Insurgentes

Debido a la gran cantidad de pasajeros que utilizan la línea 1 del Metrobús Insurgentes, se da la saturación actual y futura del corredor. Es posible considerar la evolución del sistema en el corredor Insurgentes a un medio en el que los vehículos tengan mayor capacidad tal como el tren ligero.

Un sistema de Tren Ligero cambia completamente la operación y la flexibilidad de rutas del sistema sobre la avenida Insurgentes, ya que se traslada sobre rieles que significarían la desaparición de la ruta actual de Metrobús en dirección a Tepalcates desde Colonia del Valle.

Actualmente la línea de Tren Ligero de la Ciudad de México tiene una capacidad de transporte ofrecida en día laborable de 143,027 usuarios (STE-IFAI, 2012). Esto debido a los largos tiempos entre trenes y la relativamente poca demanda de usuarios en dirección a Xochimilco o Tasqueña.



Imagen IV.4.- Propuesta de tranvía para el centro histórico de la Ciudad de México realizada en 2010.

Fuente: <http://forum.skyscraperpage.com/showthread.php?p=3647250>

En 2007 el gobierno de la ciudad analizaba la implementación de un sistema de tranvía en el centro histórico (Imagen IV.4), construcción que no se llevaría a cabo pues optaron por la implementación de la línea 4 de Metrobús. Existen varias consideraciones que deben ser tomadas en cuenta sobre esta propuesta.

Primero, la velocidad promedio del tren ligero de la Ciudad de México varía entre 45 y 50 km/hr (El Universal, 2013), esto debido a que el trazo del tren es en derecho de vía tipo A (aislado del tránsito con algunas intersecciones a nivel). En Insurgentes, existe una gran cantidad de intersecciones viales en las que el actual transporte público masivo Metrobús, debe hacer paradas obligatorias, esto sugiere entonces que al implementar el tren ligero, se estaría afectando el funcionamiento actual del corredor y por tanto de sus alrededores en la ciudad, además los peatones deberán caminar mayores distancias ya que las estaciones tienen el doble de distancia entre sí y probablemente tener que utilizar escaleras para ingresar al andén en caso de no ser a nivel la estación, medida que segmenta el espacio y lo hace poco equitativo.

Segundo, considerando lo anterior, para alcanzar una velocidad mayor que Metrobús, el tren ligero debería estar aislado del tránsito en intersecciones, ocasionando que éste sea elevado o subterráneo, lo cual eleva su precio y tiempo de construcción.

Dicho lo anterior, es necesario revisar los costos de construcción y operación del tren ligero de la Ciudad de México para compararlos posteriormente. En la tabla IV.4 se describen los costos en pesos mexicanos.

Tabla IV.6.- Costo y descripción de acciones a realizar en el escenario 3.

Fuente: Elaboración propia con datos de STE y Secretaría de Obras del D.F. obtenidos a través de IFAI, 2012.

Acción	Costo (MXN)	Descripción
Compra de trenes	\$ 2,074,957,215	Compra de 36 trenes (considerando que la demanda de usuarios de Metrobús es 2.7 veces mayor a la del Tren Ligero, se necesita entonces la misma proporción de nuevos trenes), cada tren cuesta \$USD 4,441,875 y tiene capacidad para 292 pasajeros
Mantenimiento	\$ 10,805,000	Costo de mantenimiento de la infraestructura en 2011
Costo de construcción	\$ 368,720,000	Valor de la vía y Catenaria
Vía permanente con cimentación	\$ 196,380,000	Valor de la vía permanente con cimentación del Tren ligero
Costo de energía eléctrica anual	\$ 138,477,474	Costo de energía eléctrica para su operación (2011)
Construcción de Subestaciones Eléctricas	\$ 109,078,872	Construcción de siete subestaciones eléctricas con capacidad de 2000 KW (valuado en 2009)
Total	\$2,898,418,561	

Tras haber analizado tres escenarios posibles, solo resta por revisar las características importantes de la construcción de un metro subterráneo, esta medida es de mayor costo y tiene también gran impacto en la ciudad y en el corredor de estudio.

ESCENARIO IV.- Construcción de un metro subterráneo en el corredor Insurgentes.

En este escenario se analiza la posibilidad de la construcción de una línea de metro subterránea que substituiría la actual infraestructura de carriles confinados de Metrobús, siendo un escenario donde se considera al metro una evolución del sistema debido a la demanda actual.

Debido al crecimiento en la demanda del corredor Insurgentes existen razones para considerar que un sistema de trenes de metro es el sistema ideal para cubrir esa demanda, sin embargo, los costos de un metro son significativamente mayores a los de un sistema BRT aunque existen similitudes significativas como en el modo de ingreso a las unidades y la forma de pago. En la tabla IV.7 están enlistados distintos costos que van desde los estudios preliminares y la construcción de la infraestructura hasta el costo del contrato de renta de los trenes, de la cual, aunque sólo es comparable el rubro de construcción de infraestructura, es importante conocer el costo general de los demás aspectos técnicos para conocer la magnitud de la inversión realizada y tener un referente de información.

Como se puede observar, el costo total de la construcción de infraestructura es de 16 mil 72 millones, 287 mil 613 pesos sin contar el costo de operación ni adquisición de los trenes. Este costo es superior al de cualquier sistema de transporte comparado anteriormente.

Tabla IV.7.- Costo y descripción de acciones a realizar en el escenario 4.

Fuente: Elaboración propia con datos de STC y Secretaría de Obras del D.F. obtenidos a través de IFAI, 2012.

Rubro	Acción	Costo (MXN)	Descripción
Estudios	Estudios preliminares L12	\$31,766,753	Estudios topográficos, de movilidad, etc.
Infraestructura	Construcción de talleres y su equipamiento	\$1,628,108,732	Talleres de Tláhuac
	Construcción de estaciones y tramos de vía	\$8,455,118,541	Estaciones y tramo entre estaciones
	Sistemas Complementarios	\$5,989,060,340	Sistemas de Telecomunicaciones, alimentación eléctrica, etc.
Operación	Costo de energía eléctrica anual	\$77,990,460	Gasto de la L12 Bicentenario en Noviembre 2012 de \$6,499,205.00
	Mantenimiento de estaciones Línea 12 al año	\$20,000	Aproximadamente cuesta \$20,000.00 al año por estación
	Mantenimiento de vía doble anual	\$1,400,000	Aproximadamente cuesta \$1,400,000.00 al año
Adquisición	Renta por 17 años 30 trenes = 240 carros	\$20,880,000,000	Contrato de renta con CAF.
	Total de infraestructura	\$16,072,287,613	
	Total	\$37,063,464,826	

Es importante aclarar que en la tabla IV.7 son mencionados como parte del gran total, los 17 años de renta del contrato PPS con la empresa CAF para la operación en línea 12, sin embargo para las gráficas del costo por vehículo en cada sistema al inicio del capítulo (imagen IV.1) se consideró como compra de vehículos para el STC Metro, la adquisición de trenes para la línea 2.

Existen varias similitudes en la operación y el servicio que se ofrece a los usuarios en un sistema BRT y el metro. Por ejemplo los ascensos a nivel, el pago anticipado y sobre todo una mayor capacidad. Por lo anterior, se considera que si se necesita atender a una gran demanda el metro es la mejor solución para un corredor de transporte. Las desventajas de la construcción de una línea nueva de metro son principalmente el costo de construcción y el tiempo en el que son realizadas las obras. Este escenario es una opción viable para solucionar el problema de saturación de demanda que enfrenta actualmente el corredor Insurgentes de Metrobús. Sin embargo en ciudades de Latinoamérica, donde el presupuesto para transporte público es limitado, la tendencia en los últimos años ha sido la implementación de BRT por su bajo costo, tal es el caso de Curitiba y Bogotá, en los cuales los autobuses son una buena alternativa para proveer servicios de calidad con mayor cobertura.

IV.2.- Comparativa entre escenarios

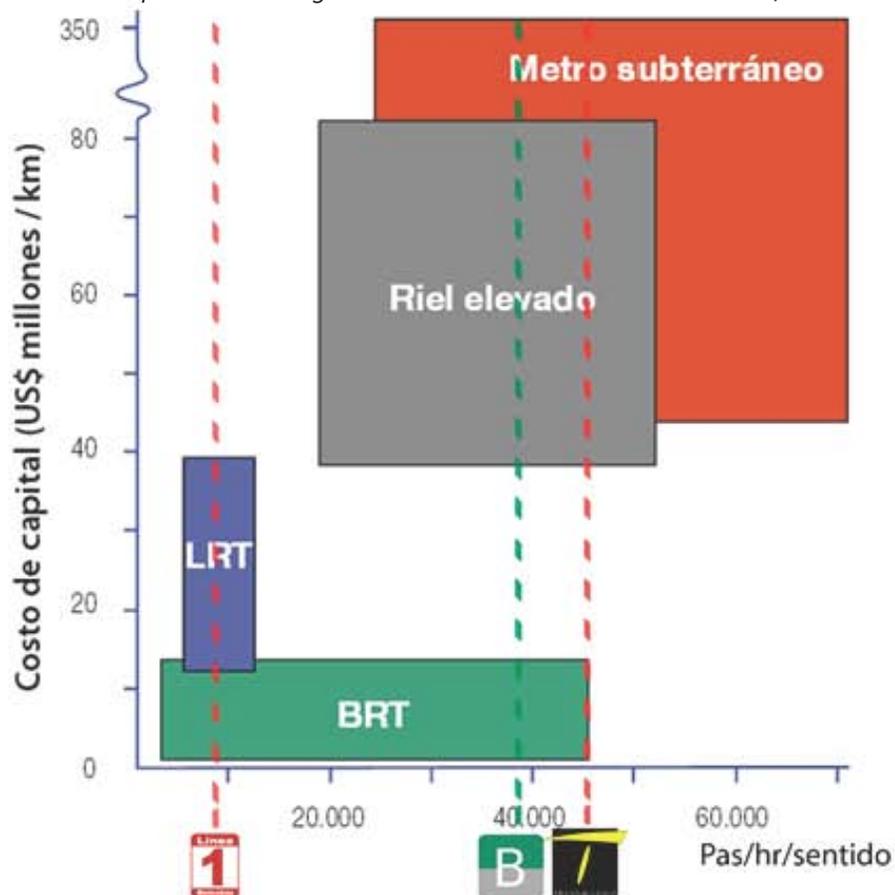
Con base en los escenarios descritos anteriormente es preciso remarcar entonces los beneficios que aporta cada una de las soluciones, logrando distinguir las diferencias sustanciales que determinan la viabilidad de su implementación. A continuación se mencionan los beneficios para cada uno de los escenarios propuestos.

La capacidad y el costo de los tres sistemas analizados en este capítulo es distinta en cada caso, esto sugiere entonces observar la imagen IV.5 para comparar y relacionar diferentes sistemas en un entorno cuantificable. Vemos en ella señalada respectivamente la capacidad de la línea 1 de Metrobús, la línea B del Metro de la Ciudad de México y se compara también la demanda de Transmilenio en Bogotá.

Como se puede apreciar, la demanda medida en pasajeros por hora por sentido de la línea B del Metro de la Ciudad de México es de 39,300, el BRT Transmilenio en Bogotá con 45,000 (ITDP, 2010) y el Metrobús Insurgentes de 9,000 (Hidalgo, 2009), haciendo

Imagen IV.5.- Capacidad de pasajeros y costos capitales para opciones de transporte masivo. Nota: LRT significa Tren ligero por sus siglas en inglés.

Fuente: Adaptación de imagen del mismo nombre en *Guía de Planificación de Sistemas BRT*, ITDP, 2010.



notar que Metrobús no atiende la demanda que tiene potencialmente un BRT pues en comparación al tamaño y capacidad de la infraestructura de Transmilenio se ve limitado por falta de carriles de rebase y múltiples rutas expresas y alimentadoras que conforman el sistema de transporte integrado del país Sudamericano. A su vez, Metrobús línea 1 se encuentra cerca de la demanda de pasajeros que traslada un tren ligero (LRT) pero con costos menores.

Adicionalmente, para estimar de manera más objetiva la repercusión de los escenarios propuestos se elaboró una propuesta que está implementada en el software de modelación y estimación de la demanda llamado TRANUS⁶. Se partió del modelo utilizado por ITDP⁷ para su propuesta de corredores BRT en la Zona Metropolitana del Valle de México (ITDP, 2014) y se incluyeron los siguientes escenarios posibles a 2025:

Escenario 1. Utilización de autobuses Bi-articulados en todas las rutas que dan servicio en el corredor Insurgentes para medir la demanda alcanzada.

En este posible escenario se selecciona un operador para recorrer el carril confinado con la misma velocidad de operación de los autobuses articulados actuales, es decir, 20 km/hr para todas las rutas.

Escenario 2. Implementación de rutas expresas sobre el corredor Insurgentes (implica la construcción de un carril adicional al menos en estaciones para el rebase entre autobuses).

En este escenario se propone la ampliación de la infraestructura actual del Metrobús con el fin de mejorar el nivel de servicio ofrecido y aumentar su capacidad de operación. Dicha ampliación incluye la construcción de un carril de rebase para los autobuses al menos en las estaciones. Así mismo, las adecuaciones en estaciones que no son incluidas dentro de la modelación pero que deberían considerarse para un análisis más profundo de dicha propuesta. Se plantean tres nuevas rutas expresas con velocidad de operación de 25 km/hr, dos de ellas se muestran en la imagen IV.3 y una adicional en las estaciones críticas o de mayor demanda como se expresa anteriormente en la tabla III.1. Estas rutas serían adicionales a las rutas que actualmente operan dentro del corredor con una velocidad modelada de 20 km/hr.

Escenario 3. Sustitución del carril de Metrobús en Insurgentes y colocación de un sistema de metro con el mismo trazo del BRT pero con menos estaciones.

En este escenario se plantea una sustitución completa del sistema de carriles confinados para BRT reemplazada por un sistema de metro. La configuración física específica de la propuesta no está considerada ya que en la modelación, la vía por la que corren los vagones no se ve interrumpida por el tráfico en la superficie, es decir, no afecta en términos de medición de la demanda si es superficial o subterráneo. La velocidad modelada para este nuevo modo de transporte es de 36 km/hr. Las estaciones de ascenso y descenso planteadas para el sistema de metro tienen mayor longitud de espacio entre ellas, esto con el propósito de modelar de manera más técnica el funcionamiento del mismo. En el sistema, las estaciones se encuentran separadas entre sí aproximadamente a dos kilómetros de distancia, siendo las siguientes 18 estaciones:

6 Para mayor información acerca del funcionamiento a partir de su estructura matemática del modelo TRANUS así como su operación, visitar la página oficial del programa: www.tranus.com

7 En la modelación se incluye la población de los AGEBS que pertenecen a la Zona Metropolitana del Valle de México conforme a INEGI 2010. Se incluye también el número de empleos remunerados por AGEBS conforme al DENU de INEGI en 2009. Cabe mencionar también que se elaboró la propuesta conforme al crecimiento poblacional publicado por CONAPO para el 2025, dicho crecimiento también aplica para la estimación de empleos.

- Indios Verdes
- Deportivo 18 de Marzo
- Potrero
- La Raza
- Circuito
- Buenavista
- Revolución
- Insurgentes
- Chilpancingo
- Nápoles
- Insurgentes Sur
- Barranca del Muerto
- Miguel Ángel de Quevedo
- Dr. Gálvez
- Ciudad Universitaria
- Perisur
- Fuentes brotantes
- El Caminero

Escenario 3.1 Sustitución del Metrobús en Insurgentes y colocación de un sistema de metro sobre la avenida Insurgentes pero modificando ligeramente el trazo original del BRT (Imagen IV.6).

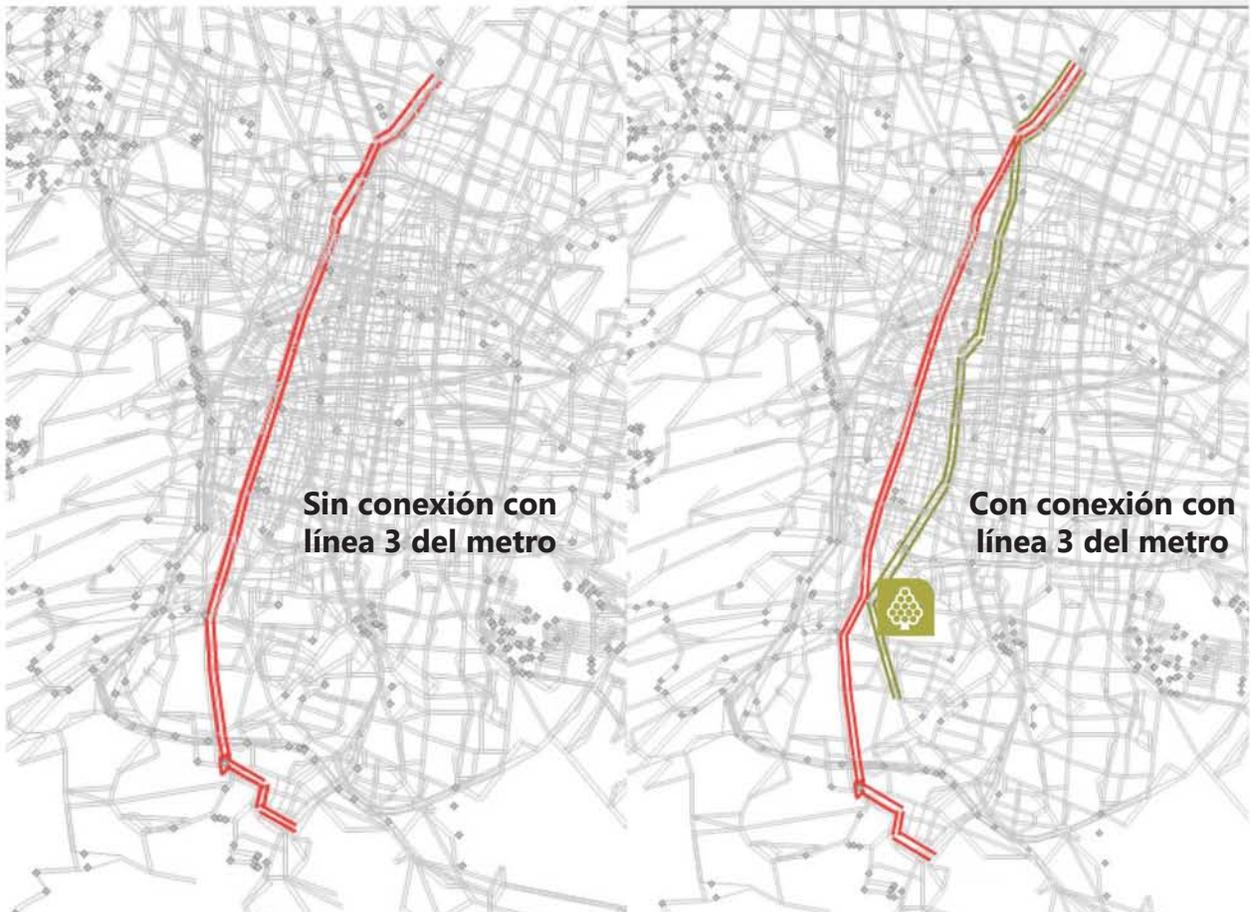


Imagen IV.6.- Trazo del corredor Insurgentes con y sin conexión a la línea 3 del metro en la estación Miguel Ángel de Quevedo.

Fuente: Elaboración propia.

Para la modelación de este escenario se consideró una modificación al trazo original del BRT en Insurgentes, pues se plantea una conexión física con la actual estación de metro Miguel Ángel de Quevedo de la línea 3. Lo que se busca es que en el sur, el nuevo metro tenga una conexión con la red actual de metro con el fin de facilitar el intercambio entre líneas haciendo una nueva estación de correspondencia como sucede actualmente en la estación Insurgentes Sur de la línea 12 del metro y su conexión con la estación Félix Cuevas del Metrobús. En este escenario las estaciones planteadas son las mismas que en el escenario 1, exceptuando la estación Miguel Ángel de Quevedo, que está ubicada lo más cerca posible de la correspondencia con línea 3 del metro en lugar de estar sobre la avenida Insurgentes.

Escenario 4. Sustitución de la línea 1 de Metrobús con un tren ligero con el mismo trazo del BRT.

En este escenario el trazo del tranvía o tren ligero es el mismo que el del BRT actual y la propuesta planteada previamente en el escenario 1. El número de estaciones es el mismo que la propuesta de metro y ubicadas en el mismo sitio, la diferencia radica en la velocidad de operación. Al ser modelados todos los escenarios para la hora de máxima demanda, la velocidad del tranvía se plantea de 25 km/hr ya que simula una interacción posible con el tránsito de superficie en los cruces. El hecho de asumir que el tren ligero será similar al actual, indica que tendrá algunas intersecciones a nivel sin llegar al nivel de detalle arquitectónico para proponer un sitio para cada una. Sin embargo, en la modelación de la demanda no es necesario indicar si el tránsito vehicular afecta su funcionamiento pues está basada en la velocidad indicada.

Antes de realizar la comparación entre los resultados modelados en los escenarios, es necesario realizar la descripción de las variables consideradas en dicha modelación. A continuación se describen las variables más importantes y el papel que juegan dentro de los resultados:

a) Velocidad promedio de operación: Las velocidades promedio de operación se consideraron de 32km/hr para el auto en vialidades primarias⁸, 20 km/hr en los escenarios sin rebase y de 25 km/hr con rebase para Metrobús, el tren ligero de 25 km/hr y finalmente el metro con 36 km/hr.

b) Valor del tiempo de los usuarios (penalizaciones para el uso de medios de transporte): Este rubro es importante para la asignación de viajes y reparto modal ya que se le asigna un valor de penalización de cada medio de transporte dependiendo del estrato social en el que se ubica cada viaje, es decir, para estratos bajos se considera que es menos probable que utilicen el automóvil y prefieran el transporte público, por eso la penalización por usar auto será más alta en este estrato. Por el contrario, a los estratos altos les es más viable utilizar auto privado y la penalización se asigna si deciden usar transporte público. Esto está basado en un modelo de elección discreta en el que el valor del tiempo es más apreciado por los estratos altos y están dispuestos a pagar un poco más utilizando el transporte privado, simulando así el reparto modal obtenido en la encuesta Origen-Destino del 2007 (SETRAVI, 2007) en la que se distribuye el porcentaje de viajes realizados en

⁸ Para las velocidades promedio en los demás tipos de vialidades, ver las tablas en los anexos del documento.

aproximadamente 70% para el uso del transporte público y 30% para el auto. Bajo estos parámetros, los valores de factor de penalización para el uso de tren ligero y metro son de tres para Comercio/Servicio, cero para estratos bajos, tres para estratos medios y cinco para estratos altos. Para el uso del automóvil, los valores de factor de penalización son de 1.4 para Comercio/Servicio, 2.6 para estratos bajos, 1.6 para estratos medios y cero para estratos altos.

Estos valores reflejan que la generación de viajes estará encaminada a comportarse de manera que los viajes en medios de transporte público masivo tengan mayor probabilidad de ser elegidos por la mayoría de la población, es decir, los estratos bajos y medios. Así mismo, valores similares se modelan también para medios de transporte de baja y alta capacidad como por ejemplo combi, microbús, autobús, RTP, tren suburbano, etc. (Ver anexos).

c) Factores sociales externos: Para realizar una modelación más apegada a la realidad se tomaron valores poblacionales del último censo poblacional y económico (INEGI, 2010 y DENU 2014). A partir de esta información es posible ubicar las zonas donde se encuentra mayor concentración de población, siendo éste un alto valor comúnmente en las periferias en la ZMVM, mientras que la concentración de empleos se ubica en zonas centrales de la ciudad. Estos parámetros generan patrones de viaje con origen y destino que simulan los resultados de la encuesta Origen-Destino del 2007 ya que para satisfacer estos viajes se utilizan los medios masivos de transporte como se refleja en la encuesta.

Para considerar los incrementos de población y viajes generados a lo largo de los años modelados (2014-2025) se tomó como referencia proyecciones oficiales a 2050 (CONAPO, 2010), utilizando el mismo factor de crecimiento anual para los empleos remunerados en cada zona, manteniendo la distribución de viajes uniformemente para simular este crecimiento natural (ver tabla de crecimientos de demanda en los anexos).

d) Rutas de transporte: Es importante calibrar y alimentar con información un modelo del tamaño de una ciudad tan grande como la ZMVM, por eso, se introdujeron insumos de ubicación y trazo de más de mil rutas de transporte público de alta y baja capacidad. Introducir un gran número de rutas de transporte público con amplia cobertura a nivel zona metropolitana genera que los viajes en estos medios sea más sencillo y viable de utilizar en la modelación para todos los estratos de población, manteniendo el reparto modal lo más apegado a la realidad que sea posible (ver ITDP, 2014).

e) Horario modelado: Una de las características más importantes de la modelación en TRANUS es que se realiza para la hora de máxima demanda (HMD) de la mañana, esto se refiere a que si se imagina el modelo funcionando, éste se lleva a cabo en algún momento en el que la demanda de viajes es mayor para ese horario del día y si se compara con la realidad sería aproximadamente en un lapso de 60 minutos entre las 5 y 8 de la mañana para la ZMVM.

Estos resultados, son expandidos a demanda diaria, considerando un valor empírico en el cual la demanda de la HMD representa un 10% del total diario. Esta consideración está basada en que en algunos corredores se cumple aproximadamente esta regla si se comparan demandas reales u oscila entre este porcentaje.

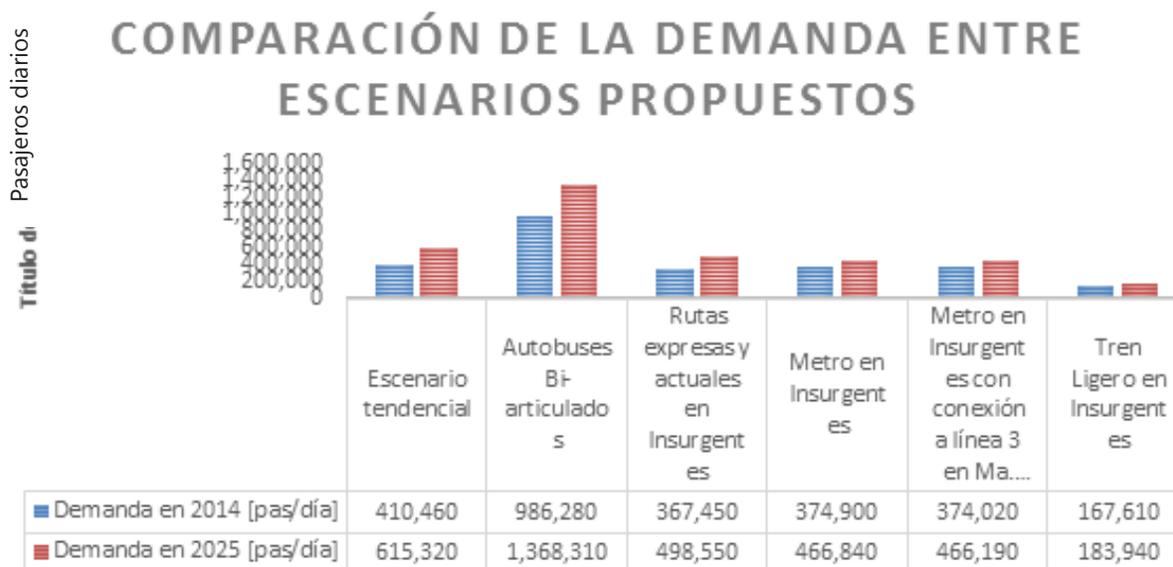
Los resultados de la modelación realizada para la demanda en el corredor Insurgentes son los siguientes:

IV.3 Resultados

En la gráfica IV.2 se resume la demanda generada en cada escenario propuesto y modelado en términos de pasajeros diarios en el corredor Insurgentes. Uno de los factores a considerar, es la capacidad actual del sistema en comparación con la demanda proyectada.

Gráfica IV.2.- Comparación de la demanda atendida por el corredor Insurgentes en base a los escenarios propuestos.

Fuente: Elaboración propia.



da, es decir, observar la demanda generada con la infraestructura actual y posteriormente con la demanda en el año 2025.

Se realizó la prospectiva de crecimiento para el año 2025 debido a dos factores importantes para realizar la modelación. El primero, el modelo del cual se partió como base está realizado para cada año desde 2013 a 2024, generando así la posibilidad de obtener de forma más detallada el crecimiento de viajes modelados. Segundo, las modelaciones de transporte comúnmente se encuentran para periodos grandes de tiempo como cinco, 10 o 15 años, siendo cada cinco años la mejor forma de representar los escenarios futuros.

Se puede apreciar que la demanda se incrementa en todos los escenarios para el año 2025, como es de esperarse. Sin embargo, se pueden apreciar diferencias importantes entre los escenarios propuestos. A continuación se enlistan las observaciones realizadas a los resultados obtenidos.

Primero, la demanda se incrementa para el año 2025 ya que conforme el crecimiento y las proyecciones de población, el número total de viajes sobre el corredor Insurgentes aumenta también. Esto indica que es necesario replantear la pregunta inicial: ¿La infraestructura actual es suficiente? Si la demanda actual de Metrobús línea 1 es de más de 400,000 pasajeros diarios y en la mayoría de los escenarios se rebasa ese número saturando el sistema, en un lapso de 10 años la capacidad no será rebasada y no tendrá posibilidad de dar servicio a la creciente demanda.

Segundo, es interesante observar que en el escenario en el que el sistema de metro sobre el corredor Insurgentes con estación de intercambio en Miguel Ángel de Quevedo no es mayor la demanda en comparación al escenario sin la conexión con línea 3. Esto se puede deber a que los trazos de las líneas son muy similares, es decir, prácticamente

llevan al mismo destino que es la terminal de Indios Verdes, generando que los viajes se mantengan al mismo nivel de demanda entre escenarios, haciendo poco relevante la implementación de la conexión entre líneas.

Tercero, el escenario con la propuesta de tren ligero también es relevante ya que la demanda modelada es relativamente baja en comparación a los demás escenarios, haciendo que esta propuesta no sea totalmente factible ya que su costo de construcción no sería lo más benéfico para el corredor, pues su baja velocidad de operación en comparación al metro subterráneo no genera tantos beneficios para la ciudad.

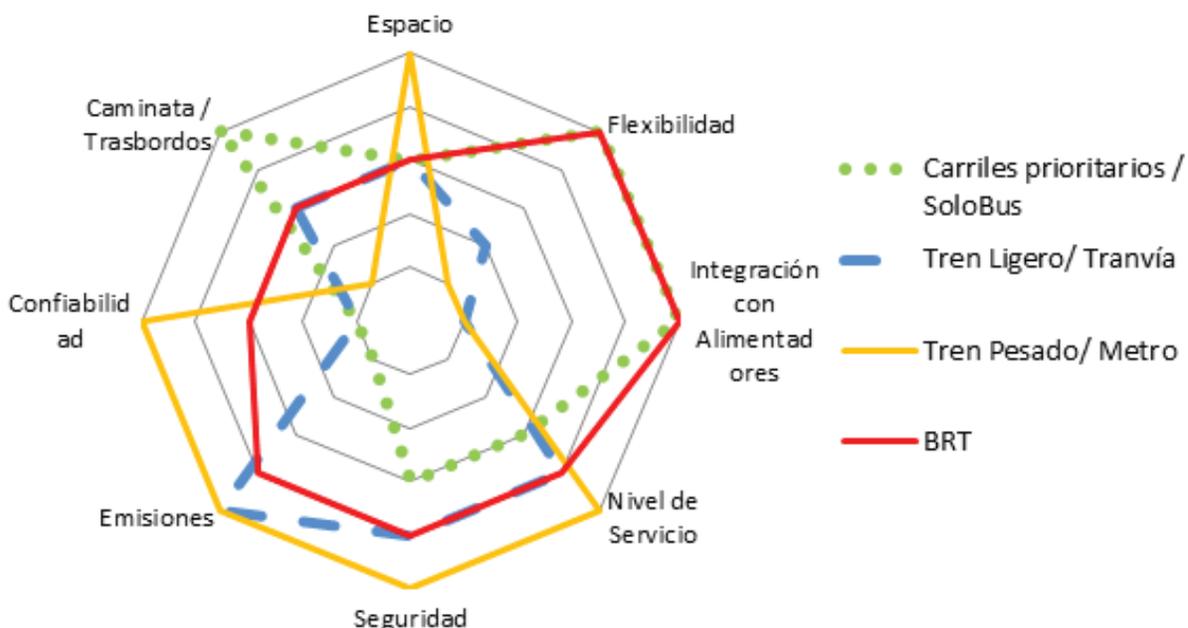
Cuarto, el aspecto más importante para resaltar, es que los usuarios atendidos en el escenario con autobuses Bi-Articulados, atiende mayor cantidad de demanda en los escenarios modelados. Además, el escenario con rutas ordinarias y expresas en el corredor Insurgentes con carril de rebase, atiende más pasajeros que el sistema de metro ya que las velocidades de operación son similares. Esto es relevante si se añade la variable de costo y tiempo de construcción analizada al inicio del presente capítulo, pues la relación costo-beneficio es más importante en la modelación de este escenario haciéndolo la opción más viable y benéfica.

Existen además aspectos que son importantes pero no son tomados en cuenta comúnmente, estos elementos tienen un carácter que aumenta la percepción positiva de un sistema y son cuantificables. En la gráfica IV.3 y IV.4 están representados mediante una gráfica radial, en donde las líneas cercanas al borde del círculo representan mayores estándares de calidad.

Es importante mencionar que la línea que más se asemeje a una circunferencia significa que tiene mayores atributos que le dan calidad en el rubro analizado. Observamos que el BRT parece tener un perfil con un mejor promedio que los demás sistemas, en comparación con el metro o el tren ligero que tienen algunos aspectos mejor calificados pero con altibajos notables, sobre todo en el espacio que ocupan de la vía, sus emisiones

Gráfica IV.3- Indicadores de calidad entre sistemas masivos de transporte público.

Fuente: Adaptación propia con información de Dario Hidalgo, CTS.



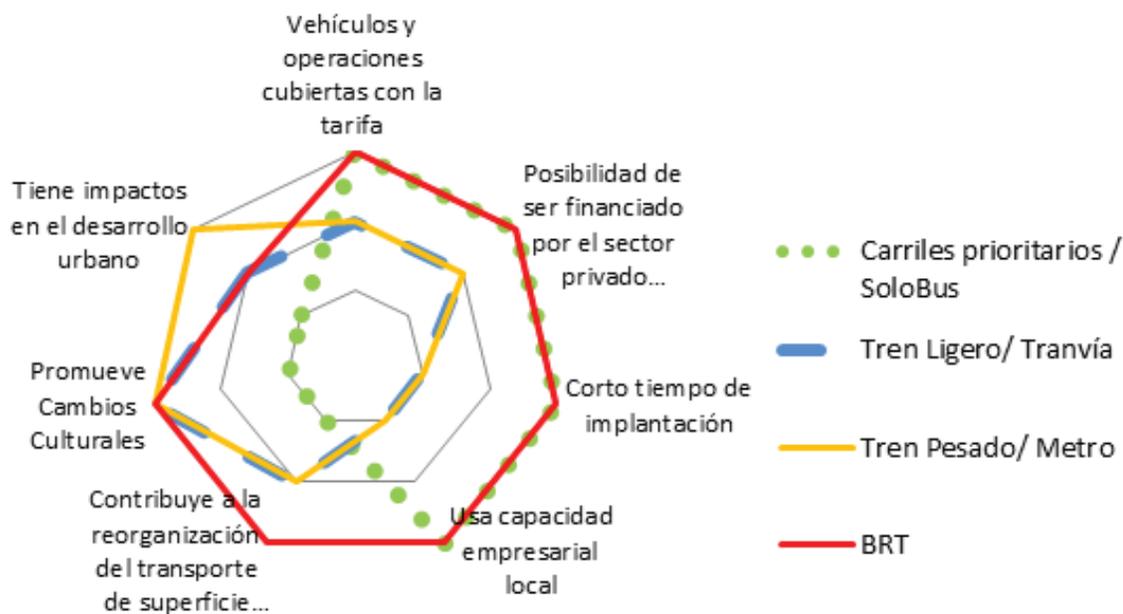
al ambiente, los impactos que tiene en el desarrollo urbano, etc.

De la gráfica IV.3 es posible concluir que en cuanto al espacio ocupado por cada medio de transporte, incrementa la necesidad del mismo cuando se requiere mayor segregación física de la vía, esto a su vez se ve reflejado en la flexibilidad de operación ya que los sistemas basados en rieles están limitados a seguir su recorrido trazado mientras que los sistemas con autobuses pueden cambiar su trayectoria en caso de incidencias en su carril. Otro aspecto importante es que la seguridad, las emisiones y los niveles de servicio del BRT y Metro son similares mientras que la confiabilidad del servicio es mayor para un sistema con rieles y segregación completa de la vía como es el Metro.

Por otro lado, en la gráfica IV.4 se analizan otro tipo de aspectos sociales referen-

Gráfica IV.4.- Indicadores de calidad entre sistemas masivos de transporte público.

Fuente: Adaptación propia con información de Dari



tes a la construcción de cada sistema de transporte, de ella se observa que en el caso de los sistemas de autobuses tardan mucho tiempo menos en construirse que los que están basados en rieles, además, los sistemas masivos de transporte como BRT, Metro y Tren Ligero promueven cambios culturales y la reorganización del transporte existente de superficie, con la pequeña diferencia de que el Metro tiene mayor impacto en el desarrollo urbano, lo cual tiene efectos importantes en la ciudad, ya sea consolidación de zonas urbanas, desarrollo urbano orientado al transporte público e incluso gentrificación, todos ellos son temas importantes pero no es la intención abordarlos en esta tesis.

Si se comparan ambas gráficas, en general el sistema de transporte con más beneficios es el BRT ya que hay aspectos importantes en los que el metro aunque tiene alto puntaje, tiene también aspectos que disminuyen su impacto benéfico como sistema de transporte.

Expuesto todo lo anterior, se observan distintos aspectos cualitativos y cuantitativos en los que por las facilidades económicas, de espacio y técnicas favorecen al sistema BRT, especialmente cuando optimiza el espacio y aumenta su capacidad al implementar carriles de rebase para ofrecer un servicio de rutas expresas que responden al perfil de

demanda de cada corredor, añadiendo la posibilidad de personalizar dinámicamente la forma en que operan los autobuses y son repartido a lo largo de los corredores.

La importancia de mejorar el transporte público en la Avenida Insurgentes está en función de la visión de ciudad en la que se quiere llegar a vivir. Requiere la decisión de priorizar y democratizar el espacio en la vialidad generando un ambiente en el cual automóviles privados, transporte público y la movilidad no motorizada como el uso de la bicicleta pueden convivir de manera segura con el objetivo de mejorar la calidad del aire en la ciudad y reducir los tiempos de viaje al trabajo mejorando así la calidad de vida de su población.

Capítulo V.- Conclusiones y recomendaciones

“La creatividad empieza cuando recortas un cero de tu presupuesto. Si recortas dos ceros, es mucho mejor.” -Jaime Lerner, ex-alcalde de Curitiba, Brasil-

Conclusiones

Tras haber realizado el análisis a través de los capítulos anteriores es posible llegar a varias conclusiones basadas en la política actual del Distrito Federal, la aceptación del Metrobús como sistema de transporte público masivo que brinda un nivel de servicio satisfactorio, el análisis de la demanda actual y futura del corredor Insurgentes y la tendencia por utilizar medios alternativos de transporte que generen cada vez menos emisiones contaminantes. Para resumirlas serán listadas a continuación:

Sobre la conformidad con respecto al sistema le dan una calificación de 8 (en una escala del 1 al 10). Las inconformidades están en la capacidad de los autobuses que afecta la comodidad de los usuarios y el suficiente abasto de máquinas para el pago así como la recarga de tarjetas electrónicas, siendo estos aspectos estratégicos para la mejora del sistema.

Sobre comodidad en capacidad y temperatura dentro del autobús necesitan mejorar su calidad así como la frecuencia de paso para dar certeza al usuario de poder abordar el transporte sin esperar mucho tiempo.

El porcentaje de usuarios que redujeron su tiempo de viaje en 15 minutos aumentó con la implementación de Metrobús y se redujo el porcentaje a menos del 10% de los usuarios que realizan viajes mayores a 60 minutos, logrando con esto incrementar el tiempo disponible por persona para realizar labores de trabajo o recreación.

Las estaciones con mayor demanda deben su importancia a factores externos que no están íntimamente relacionados con la población, esto debido a que se encuentran cerca de centros de trabajo y recreación, haciendo que la zona ofrezca en su mayoría comercios y servicios.

Las zonas cercanas a las estaciones terminales presentan una baja densidad de habitantes en el radio de un kilómetro y no existen los incentivos adecuados para promover la accesibilidad o realizar un intercambio modal de bicicleta y/o automóvil. Es por eso que su evaluación en cuanto a densidad de población cercana a la estación y conectividad modal, no concordará con las estrategias de desarrollo orientadas al transporte sustentable.

La baja densidad de vivienda cerca de las estaciones de transporte refleja que al menos la concentración de la población no se encuentra viviendo cerca de las estaciones de alta demanda, ni en terminales de Metrobús, lo cual sugiere que el fenómeno de ciudades en las que sus habitantes deben recorrer grandes distancias para llegar a los centros de trabajo, ocurre en la Ciudad de México..

La encuesta Origen-Destino no es un gran indicador para demostrar la forma en que se trasladan las personas en una ciudad, ya que si bien puede mostrar en donde inicia y termina un viaje, omite las intermodalidades y no considera el recorrido completo para conocer el trayecto en común y observar patrones de congestión en distintas zonas.

La política actual del gobierno de la Ciudad de México es promover el transporte sustentable reduciendo el uso del automóvil para mejorar la calidad del aire en la ciudad y con base en eso, la calidad en el servicio de transporte público debe ser adecuada para promover un cambio en la forma en que se trasladan las personas. Es por eso que en el corredor Insurgentes de Metrobús, al tener una saturación en la demanda, la mejora del servicio debe ser de tal magnitud que pueda soportar el incremento de la misma brindando un servicio de calidad.

Un sistema BRT con un carril confinado tiene una capacidad de 13,000 pas/hr/sentido (ITDP, 2010), el corredor Insurgentes actualmente atiende alrededor de 21,500 pas/

hr/sentido (Metrobús, 2013) y comparado con un sistema con rebase, éste puede soportar demandas de 30 a 40 mil pas/hr/sentido (ITDP, 2010), esto sucede en grandes sistemas como el de Guangzhou en China o el Transmilenio en Bogotá, Colombia.

Uno de los mayores beneficios de un corredor de Metrobús es que interactúa con su entorno y mejora su imagen, tal es el caso de la línea 5 de Metrobús que corre en el eje 3 Oriente. A lo largo del corredor se hicieron mejoras en banquetas y se realizó una ciclo-vía en ambos sentidos promoviendo así el concepto de calle completa (vías con espacios destinados y seguros para transporte público, bicicletas, automóviles y peatones), haciendo que la vialidad no sea seccionada por vías férreas, promoviendo el diseño universal al hacer accesibles todas las estaciones y su entorno y haciendo equitativo el uso de la calle para todas las formas de movilidad.

La demanda de usuarios diaria en comparación con Metrobús línea 1 y la línea 12 del metro es similar ya que ronda los 400 mil pasajeros al día. Sin embargo, el costo de construcción y el tiempo en que se realizó, son mucho mayores en el caso del metro. Esto indica que mientras se construye una línea de metro podrían fácilmente hacerse al menos diez o veinte líneas de Metrobús con el mismo costo, creando conectividad entre sí y mejorando la calidad en el transporte público, sobre todo en comparación a los actuales microbuses y autobuses de la ciudad.

La principal dificultad de la implementación de un sistema BRT en un corredor vial es la negociación con grupos de transportistas que aún operan bajo el esquema de "hombre-camión"⁹, lo cual dificulta que la calidad del servicio ofrecida para el usuario del transporte sea el eje que determine las reglas de operación de un corredor.

El tren ligero, aunque también es considerado como un sistema de transporte masivo en la ciudad, tiene grandes limitaciones para su implementación en el corredor Insurgentes pues la demanda de usuarios y la cantidad de las intersecciones a nivel de calle, hacen que este sistema deba ser subterráneo o elevado, por lo cual de ser necesario realizar éstas adecuaciones a la vía, resultaría mejor opción optar por el metro antes que un tren ligero.

La puesta en marcha de un nuevo BRT requiere la reorganización de rutas de autobuses, lo cual como fenómeno social continúa impidiendo un avance mayor en la expansión de la red actual, esto debido a que políticamente es difícil negociar con los dueños de las concesionarias en las rutas. El resultado es que los proyectos de metros o trenes ligeros tienden a ser mayormente aceptados ya que no tienen afectación directa con los operadores privados por lo general. La ventaja que tiene Metrobús Insurgentes es que el corredor ya está consolidado con un carril exclusivo y no tiene problemas con rutas de autobuses concesionados que deban ser reestructuradas, pues la modificación al espacio es a favor del transporte público y disminuye el número de automóviles privados en el corredor. Es por esto que la inclusión social y las negociaciones con operadores para la planeación e implementación de nuevos corredores, es un punto vital para lograr impulsar que este tipo de transportes logren operar de la mejor manera posible.

Existe aún la percepción de que los sistemas de metro y trenes ligeros tienen una mayor impacto positivo que los autobuses. Aunque la tecnología que genera esta percepción puede aplicarse tanto en autobuses como en trenes. Por ejemplo, actualmente en 2013 la línea 3 de Metrobús, está implementado ya las pruebas de información al usuario dentro del autobús, tales como hora del día, próxima estación y avisos sonoros, los cuales en líneas de metro previas como la línea 1, aún no se llevan a cabo.

9 Término que se utiliza para mencionar un esquema de trabajo en las rutas de transporte concesionado en el que el dueño del autobús regularmente es quien lo opera, sin tener que estar sujeto a las reglas de una empresa.

Es importante mencionar que el rediseño del corredor Insurgentes no es una tarea fácil de solucionar con la simple construcción de infraestructura nueva. Es necesario también un análisis y rediseño de intersecciones viales y fases de semáforo para que el servicio del Metrobús esté optimizado de la mejor manera apoyado con la tecnología y la planeación del tránsito.

La demanda del corredor Insurgentes se incrementa para el año 2025 ya que conforme las proyecciones de población, el número total de viajes aumenta también. Esto indica que es necesario replantear la pregunta: ¿La infraestructura actual es suficiente? Si la demanda actual de Metrobús línea 1 es de más de 400,000 pasajeros por día y en la mayoría de los escenarios modelados rebasan ese número saturando el sistema actual en un lapso como el modelado de 10 años no será capaz de dar servicio a la demanda futura.

Es interesante observar que en el escenario en el que el sistema de Metro sobre el corredor Insurgentes con estación de intercambio en Miguel Ángel de Quevedo no es mayor la demanda en comparación al escenario sin la conexión con línea 3. Esto puede deberse a que la ubicación de los trazos de las líneas son muy similares, es decir, prácticamente llevan al mismo destino generador y atractor de viajes que es la terminal de Indios Verdes, haciendo que los viajes se mantengan al mismo nivel de demanda entre escenarios, haciendo poco relevante la implementación de la conexión entre líneas.

El escenario con la propuesta de tren ligero también es relevante ya que la demanda modelada es relativamente baja en comparación a los demás escenarios, haciendo que esta propuesta no sea totalmente factible ya que su costo de construcción no sería lo más benéfico para el corredor, pues su baja velocidad de operación en comparación al metro subterráneo no genera la misma cantidad de viajes.

El aspecto más importante para resaltar, es que la demanda atendida con autobuses Bi-Articulados atiende a la mayor cantidad de demanda en los escenarios modelados. Además, cuando se modelan las rutas ordinarias y expresas en el corredor Insurgentes, continúa siendo mayor la demanda que la atendida por el sistema de Metro pues las velocidades son similares, sobre todo en el escenario con la capacidad de rebase para los autobuses en las estaciones. Esto es relevante si se añade la variable de costo y tiempo de construcción, pues la relación costo-beneficio es más importante en la modelación de este escenario haciéndolo la opción más viable y benéfica.

Recomendaciones

Cuando un usuario del Metrobús corredor Insurgentes decide utilizarlo, debe tener la seguridad de que la calidad de su viaje será competitiva con otros medios de transporte incluyendo el uso del automóvil privado. El tiempo de recorrido, la velocidad promedio, la conectividad y la comodidad no deben sacrificarse por la saturación del sistema, es por eso que para mejorar a largo plazo el nivel de servicio que brinda el corredor Insurgentes es necesario realizar mejoras significativas para continuar con la propuesta de ciudad de los últimos años en los que se promueve la movilidad sustentable cada vez más mediante la implementación de corredores de transporte y bicicleta pública.

Las medidas analizadas en los capítulos anteriores aportan beneficios en diferente medida, la diferencia radica en que el presupuesto asignado para proyectos de transporte público no es suficiente para realizar grandes proyectos de infraestructura, lo que lleva a ser la opción más viable actualmente la mejora e implementación de los sistemas BRT priorizando que el servicio sea cada vez de mejor calidad. Para lograr este objetivo, es indispensable asignar mayor cantidad de recursos para la compra de unidades, mantenimiento y repotenciación de la flota actual, así como continuar con la extensión de la red para generar un crecimiento del reparto modal a favor del transporte público.

En el caso del corredor Insurgentes, las recomendaciones principales son que debe actuarse cuanto antes para resolver el problema actual de saturación mediante medidas con diferente impacto para Metrobús y sus concesionarias, como la compra de autobuses bi-articulados, además de optimización de programación de salidas de autobuses, mejora en la información al usuario y a medida que se realice una planeación de ciudad, ampliar la infraestructura en Insurgentes para aumentar la capacidad y rutas de servicio con un carril de rebase en estaciones.

Referencias

- Asociación Mexicana de Transporte y Movilidad (AMTM), Transporte y ciudad, México, #01, Foro de la movilidad, julio-agosto (2010).
- Calderón, A. P. (2008) Análisis cualitativo del sistema de transporte Metrobús Insurgentes, en su primera etapa, Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Centro de Transporte Sustentable de México A.C. (CTS México), "Metrobús: Una fórmula ganadora", Embarq, México, Noviembre, 2009.
- Centro de Transporte Sustentable de México A.C. (CTS México), Arranca la segunda etapa de "La Oruga", el Optibús de León. México, Agosto, 2010, de <http://ctsmexico.org/node/263>
- Centro de Transporte Sustentable e Instituto Nacional de Ecología. Evaluación de los beneficios en la exposición personal de pasajeros de transporte público por la instrumentación del Metrobús; México, 2005.
- Centro de Transporte Sustentable México (CTS, México), Manual Desarrollo Orientado al Transporte Sustentable DOTS, México D.F; 2009, 153 p.
- Centro Nacional para la Prevención de Siniestros (CENAPRA), Sistema Integrado de Transporte Optibús en León, Guanajuato: una experiencia en materia de seguridad vial. México, D.F. extraído en Mayo de 2011 de http://www.cenapra.salud.gob.mx/PONENCIAS/EISEVI_2/12_de_Mayo/Gxnaro_Gallo/SIT-Optibus-leon-2do-encuentro-seguridad-vial.pdf
- Consejo Nacional de Población, Proyecciones de población a 2030 por entidad federativa y localidad, México 2010, de <http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones>
- Dan contrato a Bombardier. (Acosta, Alberto). En: Reforma.com, Recuperado en Octubre de 2002. STE, Respuesta a solicitud de información al Instituto Federal de Acceso a la Información (IFAI), Junio 2012.
- DF: disminuyó a 7 km/h la velocidad promedio. (Valdez, Ilich). Recuperado el 28 de Octubre de 2015 en versión web del periódico Milenio, de http://www.milenio.com/df/DF-disminuyo-kmh-velocidad-promedio_0_181182350.html
- Estudio Especial diagnóstico de equidad de género y grado de satisfacción del servicio que presta el Metrobús, RP&A Creatividad Mercadológica, Recuperado en Diciembre 2010. de <http://www.metrobus.df.gob.mx/docs/encuestaequidad.pdf>
- Hidalgo, Darío. "Comparación de Alternativas de Transporte Público Masivo - Una Aproximación Conceptual", Facultad de ingeniería universidad de los Andes, Mayo, 2005, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=121014218009>.
- Hidalgo, Darío. "Metrobús: Una fórmula ganadora". Centro de Transporte Sustentable de México A. C, México, 2009.
- INEGI, Sistema de Cuentas Nacionales de México, Producto Interno Bruto a precios de 2003, México, 2012.
- INEGI. (2011) Encuesta Origen Destino 2007 de la Zona Metropolitana del Valle de México. México. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- Institute for Transportation and Development Policy (ITDP) Sitio en internet China Bus Rapid Transit, de <http://www.chinabrt.org/>.
- Institute for Transportation and Development Policy. Guía de planificación de sistemas BRT, Autobuses de Tránsito Rápido, ITDP, New York, 2010, 894 p.
- Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (ITDP), Sitio en internet DotDF. de http://dotdf.mx/es_MX.
- Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (ITDP), Transporte Público Masivo

- en la Zona Metropolitana del Valle de México Proyecciones de demanda y soluciones al 2024, México, 2014, extraído el 20 de Septiembre de 2015 de <http://mexico.itdp.org/documentos/transporte-publico-masivo-en-la-zona-metropolitana-del-valle-de-mexico-proyecciones-de-demanda-y-soluciones-al-2024/>.
- Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (ITDP), Proyecciones de demanda de transporte público masivo en la Zona Metropolitana del Valle de México al 2024. México, 2014.
- Instituto Nacional de Ecología (INE) y Centro de Transporte Sustentable (CTS), Evaluación de los beneficios en la exposición personal de pasajeros de transporte público por la instrumentación del Metrobús, México, Octubre 2005, extraído de http://www.inecc.gob.mx/descargas/calair/res_ejecutivo_metrobus.pdf.
- Lobo Adriana, Transporte público sustentable, Movilidad con calidad de vida, en revista Iconos de CB Richard Ellis, #8, pp. 28-30, de [http://www.circuloverde.com.mx/es/uploads/1/8._transporte_sustentable.pdf](http://www.circuloverde.com.mx/es/uploads/1/8/_transporte_sustentable.pdf).
- Metrobús pone en marcha nuevos autobuses. (s.f.). Recuperado el 24 de Diciembre de 2013, de <http://w3ww.maspormas.com/noticias/df/metrobus-pone-en-marcha-nuevos-autobuses>.
- Metrobús, Dirección Técnica Operativa: Resumen resultados operativos 2011, datos obtenidos de Metrobús por medio del Instituto Federal de Acceso a la Información (IFAI) en 2011.
- Metrobús, Reporte cada 15 minutos y entradas y salidas por estación en la línea1 de Metrobús. Datos obtenidos de Metrobús por medio del Instituto Federal de Acceso a la Información (IFAI), 2011.
- Metrobús, Reporte de reducción de emisiones 2010-2011, de http://www.metrobus.df.gob.mx/transparencia/documentos/art15/X/X01_Informe_Reduccin_Emisiones_2009-2010.pdf.
- Metrobús, sección del sitio en internet Beneficios, extraído el 3 de Marzo de 2012 de <http://www.metrobus.df.gob.mx/beneficios.html>.
- Metrobús, sección del sitio en internet Datos de la operación del sistema, Información obtenida a través del Instituto Federal de Acceso a la Información (IFAI), México, D.F; Febrero, 2012.
- Metrobús, sección del sitio en internet Fichas Técnicas, extraído el 3 de Marzo de 2012 de <http://www.metrobus.df.gob.mx/fichas.html#uno>.
- México, Gobierno de Nuevo León, Optibús: Una solución al problema de movilidad urbana, Monterrey, extraída en Marzo de 2006 de http://www.nl.gob.mx/pics/pages/cons_transporte_difusion_base/presentalg.pdf.
- Moliner, Ángel, Transporte Público: Planeación, Diseño, Operación y Administración; Universidad Autónoma del Estado de México UAEM, México, 2002.
- Presentación en el Segundo encuentro Iberoamericano y del Caribe sobre seguridad vial, México, 2012.
- Programas operativos anuales o de trabajo: Transporte masivo de pasajeros. (s.f.). Recuperado el 24 de Diciembre de 2013, de http://www.metrobus.df.gob.mx/transparencia/art14_XXIV.html.
- RP&A Creatividad Mercadológica, Estudio especial diagnóstico de equidad de género y grado de satisfacción del servicio que presta el Metrobús, México, 2010, 70 páginas, de <http://www.metrobus.df.gob.mx/docs/encuestaequidad.pdf>.
- Secretaría de Transporte y Vialidad (SETRAVI) en Gaceta Oficial del Distrito Federal, Declaratoria de necesidad para la prestación del servicio de transporte público

- colectivo de pasajeros en el segundo corredor de Transporte Público de Pasajeros Metrobús Insurgentes Sur, México, 2007.
- Sheinbaum Claudia, Metrobús, presentación de diapositivas, Mayo de 2005
- Sistema de Transporte Colectivo Metro, Resultados de la operación de la línea 12 Tláhuac-Mixcoac, México, extraído en Noviembre de 2012 de <http://www.metro.df.gob.mx/imagenes/index/L12inaugura/resultadosl12.pdf>.
- Sistema de Transporte Colectivo Metro, Tipo de vehículos utilizados y costo de compra de los trenes que correrán en la línea 12, Información obtenida a través del Instituto Federal de Acceso a la Información (IFAI), México, D.F; Septiembre 2011.
- Transeunte.org, Crece parque vehicular del DF: aumenta caos y disminuye calidad de vida, 30 de septiembre de 2010, de <http://transeunte.org/articulos/de-la-redaccion/crece-parque-vehicular-del-df-aumenta-caos-y-disminuye-calidad-de-vida/>.
- Tren ligero, opción de transporte sustentable. (Mora, Karla). Recuperado en Septiembre, de 2013, de <http://www.eluniversal.com.mx/ciudad-metropoli/2013/impreso/tren-ligero-opcion-de-transporte-sustentable-118659.html>.
- Valdez Ilich, Trenes de Línea 12, con el doble de capacidad, extraído del sitio en internet de milenio el 2 de Mayo de 2011 de <http://www.milenio.com/cdb/doc/noticias2011/94735cf9dc1fc6e1994f97a44251d85b>.

Anexos