

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



**“ANÁLISIS DE FACTORES QUE INCIDEN EN EL BAJO USO DE
UN SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO. CASO DE ESTUDIO
MEXICALI, MÉXICO”**

T E S I S

que para obtener el grado de DOCTOR EN CIENCIAS presenta:

ALEJANDRO SÁNCHEZ ATONDO

DIRECTOR DE TESIS:

DR. ALEJANDRO MUNGARAY MOCTEZUMA

MEXICALI, B. C.

DICIEMBRE DE 2017

A mis padres

A mi esposa

Este logro también es de ustedes

Agradecimientos

Aprovecho este espacio para expresar mi más sincera gratitud a todos aquellos que contribuyeron en la realización de este proyecto.

Primeramente agradezco a Dios por haberme dado la vida y permitirme llegar con salud a este momento, por estar siempre conmigo, guiarme y darme la fuerza para librar todos los obstáculos que se me presentaron en el logro de esta meta.

Al Dr. Alejandro Mungaray Moctezuma, mi director de tesis y estimado amigo, por confiar en mí y porque a lo largo de estos años me ha guiado con invaluable consejos y experiencias, que han sido claves para la culminación de este trabajo pero sobre todo, para mi desarrollo personal y profesional.

A mi alma mater, la Universidad Autónoma de Baja California, por brindarme las herramientas y facilidades para desarrollar esta investigación. Así mismo, a mis sínodos por su aceptación, su tiempo invertido y sus atinadas recomendaciones.

A mi amada familia, quienes han sido el sustento más importante durante toda mi vida y siempre estuvieron apoyándome en el desarrollo y logro de esta meta. A mis padres por su sacrificio y amor incondicional, por ser mi ejemplo a seguir y por los valores que me ha inculcado, haciéndome la persona que soy hoy. A mis hermanos por su constante motivación y cariño.

A mi esposa Paty por alentarme a culminar este proyecto, por disfrutar conmigo los buenos momentos, y especialmente, por levantarme siempre en los más difíciles, pero sobre todo, por su paciencia y amor incondicional.

A todos, muchas gracias.

Índice de contenido

AGRADECIMIENTOS.....	III
ÍNDICE DE CONTENIDO	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VII
RESUMEN	VIII
ABSTRACT.....	XI
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 PROBLEMA	1
1.2 HIPÓTESIS	2
CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES.....	3
2.1 LA MOVILIDAD URBANA EN MÉXICO.....	3
2.2 MOVILIDAD URBANA EN MEXICALI	4
CAPÍTULO 3. REVISIÓN DE LITERATURA	8
3.1 ANÁLISIS DE SISTEMAS DE TRANSPORTE	8
3.1.1 <i>Las etapas de análisis de los sistemas de transporte de Burns</i>	8
3.1.1.1 Cuello de botella	9
3.1.1.2 Análisis de proyectos	9
3.1.1.3 Programación lineal	10
3.1.1.4 Simulación	11
3.1.2 <i>El enfoque de análisis actual</i>	12
3.2 ETAPA “DEFINICIÓN DE OBJETIVOS”	16
3.2.1 <i>El papel del transporte público en los sistemas de transporte</i>	18
3.3 ETAPA “ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL”	20
3.3.1 <i>Indicadores para analizar el estado actual del sistema de transporte público</i>	22
CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA.....	29
4.1 DELIMITACIÓN DE UNIDADES TERRITORIALES E IDENTIFICACIÓN DE DERROTEROS DE RUTAS DE TC29	
4.1.1 <i>Centroides laborales</i>	29
4.1.2 <i>Secciones residenciales</i>	30
4.1.3 <i>Derroteros de rutas de TC</i>	30
4.2 DISEÑO Y APLICACIÓN DE ENCUESTA	31
4.3 CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES E INDICADORES	31
4.3.1 <i>Caracterización de variable objetivo: Uso del TC</i>	32
4.3.2 <i>Caracterización de indicadores de la macrovariable “Sistema de Transporte (S)”</i>	32
4.3.2.1 Densidad de red.....	32
4.3.3 <i>Caracterización de indicadores de la macrovariable “Estructura de Flujos (F)”</i>	33
4.3.3.1 Tiempo de traslado.....	33
4.3.3.2 Percepción.....	34
4.3.4 <i>Caracterización de indicadores de la macrovariable “Sistema de Actividades (A)”</i>	35
4.3.4.1 Tipo de trabajo	35
4.3.4.2 Densidad de población	35
4.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ASOCIACIÓN	36
CAPÍTULO 5. RESULTADOS	38

5.1	DELIMITACIÓN DE UNIDADES TERRITORIALES E IDENTIFICACIÓN DE DERROTEROS DE RUTAS DE TC	38
5.2	INDICADOR OBJETIVO: USO DEL TC PARA DESPLAZARSE AL TRABAJO	39
5.3	INDICADORES DE LA MACROVARIABLE SISTEMA DE TRANSPORTE (T).....	40
5.3.1	<i>Densidad de red de TC</i>	40
5.4	INDICADORES DE LA MACROVARIABLE ESTRUCTURA DE FLUJOS (F)	42
5.4.1	<i>Diferencias de tiempo de traslado por modalidad</i>	42
5.4.2	<i>Percepción del servicio de TC</i>	44
5.5	INDICADORES DE LA MACROVARIABLE SISTEMA DE ACTIVIDADES (A).....	45
5.5.1	<i>Tipo de trabajo</i>	45
5.5.2	<i>Densidad poblacional</i>	47
5.6	ASOCIACIÓN DEL TRANSPORTE COLECTIVO CON LA MACROVARIABLE SISTEMA DE TRANSPORTE ..	48
5.6.1	<i>Uso del TC – Densidad de red</i>	48
5.6.1.1	Análisis mediante categorización de densidades de red	49
5.6.1.2	Análisis por delimitaciones territoriales	51
5.7	ASOCIACIÓN DEL TRANSPORTE COLECTIVO CON LA MACROVARIABLE ESTRUCTURA DE FLUJOS	56
5.7.1	<i>Uso del TC – Diferencia de tiempos de traslado</i>	56
5.7.2	<i>Uso del TC – Percepción del servicio</i>	60
5.7.2.1	Análisis de asociación de variables cualitativas	61
5.7.2.2	Correlación cuantitativa por sección residencial	63
5.8	ASOCIACIÓN DEL TRANSPORTE COLECTIVO CON LA MACROVARIABLE SISTEMA DE ACTIVIDADES .	67
5.8.1	<i>Uso del TC – Tipo de trabajo</i>	67
5.8.1.1	Análisis de asociación de variables categóricas	67
5.8.1.2	Correlación cuantitativa por tipo de trabajo	69
5.8.2	<i>Uso del TC – Densidad poblacional</i>	71
5.8.2.1	Análisis de asociación de variables categóricas	71
5.8.2.2	Correlación cuantitativa por sección residencial	73
5.9	ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS	75
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES		79
6.1	CONCLUSIONES METODOLÓGICAS	79
6.2	CONCLUSIONES PARTICULARES DEL CASO DE ESTUDIO	81
6.3	APORTE DE LA INVESTIGACIÓN	85
6.4	PROPUESTAS DE LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN POSTERIORES	86
BIBLIOGRAFÍA		87

Índice de figuras

FIGURA 2.1. KVR EN ZONAS METROPOLITANAS DE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS	6
FIGURA 3.1. MACROVARIABLES Y RELACIONES DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE MANHEIM	13
FIGURA 3.2. PROCESO DE DISEÑO Y PLANEACIÓN ACTUAL DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE	15
FIGURA 5.1. CENTROIDES LABORALES, SECCIONES RESIDENCIALES Y RUTAS DE TC IDENTIFICADAS	39
FIGURA 5.2. DENSIDAD DE RED DE CENTROIDES LABORALES Y SECCIONES RESIDENCIALES	42
FIGURA 5.3. DISTRIBUCIÓN DE LA PERCEPCIÓN DEL SERVICIO DE TC	44
FIGURA 5.4. DISTRIBUCIÓN DE LA DENSIDAD DE POBLACIÓN DE LAS SECCIONES RESIDENCIALES	48
FIGURA 5.5. DISTRIBUCIÓN DE DENSIDADES DE RED ENTRE GRUPOS DE TRABAJADORES QUE UTILIZAN Y NO UTILIZAN EL TC EN A) SECCIONES RESIDENCIALES Y B) CENTROIDES LABORALES	49
FIGURA 5.6. COMPARACIÓN USO DE TC Y DENSIDAD DE RED EN SECCIONES RESIDENCIALES	52
FIGURA 5.7. DENSIDAD DE RED DE SECCIÓN RESIDENCIAL - USO DE TC	53
FIGURA 5.8. COMPARACIÓN USO DE TC Y DENSIDAD DE RED EN CENTROIDES LABORALES	55
FIGURA 5.9. DENSIDAD DE RED DE CENTROIDE LABORAL - USO DE TC	56
FIGURA 5.10. DIFERENCIA DE TIEMPO DE TRASLADO EN PAR O-D - USO DE TC	58
FIGURA 5.11. DISTRIBUCIÓN DE LA PERCEPCIÓN DEL SERVICIO DE TC POR SECCIÓN RESIDENCIAL	63
FIGURA 5.12. PERCEPCIÓN NEGATIVA DEL SERVICIO POR SECCIÓN - USO DE TC	65
FIGURA 5.13. A) PROPORCIÓN DE TRABAJADORES DEL TIPO INDUSTRIAL - USO DE TC Y	70
FIGURA 5.14. PRORPOCIÓN DE TRABAJADORES DE TIPO COMERCIAL - USO DE TC	70
FIGURA 5.15. PRORPOCIÓN DE TRABAJADORES DE TIPO ACTIVIDAD GUBERNAMENTAL - USO DE TC	71
FIGURA 5.16. DENSIDAD DE POBLACIÓN DE SECCIÓN RESIDENCIAL - USO DE TC	74

Índice de tablas

TABLA 2.1. KVR RECORRIDOS EN ZONAS METROPOLITANAS DE MÉXICO, 2010.....	5
TABLA 3.1. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE SEGÚN MOLINERO Y SÁNCHEZ	17
TABLA 5.1. PORCENTAJE DE USO DEL TC POR CENTROIDE LABORAL Y SECCIÓN RESIDENCIAL.....	40
TABLA 5.2. DENSIDAD DE RED DE TRANSPORTE PÚBLICO	41
TABLA 5.3. PORCENTAJE DE USO DEL TC POR CENTROIDE LABORAL Y SECCIÓN RESIDENCIAL.....	43
TABLA 5.4. TIPO DE TRABAJO DE LA PEA ENCUESTADA.....	46
TABLA 5.5. DISTRIBUCIÓN DE TIPOS DE TRABAJO POR CENTROIDE LABORAL	46
TABLA 5.6. DENSIDAD DE POBLACIÓN DE LAS SECCIONES RESIDENCIALES.....	47
TABLA 5.7. CATEGORIZACIÓN DE DENSIDADES DE RED RESIDENCIALES	50
TABLA 5.8. ASOCIACIÓN CATEGORÍA DE DENSIDAD DE RED DE SECCIÓN RESIDENCIAL - USO DE TC	50
TABLA 5.9. CATEGORIZACIÓN DE DENSIDADES DE RED RESIDENCIALES	51
TABLA 5.10. ASOCIACIÓN CATEGORÍA DE DENSIDAD DE RED DE CENTROIDE LABORAL - USO DE TC	51
TABLA 5.11. CORRELACIÓN DENSIDAD DE RED DE SECCIÓN RESIDENCIAL – USO DEL TC	52
TABLA 5.12. CORRELACIÓN DENSIDAD DE RED DE SECCIÓN RESIDENCIAL – USO DE TC, SIN CONSIDERAR LA SECCIÓN 3.	54
TABLA 5.13. CORRELACIÓN DENSIDAD DE RED CENTROIDE LABORAL – USO DEL TC	54
TABLA 5.14. CORRELACIÓN DIFERENCIA DE TIEMPO DE TRASLADO ENTRE VEHÍCULO PARTICULAR Y TC POR PAR OD - USO DE TC.....	57
TABLA 5.15. CORRELACIÓN DIFERENCIA DE TIEMPO DE TRASLADO ENTRE VEHÍCULO PARTICULAR Y TC POR PAR OD - USO DE TC, SIN CONSIDERAR PARES DE LA SECCIÓN 7 Y CENTROIDE 7	60
TABLA 5.16. ASOCIACIÓN CATEGORÍA DE PERCEPCIÓN DEL SERVICIO - USO DE TC	61
TABLA 5.17. SIGNIFICANCIAS DE CORRELACIÓN JI-CUADRADO POR CATEGORÍA DE PERCEPCIÓN	62
TABLA 5.18. ASOCIACIÓN CATEGORÍA PERCEPCIÓN DE SERVICIO - USO DE TC, AGRUPANDO CATEGORÍAS POSITIVAS	62
TABLA 5.19. PERCEPCIÓN DEL SERVICIO DE TC POR SECCIÓN RESIDENCIAL	63
TABLA 5.20. CORRELACIÓN PERCEPCIÓN POSITIVA Y NEGATIVA DEL SERVICIO - USO DE TC	64
TABLA 5.21. CORRELACIÓN PERCEPCIÓN NEGATIVA - USO DE TC, SIN CONSIDERAR LA SECCIÓN 3.....	66
TABLA 5.22. ASOCIACIÓN CATEGORÍA DE TIPO DE TRABAJO - USO DE TC	67
TABLA 5.23. ASOCIACIÓN TRABAJO GUBERNAMENTAL - USO DE TC.....	69
TABLA 5.24. CORRELACIÓN PROPORCIÓN DE TIPO DE TRABAJO EN CENTROIDE LABORAL - USO DE TC.....	69
TABLA 5.25. CATEGORIZACIÓN DE DENSIDADES DE POBLACIÓN DE SECCIONES RESIDENCIALES.....	72
TABLA 5.26. ASOCIACIÓN CATEGORÍA DENSIDAD DE POBLACIÓN - USO DE TC	73
TABLA 5.27. ASOCIACIÓN CATEGORÍA DENSIDAD DE POBLACIÓN - USO DE TC, SIN CONSIDERAR LA CATEGORÍA BAJA (SECCIÓN 3).....	73
TABLA 5.28. CORRELACIÓN DENSIDAD DE POBLACIÓN DE SECCIÓN RESIDENCIAL - USO DE TC	74
TABLA 5.29. CORRELACIÓN DENSIDAD DE POBLACIÓN - USO DE TC, SIN CONSIDERAR LA SECCIÓN 3	75
TABLA 5.30. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE CORRELACIÓN E INCIDENCIA DE MACROVARIABLES DE MANHEIM EN EL USO DE TC	77

Resumen

Es ampliamente reconocido y aceptado que el sistema de transporte público debe ser una de las principales prioridades de los responsables de la planeación del a movilidad urbana, ya que un aumento en el uso del mismo trae beneficios para todos los grupos de interés como son los usuarios, los prestadores de servicio, el gobierno y la sociedad en general que no es usuaria del sistema (Cervero & Kockelman, 1997; Suzuki, Cervero, & Luchi, 2014). Entre estos beneficios se encuentran la optimización de tiempos de traslado en distintas modalidades, reducción de emisiones contaminantes, mejoramiento de la imagen urbana, reducción de costos generalizados de viaje, entre otros.

Por otro lado, en los países en vías de desarrollo, por lo general no se realiza una adecuada planeación del transporte, y tienden a presentarse problemas de congestionamiento vial, accesibilidad y rezago social (Kunieda & Gauthier, 2007), este último atribuido principalmente a la localización del empleo con respecto a la ubicación del hogar, principalmente cuando la población no tiene acceso a la mejor oportunidad de empleo debido a grandes distancias o sistemas de transporte ineficientes. Así mismo, en estos países suele no existir un mecanismo para evaluar si los servicios de transporte públicos disponibles están cumpliendo sus funciones esperadas y cumplen con estándares de accesibilidad, conveniencia, confiabilidad, seguridad, etcétera, incluso en la mayoría de los casos, ni siquiera existen estándares (Dhingra, 2011).

Ante la evidente deficiencia en la planeación convencional del transporte, enfocada en construir infraestructura para los automóviles particulares, se están haciendo esfuerzos para implementar una nueva estrategia enfocada en el transporte urbano (Kunieda & Gauthier, 2007). En años recientes, varias ciudades en el mundo han comenzado a implementar políticas de Gestión de Movilidad (Litman, 2012), que tienen entre sus principales objetivos reducir el uso del automóvil. En ese sentido, estas políticas deben incluir estrategias que fomenten el uso del transporte público (Leo, Morillón, & Silva, 2017).

En la ciudad de Mexicali, los distintos organismos involucrados en la toma de decisiones en materia de planeación de transporte, están haciendo esfuerzos para adoptar este

tipo de políticas de gestión de movilidad y fomento de uso del transporte colectivo sin embargo, es necesario que las propuestas estén basadas en un análisis del contexto propio de la ciudad, y no solamente porque en otra parte del mundo se están aplicando, tal es el caso del sistema BRT que quedó inconcluso.

En ese sentido, el objetivo de esta investigación es analizar el sistema de transporte colectivo de la ciudad de Mexicali y determinar qué factores de la oferta, demanda e interacción entre ambos, son los que generan el estado actual de la movilidad, y definir así, si los ejercicios de planeación y toma de decisiones que se han implementado están en línea con la realidad del sistema.

Para esto se hace uso de las 3 macro variables propuestas por Manheim para analizar un sistema de transporte: Sistema de Transporte, Sistema de Actividades y Estructura de Flujos. Así, para cada una de estas se identifican variables y se llevan a cabo análisis estadísticos de asociación que permitan detectar la relación que tienen con el uso del transporte colectivo de la ciudad.

Los indicadores utilizados para los análisis asociativos son el uso del sistema de transporte colectivo, la densidad de red, la diferencia de tiempos de traslado entre modalidades, la percepción del servicio, el tipo de trabajo y la densidad de población.

El análisis permitió concluir que el Sistema de Actividades tiene una mayor incidencia en el uso del TC de la ciudad, que la que pudieran tener la propia oferta representada por el Sistema de Transporte, e incluso los niveles de servicio representados por la Estructura de Flujos. Esta situación da pie a pensar que la planeación de la movilidad urbana de la ciudad se ha hecho sin considerar las variables correctas, ya que esta se ha llevado a cabo analizando la oferta y el estado del tráfico sin considerar aspectos que tienen que ver con el Sistema de Actividades.

Por último, el análisis permitió detectar distintas áreas de oportunidad que permitirán mejorar el nivel de atención que el Sistema de Transporte Colectivo (TC) da a la Población Económicamente Activa (PEA) de la ciudad y así, ayudar a mejorar la movilidad urbana de Mexicali.

Palabras clave:

Sistema de transporte, sistema de actividades, estructura de flujos, transporte colectivo, densidad de red, tiempo de traslado, percepción de servicio, tipo de trabajo, densidad de población.

Abstract

It is widely recognized and accepted that the transit systems must be one of top priorities for responsible of urban mobility planning, since an increased use of the system brings benefits to all society, including users, non-users, operators and government (Cervero & Kockelman, 1997; Suzuki, Cervero, & Luchi, 2014). These benefits are travel times optimization in various modalities, polluting emissions reduction, improvement of the urban image, reduction of generalized travels costs, among others.

On the other hand, in developing countries is usually carried out an inadequate transportation planning, and there are often problems of road congestion, accessibility and social exclusion (Kunieda & Gauthier, 2007), the latter one mainly attributed to job location with respect to the household, when there is no access to better employment opportunities due to large distances and inefficient transport systems. Also in these countries usually does not exists an instrument to evaluate if the public transport services are fulfilling the expected functions and meeting the standards of accessibility, convenience, reliability, security and so on (Dhingra, 2011).

Due to the evident deficiency in conventional transportation planning, focused on building infrastructure for private vehicles, there are efforts carried out in order to implement a new strategy focused on urban transport (Kunieda & Gauthier, 2007). On recent years, many cities in the world have started to implement Mobility Management policies (Litman, 2012), which have as one of their main objectives to reduce the use of private vehicles. In this sense, these polices must include strategies that encourage the use of the public transport systems (Leo, Morillón, & Silva, 2017).

In the city of Mexicali, there are efforts carried out to adopt Mobility Management policies and encourage the use of public transport; however, it is necessary that proposals and projects are based on a sound analysis of the local context and not just adopted because in other city were implemented with good results. The latter is the case of de BRT system that remained unfinished.

It this sense, the objective of this study is analyze the collective transport system (TC) of Mexicali to identify which factors of the transport supply, transport demand, and

interaction of both, are those that most influence the actual state of mobility and thus, define if the transport planning and decision making that has been carried out over the years is in line with the reality of the mobility system of the city of Mexicali.

For this, the three macro variables proposed by Manheim are used to analyze a transport system: Transportation System, Activity System and Flow Structure. For each one, specific variables are identified and statistical analysis of association are carried out to detect the relationship they have with the use of public transport in the city.

The indicators used for the association analysis are use of collective transport system, network density, travel time difference between car and bus, public transport service perception, job type and population density.

The analysis allowed concluding that the Activity System has a higher incidence in the use of the city system, than the one that could have supply characteristics represented by the Transportation System, and even the service levels represented by the Flow Structure. This situation gives rise to think that the planning of the urban mobility of the city has been done without considering the correct variables, since this has been carried out analyzing the offer and the state of the traffic without considering aspects that have to do with the System of Activities.

Finally, the analysis allowed detecting different areas of opportunity that will improve the level of attention of the mobility needs that the Collective Transportation System (TC) gives to the Economically Active Population (PEA) of the city and thus, help to improve urban mobility in Mexicali.

Keywords:

Transport system, activity system, flow structure, collective transport, network density, travel time, service perception, job type, population density.

Capítulo 1. Introducción

1.1 Problema

La tasa de motorización en la ciudad de Mexicali B.C. es la segunda más alta de México, con 400 automóviles por cada mil habitantes. Así mismo, el indicador de kilómetro-vehículo recorrido per cápita es el más elevado del país con 6,000 km por habitante. En ese sentido, existe una clara dependencia del vehículo particular. Este fenómeno representa un problema en la movilidad urbana de la ciudad, ya que el transporte automotor es una de las principales fuentes emisoras de gases contaminantes y provoca un doble efecto dañino: afectan la salud humana y conllevan al incremento de los GEI que inciden en el cambio climático (Amarales, 2010).

Por otro lado, los documentos oficiales mencionan que el sistema de transporte público de Mexicali atiende menos del 12% de los viajes de la ciudad (IMIP & SIMUTRA, 2011), mientras que Reporte Nacional de Movilidad Urbana en México 2014-2015(ONU-Hábitat, 2015), indica que en promedio, a nivel nacional el 65% de los viajes se llevan a cabo en esta modalidad. Por lo tanto, existe un problema crítico de poco uso del Sistema de Transporte Colectivo (TC).

Ante esta situación, en la ciudad de Mexicali se están haciendo esfuerzos en los ejercicios de planeación, implementando estrategias orientadas hacia el incremento de la oferta y uso del sistema de transporte colectivo aunque, las propuestas y estrategias planteadas han sido diseñadas de manera reactiva para solucionar problemas de puntos de conflicto o de áreas no atendidas. Sin embargo, para lograr un cambio en los patrones de movilidad, en este caso cambiar del vehículo particular al transporte público, Litman (2012) establece que es necesario hacer un análisis comprensivo de los distintos aspectos de la movilidad y sistema de transporte de la ciudad. En otras palabras, se está buscando implementar estrategias dirigidas a modificar las dinámicas de movilidad de los viajeros sin embargo, no existen estudios o información que analicen y expliquen los factores o características que condicionan su comportamiento actual.

1.2 Hipótesis

El poco uso del sistema de transporte colectivo de Mexicali puede ser explicado a través de análisis estadísticos de asociación que involucren indicadores relacionados a las 3 macro variables de Manheim: Sistema de Transporte (S), Estructura de Flujos (F) y Sistema de Actividades(A), siendo este último el que tiene mayor peso en el uso del sistema.

Capítulo 2. Antecedentes

2.1 La movilidad urbana en México

En los últimos treinta años las ciudades mexicanas mayores a 50,000 habitantes han aumentado su área 6 veces, y la población sólo se ha incrementado 1.9 veces, disminuyendo 67% la densidad de la población (Ramos Campos, Paz Flores, & Pardo Vélez, 2015). Así mismo, se ha incentivado el uso del automóvil al eliminar impuestos de tenencia y obligatoriedad de seguros. (Leo et al., 2017). Esto ha provocado que el crecimiento anual de la tasa de motorización (6.32%) sea mayor al crecimiento de la tasa demográfica (2.41%) (Medina Ramírez, 2012), y se triplique el uso del automóvil de 1990 a 2010, con graves consecuencias para la sustentabilidad (Medina Ramírez & Veloz Rosas, 2013), ya que se estima que el 75 % de la contaminación del país es generada por el transporte, siendo el vehículo particular el segundo modo con peores índices por consumo de energía dada la capacidad de carga, solo por detrás de la motocicleta (Medina Ramirez & Veloz Rosas, 2012a). Este escenario se presenta sin que el país cuente con políticas de movilidad, como las que países desarrollados implementaron ante tasas de motorización incluso menores a la de México (Medina Ramírez, 2012).

Las zonas metropolitanas más importantes del país presentan altos índices de uso del automóvil. En las Zonas Metropolitanas del Valle de México y de Guadalajara, el porcentaje de viajes diarios en vehículo particular es de 29% y 28% respectivamente, mientras que las Zonas Metropolitanas de Monterrey y de Ciudad Juárez presenta aún mayores problemas, con un 50% de viajes en esta modalidad(ONU-Hábitat, 2015).

Por otro lado, los sistemas de transporte público en México han evolucionado lentamente, con modelos de operación y administración estancados y una calidad del servicio que ha disminuido progresivamente (ONU-Hábitat, 2015). Estos sistemas suelen estar compuestos por concesionarios individuales que no funcionan como una empresa de transporte, sino como agrupaciones semi-informales reunidas en rutas, definiendo la organización al interior de estas (Medina Ramirez & Veloz Rosas, 2012a). A pesar de esto, la mayoría de los habitantes de las ciudades mexicanas utilizan el transporte público para sus

desplazamientos intraurbanos (Leo et al., 2017), con 65% de los viajes realizados en esta modalidad (ONU-Hábitat, 2015).

Respecto a los motivos de viajen, los que predominan son los de tipo pendular, casa-trabajo-casa o casa-escuela-casa (Medina Ramírez, 2012). Mungaray Moctezuma & García Gomez (2014) establecen que una de las problemáticas de mayor sensibilidad en la sociedad, tiene que ver con la localización de actividades económicas y el empleo con respecto al hogar. En esta problemática, convergen variantes como la ubicación de los orígenes, el transporte (costo y tipo), tiempos y ubicación de los destinos.

En México, el Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (ITDP) está fomentando la adopción de un nuevo modelo de planeación llamado Desarrollo Orientado al Transporte (DOT), el cual ha tenido éxito en distintas ciudades del mundo como Curitiba, Copenhague, Hong Kong, Denver, entre otras. Este enfoque tiene entre sus principales estrategias la implementación de sistemas BRT, los cuales son una alternativa de bajo costo a los sistemas de metro y tranvía (Medina Ramírez & Veloz Rosas, 2013). Cervero y Day (2008a, 2008b) llevaron a cabo un estudio donde encuestaron a familias que se reubicaron en sitios con y sin DOT, encontrando que los primeros experimentaron el aumento del número de usuarios del transporte público, un acceso mejorado a los trabajos regionales y tiempos reducidos de desplazamiento en los trabajadores.

2.2 Movilidad urbana en Mexicali

La ciudad de Mexicali es la capital del estado de Baja California, México. Se ubica en el noroeste del país, y hace frontera con Calexico, California, Estados Unidos. En la zona urbana de la ciudad residen 759,537 habitantes, con una tasa de crecimiento anual del 2.7% y la población económicamente activa representa poco más del 54.3% de la población total (IMIP, 2007). La ciudad se distingue por su potencial de desarrollo debido a su localización geográfica fronteriza y a una economía con mayor acceso a los mercados del exterior, lo que origina flujos comerciales, migratorios y movimientos transfronterizos de carga y turísticos, que impactan la infraestructura. Cuenta con una red carretera que conecta a la ciudad con el resto del estado así como con Baja California Sur y Sonora, dos garitas internacionales dentro

de la mancha urbana, y un aeropuerto internacional. El transporte público es atendido por taxis de ruta y autobuses.

El Reporte Nacional de Movilidad Urbana en México 2014-2015 (ONU-Hábitat, 2015) menciona que las ciudades de entre 500 mil y un millón de habitantes siguen la misma tendencia con respecto al uso del automóvil que las principales zonas metropolitanas del país. Sin embargo, las condiciones en Mexicali son críticas en comparación con la media nacional. La tasa de motorización es de 400 automóviles por cada mil habitantes, siendo la segunda más alta del país solo por detrás de Tijuana. Aunado a esto, el indicador de kilómetro-vehículo recorrido per cápita¹ asciende 6,000 km por habitante y es, por mucho, el más elevado del país; le siguen las zonas metropolitanas de Guadalajara, Monterrey y Valle de México, todas ellas con valores cercanos a los 4,000 km por habitante (Medina Ramírez, 2012).

Tabla 2.1. KVR recorridos en zonas metropolitanas de México, 2010

Zona metropolitana	Automóviles privados registrados	KVR (millones de km)	KVR per cápita
Mexicali	395,644	5,821	6,308
Tijuana	577,382	5,663	4,413
Guadalajara	1,209,208	18,976	4,342
Valle de México	5,375,474	84,552	4,260
Monterrey	1,292,751	15,335	3,813
Aguascalientes	248,023	2,942	3,202
Chihuahua	267,132	2,533	3,016
Querétaro	236,300	2,803	2,592
Veracruz	172,790	2,042	2,586
Puebla - Tlaxcala	523,474	6,210	2,361
León	254,446	3,018	1,709
Tuxtla	111,951	273	432

¹ El indicador kilómetro-vehículo recorrido (KVR) es una aproximación de la cantidad de viajes en automóvil realizados en una determinada vía o área de estudio.

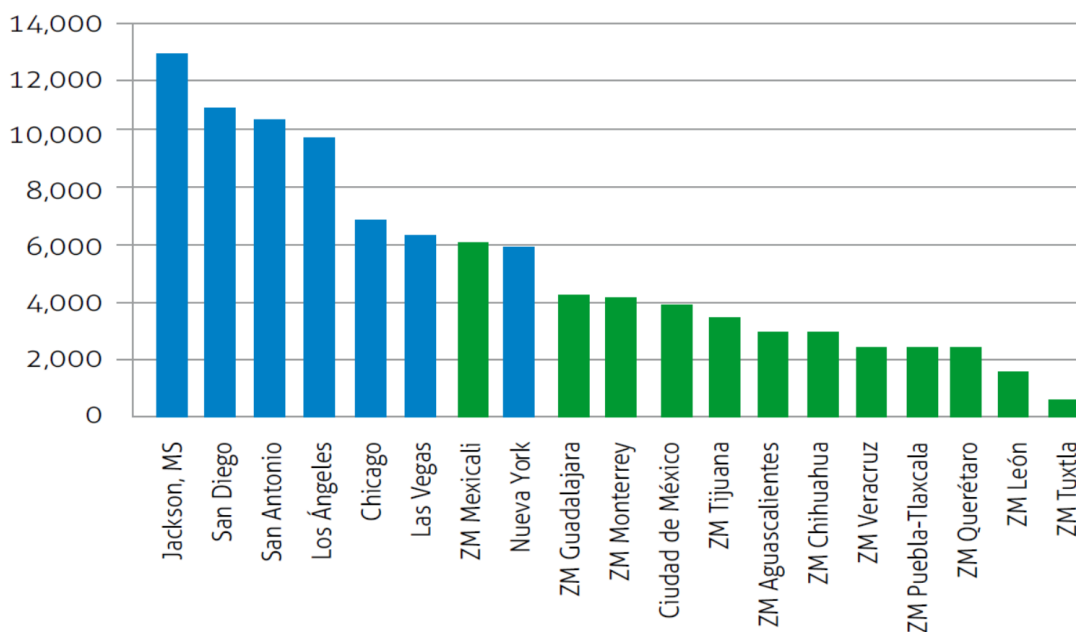


Figura 2.1. KVR en zonas metropolitanas de México y Estados Unidos

Así mismo, en la Figura 2.1 tomada del documento “Guía de estrategias para la reducción del uso del auto en ciudades mexicanas” de Medina Ramirez & Veloz Rosas (2012), se muestra que la ciudad de Mexicali tiene ya un nivel de uso de automóvil particular comparable a zonas metropolitanas de Estados Unidos como Chicago, Las Vegas y Nueva York, cuyo sector de transporte se considera insostenible.

A pesar de las condiciones expuestas, los estudios de movilidad en Mexicali son escasos y no se han llevado a cabo de una forma periódica. La fuente oficial más reciente es el plan Maestro de Vialidad y Transporte del año 2011, donde se indica que los traslados que tienen como origen o destino el trabajo representan más de la mitad de los viajes de la ciudad, el mismo documento establece que el 84.4% de los desplazamientos se realizan en automóvil particular con un índice de 2.3 pasajeros por unidad, y el servicio de transporte público de la ciudad (autobuses y taxis de rutas) solo atiende el 11.42% de los viajes (IMIP & SIMUTRA, 2011), este valor es contrastante con lo expuesto en el Reporte Nacional de Movilidad Urbana en México 2014-2015, el cual indica que el 65% de los viajes se llevan a cabo en transporte público (ONU-Hábitat, 2015). Por otro lado, el Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Mexicali (IMIP, 2007), establece que la ciudad tiene una

cobertura de transporte público de 90%, y que de esta, el 92% cuenta con una estación en un rango de 300 metros.

Existen pocos estudios en ciudades de condiciones similares a Mexicali sin embargo, es posible rescatar datos estadísticos en algunos casos por ejemplo, Ciudad Juárez, Chihuahua, con una población de 1,332,131 habitantes, una densidad de 37.6 hab/ha, 0.27 autos por habitante y donde el uso del transporte público es muy similar a Mexicali, atendiendo el 15% del total de viajes (ONU-Hábitat, 2015).

En las últimas décadas más de cuarenta ciudades en el mundo han implementado sistemas BRT y muchos más están en etapas de planificación o construcción (Yamili, Mallqui, & Pojani, 2017), tal es el caso de la ciudad de Mexicali, en donde se desarrolló el “Proyecto de modernización del sistema municipal de transporte con un sistema de autobuses rápidos troncales BRT” (LOGIT, 2009), y aunque se construyeron los carriles exclusivos para autobuses, el proyecto no fue concluido sin embargo, actualmente se están buscando acuerdos entre los distintos actores para lograr implementar el sistema (Molina, 2017a, 2017b; Tapia, 2017).

En ese sentido, la ciudad de Mexicali está optando ya por un cambio en el enfoque de planeación, adoptando políticas relacionadas con la Gestión de Movilidad sin embargo, para lograr este cambio Litman (2012) establece que es necesario hacer un análisis comprensivo de los distintos aspectos de la movilidad y sistema de transporte de la ciudad. Gestionar la movilidad implica implementar estrategias dirigidas a cambiar el comportamiento de los viajeros, priorizando modos eficientes de transporte (Medina Ramirez & Veloz Rosas, 2012b), y por lo tanto es necesario conocer lo que condiciona su comportamiento actual.

Capítulo 3. Revisión de literatura

3.1 Análisis de sistemas de transporte

El transporte es un elemento significativo del desarrollo urbano y es una parte vital de la sociedad y economía moderna, ya que debe proporcionar al individuo el acceso a los servicios básicos, como la salud, alimentación, educación, empleo y actividades recreativas (Branza & Cristea, 2013). Hoy, movilizarse diariamente es un asunto prioritario para la producción y la productividad, para la seguridad física y emocional de las personas y para el desarrollo de casi todas las funciones humanas (Iracheta, 2011).

Los sistemas de transporte consisten no sólo en los elementos físicos y organizacionales que interactúan entre sí para producir oportunidades de transporte, sino también en la demanda que aprovecha esas oportunidades para viajar de un lugar a otro (Cascetta, 2009). Así, el estudio de estos sistemas y el diseño de las redes de transporte implican el entendimiento de la interacción de la oferta y la demanda. La red de transporte puede considerarse como el suministro, proporcionado de cierta manera para un determinado objetivo, y el público que viaja como la demanda, que decide si viajar y, en caso afirmativo, qué rutas utilizar (K. Lo & Szeto, 2004).

3.1.1 Las etapas de análisis de los sistemas de transporte de Burns

Las técnicas para estudiar los sistemas de transporte y tomar decisiones han evolucionado con el paso de los años. Robert E. Burns (1969) en su obra “Transport Planning: Selection of Analytical Techniques” establece que los enfoques y metodologías que se han desarrollado a lo largo del tiempo para analizar sistemas de transporte pueden agruparse en 4 etapas: cuello de botella, análisis de proyectos, programación lineal y simulación.

3.1.1.1 Cuello de botella

El primer enfoque se conoce como cuello de botella, este entiende que la predicción en tiempo y espacio de las variables que influyen en el estado del sistema es difícil de llevar a cabo y muchas veces las propuestas son ignoradas por otros tipos de intereses. En ese sentido, la planeación del transporte se centra básicamente en resolver problemas (cuellos de botella) que se presentan en la red mediante soluciones rápidas y eficientes. Permitir la presión física sobre las instalaciones existentes para indicar cuándo una intervención al sistema es requerida es una forma de estar seguro de que la nueva infraestructura se utilizará. Por otro lado, una de las principales desventajas es que no se toma en cuenta la posible modernización y cambios en la estructura urbana, así como nuevas tecnologías de transporte.

Ejemplos de este enfoque son comunes, ya que muchas veces las decisiones sobre inversión son determinadas por factores como puertos, caminos o aeropuertos congestionados, autobuses saturados, entre otros, además de presiones políticas y comerciales. En países donde existe un sistema de transporte desarrollado y no hay muchas opciones para expandirlo, un enfoque de cuello de botella bien implementado puede ser una estrategia de planeación adecuada sin embargo, los beneficios de este enfoque son objetivos muy conservadores para países en desarrollo en donde la oportunidad de crecer en forma ordenada aún existe.

3.1.1.2 Análisis de proyectos

El enfoque de análisis de proyectos se basa en técnicas de estudios de inversión para comparar costos y beneficios de un proyecto en particular. En este caso las metodologías están bien desarrolladas sin embargo, a pesar de que se llevan a cabo muchos proyectos, son pocos casos en los que se hace un análisis correctamente, esto debido a dos factores.

Primero, los consultores hacen un mal trabajo debido a que las alternativas no son valoradas correctamente o debido a ignorancia en algunos de los conceptos como podría ser el costo de precio social, costo de oportunidad de capital, o tráfico inducido, divergido o generado.

Segundo, los consultores muchas veces son contratados para justificar escenarios que ya han sido valorados como deseados por razones no cuantificadas así, resulta poco probable que ellos sean objetivos al elaborar su análisis y más bien se ven obligados a generar un reporte favorable.

Asumiendo que estos dos factores puedan ser eliminados, aún existe una gran deficiencia en los estudios de factibilidad, la cual tiene que ver con el pronóstico, en tiempo y espacio, del tráfico futuro, especialmente si se requiere valorar los impactos en todo el sistema. Así, en los ejercicios de predicción de flujo rara vez se toman en cuenta los niveles de actividad económica y sus posibles cambios, así como los efectos que puede tener un proyecto sobre el sistema general de transporte. En la práctica se suele aplicar simplemente una tasa de crecimiento de tráfico.

Por otro lado, los requerimientos técnicos y de información para llevar a cabo este tipo de análisis son bastante modestos, por lo que la mayoría de los países es posible implementar este enfoque en los ejercicios de planeación de transporte.

En ese sentido es importante establecer que análisis de proyectos no es lo mismo que análisis de sistemas de transporte. Este último requiere de técnicas sofisticadas y considerables cantidades de información, así mismo, toma en consideración la localización espacial de las actividades económicas y la demanda derivada de transporte resultado de la realización de un proyecto.

3.1.1.3 Programación lineal

A raíz de las limitantes de la planeación basada en los análisis de inversión se desarrolló el enfoque de programación lineal, el cual busca maximizar o minimizar una función objetivo sujeta a distintas condicionantes, de esta forma se asegura que la solución elegida no solamente es viable sino que es la mejor de todas. Inicialmente fue adoptado para resolver problemas de transporte de mercancías.

La metodología consiste en localizar en el espacio los orígenes y destinos de las mercancías para representarlos como nodos, posteriormente el sistema de transporte que une

ambos puntos se representa como arcos. Para aplicarlo a una planeación del transporte, economistas y especialistas en demografía se encargan de predecir los suministros y demandas de mercancías en términos de ubicación y volumen, y posteriormente ingenieros y planeadores generan distintos escenarios de transporte para el año final del horizonte de planeación y a cada uno se asocia los costos por trasladarse.

Los resultados de este enfoque son una matriz origen destino para todas las mercancías, las rutas de cada una y los flujos en cada arco, así como el costo mínimo por transportar todas las mercancías desde sus orígenes a sus destinos para satisfacer la demanda total. Estos resultados se obtienen para cada uno de los escenarios. A pesar de ser un enfoque mucho más integral que el análisis de inversión, presenta también ciertas deficiencias entre las que destacan la dificultad para definir los costos por traslado en cada arco ya que cada mercancía tiene requerimientos distintos, no toma en cuenta una variación en los tiempos de traslado para la elección de rutas, ni permite el desarrollo de operaciones intermodales.

En ese sentido, es poco probable que este enfoque permita resolver la planeación de todos los problemas de transporte de una región sin embargo, es una herramienta muy útil para analizar las complejidades de un sistema en particular.

Por último, los requerimientos de información necesaria para llevar a cabo estos análisis son mucho mayores que los de un análisis de inversión, así mismo, se requieren diversos especialistas y una organización entre las agencias involucradas para desarrollar estas soluciones. Este escenario resulta poco probable en los países en desarrollo sin embargo, como cualquier proceso, la planeación de transporte puede ser importada, así, en varios casos se han adaptado metodologías de análisis de países desarrollados.

3.1.1.4 Simulación

Para solucionar los problemas que aun presentaba la programación lineal se desarrollaron nuevas metodologías que buscan simular un sistema de transporte de mercancías. En ese sentido, este enfoque hace uso también de una representación de la red de transporte basada en arcos y nodos y considera una distribución espacial de la oferta y

demanda. Las principales diferencias tienen que ver con que este nuevo enfoque permite que flujos de la red incidan en la oferta – demanda de mercancías. Por lo tanto, también es posible llevar a cabo la evaluación de intervenciones de transporte mediante indicadores económicos como cambios en el producto interno bruto, niveles de producción, etcétera.

Las metodologías para representar todas las interrelaciones entre ambos sistemas son muy complejas y extensas. Existe un modelo de simulación económica que tiene como función proveer al modelo de simulación de transporte información sobre oferta y demanda de mercancías a través del tiempo. Así, ambos modelos operan simultáneamente, aun así, deben ser alimentados por algunas variables exógenas como modificaciones al sistema de transporte o un programa de inversiones.

El análisis de la red que se lleva a cabo en la simulación difiere de la programación lineal ya que ahora cada arco tiene asociado un tiempo de espera, tiempo de viaje, variabilidad del tiempo, probabilidad de pérdida y precio. La idea general de la simulación es que la lógica que gobierna la operación de un sistema de transporte puede ser capturada si las relaciones esenciales físicas y de comportamiento pueden ser definidas y cuantificadas. Aun así, existe el problema de reproducir la estructura de flujos existente. Si la simulación no reproduce adecuadamente el estado actual, no existe razón para creer que reproducirá adecuadamente los flujos futuros.

3.1.2 El enfoque de análisis actual

Es evidente la complejidad que implica analizar los sistemas de transporte debido a los diversos problemas, contextos variados, enfoques técnicos e interrelación de variables. A pesar de esto, existe un principio básico propuesto por Manheim (1984) que se debe adoptar independientemente de cual sea el problema, el cual se basa en la existencia de una interacción entre el sistema de transporte y el sistema de actividades.

En ese sentido, para analizar el sistema de transporte de una determinada región, es necesario que este sea visto como un sistema multimodal y su análisis no puede ser separado

del sistema económico, político y social de la región. Así, se tienen que identificar tres macrovariables fundamentales para el análisis:

- El sistema de transporte T, el cual tiene una infraestructura física, vehículos, operación y gobernanza.
- El sistema de actividades A, esto es, el patrón de actividades sociales y económicas que se desarrollan en la región, las cuales están relacionadas con factores como población, ingreso, empleo, etcétera.
- La estructura de flujos F, en otras palabras, orígenes, destinos, volúmenes de tránsito en las vialidades, etcétera

De esta forma, de manera general en análisis se lleva a cabo en una de las tres relaciones siguientes (ver Figura 3.1):

La relación tipo 1, que indica que los flujos actuales que se presentan en el sistema, son producto de la interacción entre los sistemas de transporte y actividades. Esta relación es la que se presenta diariamente, resultado de un equilibrio entre la oferta y la demanda.

A largo plazo, la estructura de flujos puede ocasionar que el sistema de actividades se modifique, dando lugar a la relación tipo 2. Esto es, por ejemplo, a raíz de los flujos en el sistema y los niveles de servicio que experimentan los usuarios, estos cambian su lugar de residencia para estar más “cerca” de su sitio de trabajo.

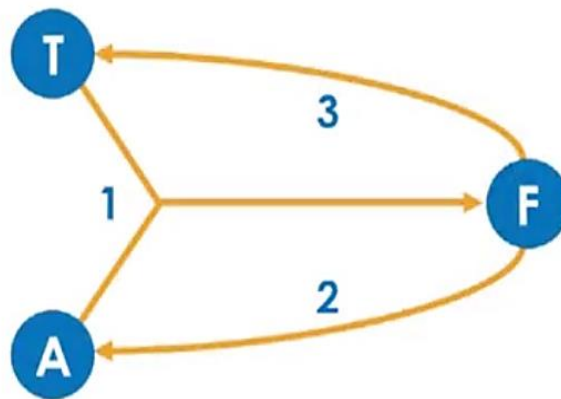


Figura 3.1. Macrovariables y relaciones del sistema de transporte de Manheim

Y por otro lado, la relación tipo 3 que indica que la estructura de flujos obliga a que los operadores o el gobierno modifiquen la oferta del sistema de transporte. Esta relación puede presentarse con dos periodicidades: mediano o largo plazo. La primera de estas corresponde a intervenciones menores en el sistema, la mayoría relacionada con aspectos organizacionales como control de semáforos o reorganización de rutas de transporte público. Por otro lado, la relación a largo plazo tipo 3 tiene que ver con intervenciones mayores como podría ser la construcción de un distribuidor vial o una línea de metro.

Para poder analizar todas estas relaciones, el modelo de simulación utilizado para solucionar los problemas de logística del transporte de bienes, se adaptó para analizar el sistema de transporte integral tanto de pasajeros como de mercancías, y de esta forma dicho análisis sirva de apoyo para el ejercicio de planeación del sistema en general. Como explica Cascetta (2009), con el paso de los años, el reconocimiento de las distintas relaciones que existen en la operación de un sistema de transporte y la complejidad de las mismas, dio lugar a cambios en el propio proceso de planeación, la cual ya no es vista como una actividad que conduzca a la preparación de un plan "maestro" único que identifique un conjunto de proyectos que se implementarán durante un largo período de tiempo. Más bien, la planeación se ve ahora como un proceso más que como una actividad.

Un proceso de planeación da como resultado una secuencia de decisiones (planes o proyectos) tomadas en momentos diferentes, no necesariamente predefinidos, con cada decisión tomando en cuenta los efectos de decisiones anteriores y factores exógenos. En este marco, el papel de los métodos cuantitativos para la definición y evaluación de proyectos alternativos es aún más relevante ya que aseguran una especie de "racionalidad dinámica" para todo el proceso. Esto se puede explicar en la siguiente figura, en donde se presenta el proceso de diseño y planeación actual de un sistema de transporte.

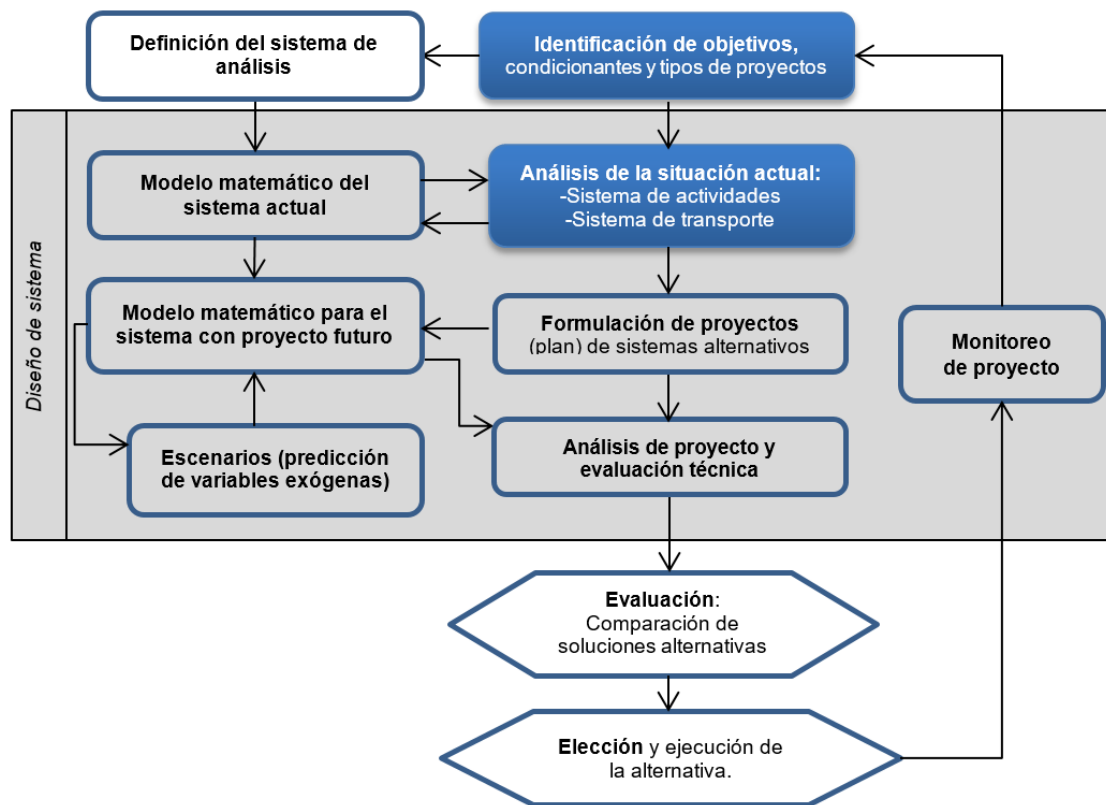


Figura 3.2. Proceso de diseño y planeación actual de un sistema de transporte

En la franja central de la figura se presentan las etapas del proceso de toma de decisiones, mientras que en el extremo izquierdo se muestran las fases de análisis y modelación que sirven de apoyo a estas.

En la identificación de objetivos y condicionantes se toman en cuenta las perspectivas de quienes toman las decisiones. Posteriormente, dependiendo de los objetivos y alcances establecidos, se delimita en sistema de análisis y el nivel de detalle que será necesario.

Por otro lado, la etapa de análisis de la situación actual incluye el estado presente tanto del sistema de actividades como el del sistema de transporte y su relación. En ese sentido, se recopila información relativa a ambos sistemas y se analiza para identificar las principales deficiencias o puntos críticos respecto a los objetivos y condicionantes previamente establecidos. Los resultados de esta etapa, sirven para formular los proyectos/alternativas de solución y al mismo tiempo son los datos de entrada para la construcción del modelo matemático del sistema actual.

Después de generadas las alternativas, estas son incorporadas al modelo matemático de la situación actual, el cual está interrelacionado con el modelo de escenarios futuros de variables exógenas. Al trabajar juntos ambos modelos es posible hacer un análisis de los proyectos y su evaluación técnica. Por último, se comparan las distintas alternativas planteadas y se toma la decisión de ejecutar el o los proyectos que mejor resuelvan los puntos críticos y aporten para lograr los objetivos planteados.

Si adaptamos estas etapas propuestas por Cascetta al esquema general para analizar sistemas de transporte propuesto por Manheim, se concluye que primero se deben encontrar los factores o situaciones que dan lugar a la relación tipo 1, y posteriormente determinar acciones que se pueden implementar para propiciar la relación tipo 3. Por lo tanto, se debe iniciar por definir los objetivos y analizar la situación actual. En ese sentido, ¿cuáles son los objetivos que debemos buscar?, ¿qué metodologías existen para caracterizar la situación actual en función de objetivos previamente establecidos?

3.2 Etapa “definición de objetivos”

Existen distintos factores que se deben considerar para definir cuál es el objetivo adecuado. Teodorović & Janić (2017) en su obra “Transportation Engineering. Theory, Practice, and Modeling” establecen que en general, todos los conceptos y métodos existentes de la ingeniería de transporte deben utilizarse para hacer que los sistemas futuros sean más seguros, más rentables y más ecológicos.

Primero es necesario establecer que todo sistema de transporte puede proporcionar ciertos beneficios o ventajas y, en contrapartida, ocasionar otros costos o desventajas, por lo que es imprescindible la consideración y análisis cuidadoso de estos aspectos, a fin de conocer el valor real de dichos sistemas. El sector del transporte es uno de los principales contribuyentes la contaminación del aire, y demanda una gran cantidad de recursos no renovables como el petróleo, por lo que el rápido crecimiento del uso de automóviles privados en las áreas urbanas no solo exacerba estos problemas ambientales, sino que también contribuye a problemas sociales como la congestión del tráfico y la mala salud

(Greene & Wegner, 1997). Estas externalidades (congestión, contaminación, accidentes, etcétera) hacen necesario que los sistemas de transporte operen bajo un enfoque de sustentabilidad.

En cuanto a la actualidad de los sistemas de transporte, la tendencia de crecimiento de uso del automóvil particular con una capacidad para atender pocos usuarios, terminará por saturar las calle y carreteras (Cal y Mayor & Cárdenas, 2008). Este problema es mucho más delicado en los países en vías de desarrollo, donde las ciudades crecen a ritmos acelerados en extensión y población, con un desarrollo que permite que los habitantes vayan adquiriendo cierto poder adquisitivo ocasionando un aumento exponencial en la tasa de motorización (Medina Ramírez, 2012).

Por otro lado, Molinero y Sánchez (1997) establecen que la decisión central en la planeación de un sistema de transporte radica en a la selección del mejor paquete o combinación posible, dentro del rango de población que se esté considerando. Por ello, para evaluar las necesidades reales del área de estudio se debe reconocer la existencia de tres grupos de participantes en el fenómeno del transporte, cada uno con requerimientos particulares y que en ocasiones se contraponen: usuarios, prestatarios y comunidad.

Los usuarios tienen requerimientos relacionados con el nivel de servicio (LOS) que experimentan al utilizar el sistema, tales como tiempos de recorrido, seguridad o costo monetario, en otras palabras, buscan un menor costo generalizado del viaje.

Tabla 3.1. Requerimientos del sistema de transporte según Molinero y Sánchez

Usuario (consumidor)	Prestatario (proveedor)	Comunidad (evaluador)
Disponibilidad	Cobertura del sistema	Calidad del servicio
Puntualidad	Confiabilidad	Costos del sistema
Tiempo de recorrido	Velocidad	Objetivos sociales
Comodidad	Capacidad	Impactos al medio ambiente
Conveniencia	Flexibilidad	Consumo de energía
Seguridad	Seguridad	Impactos a largo plazo
Costo al usuario	Costos	
	Atracción de usuarios	
	Efectos complementarios	

Los prestadores del servicio buscan objetivos que pueden ir en contra de los niveles de servicio que demandan los usuarios, y si bien entre sus objetivos está mejorar la oferta (cobertura, capacidad, seguridad, etcétera), se ha demostrado que los proveedores del servicio de transporte público suelen sobreestimar la calidad de servicio en comparación con la evaluación de los usuarios (Rietveld, 2005). Por otro lado, lo que principalmente buscan los proveedores del servicio es disminuir sus costos o aumentar sus márgenes de utilidad en ese sentido, la “atracción de pasajeros” es el requerimiento más importante del prestatario ya que de ello dependerá el éxito y el papel que desempeñará la ruta dentro del sistema de transporte, además de incrementar su rentabilidad (Molinero & Sánchez, 1997). Esta atracción está en función del tipo y nivel de servicio que se ofrezca, así como también de la imagen del sistema, compuesta por elementos tales como las características físicas, la simplicidad de la red, la confiabilidad del servicio, la regularidad y la identificación y la venta del mismo.

Por último, la comunidad demanda, además de servicios de buena calidad, que los impactos de los sistemas de transporte sean los mínimos posibles; eficientes en términos energéticos y económicos, respetuosos con el medio ambiente y la sociedad.

En ese sentido, ¿cómo contrarrestamos el problema de la tasa de motorización, atendemos las necesidades de todos los grupos y al mismo tiempo generamos un sistema sustentable?

3.2.1 El papel del transporte público en los sistemas de transporte

Si comparamos los requerimientos de los tres grupos, se puede concluir que la atracción de usuarios, es en cierto modo, el resultado de la evaluación que hacen los consumidores a todas las características del sistema de transporte que el proveedor pone a su disposición. En otras palabras, el requerimiento más importante de los prestatarios, la atracción de usuarios, se satisface en mejor medida si se atienden adecuadamente los requerimientos de los usuarios.

Por otro lado, los requerimientos de la comunidad se pueden sintetizar en una necesidad de un sistema de transporte sustentable, ya que aun cuando la definición de un este es muy variable y subjetiva (Mihyeon Jeon & Amekudzi, 2005), se ha establecido que para lograrlo debe haber un progreso en al menos 3 frentes: desarrollo económico, preservación ambiental y desarrollo social (Tanguay, Rajaonson, Lefebvre, & Lanoie, 2010), todos ellos incluidos en las demandas de la comunidad expuestas anteriormente.

En la literatura, el servicio de transporte público es aceptado como un medio de características más acordes con las políticas de sustentabilidad por su capacidad de carga, de acceso a mayores sectores de población y de reducción de externalidades negativas del transporte, como la congestión vehicular, los accidentes de tránsito y la contaminación ambiental, entre otros (Cervero & Kockelman, 1997). Así, el papel del transporte público en el desarrollo urbano sostenible se está reconociendo y promoviendo cada vez más como una manera para moderar el cambio climático y aumentar la movilidad de los pobres (Suzuki et al., 2014).

En cuanto al problema de la dependencia del automóvil particular, si bien es un reto desacelerar la tasa de urbanización y la tasa vehicular, también es posible plantear estrategias para controlar dichos fenómenos. Una de ellas es alentar a la gente a que realicen sus desplazamientos residencia-trabajo por modos de transporte respetuosos con el medio ambiente (Tran, Zhang, Chikaraishi, & Fujiwara, 2016).

Esto nos permite concluir que una mayor atracción de pasajeros al sistema de transporte público será el resultado de una buena atención a los requerimientos de los usuarios, y representará un mejor cumplimiento de las necesidades de los operadores, una atención a las demandas de la sociedad, y hará que el sistema sea más sustentable al disminuir el uso el automóvil particular.

Por lo tanto, el transporte público se ha convertido en la columna vertebral de una movilidad urbana eficiente, y un suministro adecuado del mismo ayuda a que las ciudades sean más dinámicas y competitivas (UITP, 2013). Incluso Muñoz, et. al. (2014), establecen que el grado de utilización del transporte público (atracción de usuarios) en el ámbito de las grandes ciudades es representativo del nivel de comportamiento sostenible en la movilidad y

por lo tanto resulta indispensable para valorar el estado del sistema. En ese sentido, tanto la teoría como estudios empíricos revelan que las mejoras a los servicios de transporte público han sido implementadas la mayoría de las veces antes de considerar los atributos que valoran más los actuales y potenciales usuarios, por lo que ajustar el proceso de planeación e implementación según estas consideraciones, podría mejorar sustancialmente la efectividad de las intervenciones (Redman, Friman, Garling, & Hartig, 2013).

3.3 Etapa “análisis de la situación actual”

Primero es necesario establecer que la demanda de servicios del transporte es altamente cualitativa y diferenciada. Existe una amplia gama de demandas específicas de transporte que se diferencian por hora del día, día de la semana, motivo del viaje, tipo de mercancía, importancia de la velocidad y frecuencia, etcétera (Ortúzar & Willumsen, 2011).

Dado que los viajes con diferentes motivos pueden diferir en aspectos tales como la velocidad del vehículo y el tiempo de viaje, también es razonable suponer que el impacto ambiental marginal de un kilómetro recorrido puede ser diferente dependiendo del propósito del viaje (Beckx et al., 2013).

Por lo tanto es necesario establecer si se debe hacer en análisis para todos los tipos de viajes o solo para un sector crítico. Del mismo modo, definir si se estudiará el sistema en forma general en términos de espacio y tiempo, o solo para un área y periodos de máxima demanda.

Existen distintos enfoques para estudiar la situación actual de cierto sistema de transporte, y buscando hacer comparaciones entre estos para definir una metodología de análisis integral que abarque todos, denominaremos como “enfoque A” al propuesto por (Cal y Mayor & Cárdenas (2008), quienes establecen que los sistemas de transporte en general se evalúan en función de tres elementos: el primero definido por el grado de accesibilidad al sistema; el segundo, referido a la cantidad de tránsito que puede acomodar el sistema (capacidad) y la rapidez con la que éste se puede transportar; y finalmente, por su eficiencia,

que es la relación entre los costos totales (directos más indirectos) del transporte y su productividad.

Estos tres elementos mencionados están relacionados con la oferta para movilidad, por lo que se podría decir que el “enfoque A” sugiera una evaluación orientada a la oferta del sistema, la cual por lo general se centra en indicadores promedio. Redman et al. (2013) sugieren que definir atributos para hacer una evaluación de este tipo (orientada a la oferta) es solo una parte de la tarea, ya que se deben considerar las características, experiencias y expectativas de los usuarios

Por otro lado, existe un “enfoque B” de Molinero & Sánchez (1997), quienes establecen que los sistemas de transporte pueden ser evaluados en función de 4 características:

- El desempeño o rendimiento del sistema, que incluye aspectos meramente cuantitativos asociados a la oferta del servicio y experimentados ya sea por los usuarios o por los operadores, algunos ejemplos son la frecuencia, velocidad de operación, confiabilidad, seguridad, capacidad y utilización.
- El nivel de servicio, el cual además de involucrar los indicadores del desempeño del sistema como los anteriormente mencionados, incluye también aspectos referentes a la calidad del servicio, los cuales son por lo general valorados en forma cualitativa.
- Los impactos, a corto o largo plazo, que genera el sistema dentro del área de servicio y en el entorno.
- Los costos asociados al sistema de transporte, incluyendo la inversión inicial así como la operación diaria.

Así, el enfoque B considera, además de características exclusivas de la oferta o suministro de transporte, variables que tienen que ver con la interacción de la oferta – demanda, y las externalidades del sistema.

Por lo tanto, dependiendo del objetivo planteado, deberá adoptarse el o los enfoques sean más convenientes.

3.3.1 Indicadores para analizar el estado actual del sistema de transporte público

Un indicador es una medida cuantitativa para medir el progreso hacia la consecución de un objetivo, su desarrollo y uso son significativos para analizar y monitorear los objetivos de desarrollo sustentable, así como en la formulación de políticas (Gudmundsson, 2003; Häkkinen, 2007; Huang, Yeh, Budd, & Chen, 2009; Joumard, Gudmundsson, & Folkesson, 2012; Santos & Ribeiro, 2013; Spangenberg, 2002). Así mismo, su simplicidad hace que sea relativamente fácil comunicarlos a terceros, (Santos and Ribeiro, 2015). Por estas características es que los indicadores son la herramienta más utilizada para analizar sistemas de transporte.

En ese sentido, Zegras (2006) indica que los indicadores de transporte son un componente crítico para la “planeación del transporte basada en desempeño”, ya que están muy ligados a los criterios de evaluación para la toma de decisiones. Así mismo, indica que estos varían dependiendo de las escalas temporales y espaciales de análisis, así como los objetivos finales, en este caso, sustentabilidad. De cualquier forma, en muchas ocasiones indicadores comunes son aplicables en las distintas escalas de análisis.

Existen distintas propuestas que hacen uso de indicadores para el análisis de los sistemas de transporte (Mameli & Marletto, 2014). Se han llevado a cabo estudios para definir los atributos más importantes de un sistema de transporte público que permitan una mayor atracción de usuarios sin embargo, los autores concluyen que sus resultados no son estándares universales, y más bien sugieren que deben llevarse a cabo estudios en cada contexto específico (Eboli & Mazzulla, 2008; Thevathasan & Balachandran, 2007; Too & Earl, 2009). En ese sentido, aunque no se ha definido un conjunto específico que asegure el adecuado reflejo del sistema y su impacto en los diferentes frentes del desarrollo sustentable (social, ambiental y económico), Santos & Ribeiro (2015) señalan que los indicadores para analizar el sistema deben basarse en datos confiables disponibles o que lo pueden estar a un costo razonable, además de actualizarse regularmente, por lo que dependiendo del contexto urbano y social sujeto a análisis, se deben seleccionar o proponer aquellos que sean convenientes para cada caso. Esto merece especial atención en los países en desarrollo, donde las dinámicas de movilidad son muy cambiantes y los recursos limitados.

Actualmente la segmentación es un método adecuado para analizar los determinantes de viaje, diversos estudios utilizan factores que sirven de base para medir cambios de comportamiento (Prillwitz & Barr, 2011). Zegras (2005) indica que al definir que indicadores se deben utilizar, se deben tomar en cuenta dos factores: validez y confiabilidad. El primero de estos se refiere a que tan alineado está el indicador con el concepto de interés, es decir, que tan significativo es. Mientras que la confiabilidad hace referencia a que tanto el concepto de interés u objetivo es un reflejo del indicador seleccionado. En ese sentido, para valorar la confiabilidad y definir si cierto indicador tiene relevancia para lograr un objetivo, es necesario asociar la variable de objetivo y el indicador analizado.

Así, atendiendo estas recomendaciones y habiendo establecido que el objetivo es el uso del transporte público, es posible identificar y definir un conjunto de indicadores que permiten analizar el sistema en el marco de enfoque general de tres macro variables propuesto por Manheim (1984) y al mismo tiempo se considere en esta definición los factores propuestos por Cal y Mayor & Cárdenas (2008) (enfoque A) y Molinero & Sánchez (1997) (enfoque B).

La primera macro variable del enfoque general es el Sistema de Transporte (T) el cual incluye todos los factores que están relacionados con la oferta del sistema y no considera las características de la demanda. Así, tanto el grado de accesibilidad definido en el enfoque A, así como la característica de “desempeño” del enfoque B están consideradas dentro de esta macro variable. Sobre este análisis de la oferta, diversos autores (Dodson, Buchanan, Gleeson, & Sipe, 2006) han sugerido que la accesibilidad a los sistemas de transporte, dada su función conectiva, es una dimensión crítica del bienestar. Incluso, Zegras (2005) le otorga a esta variable un rol fundamental en la planeación, al definir un transporte sustentable como mantener la capacidad de proporcionar accesibilidad no decreciente en el tiempo.

En el caso de los sistemas de transporte público, Loader & Stanley (2009) indican que en cada contexto existen atributos mínimos de accesibilidad que se deben brindar para lograr un incremento de usuarios. En ese sentido, en este tipo de sistemas, la accesibilidad depende en gran medida del acceso o cobertura espacial que brinda el sistema (Murray, Davis, Stimson, & Ferreira, 1998).

En México la actualidad del transporte público, con un esquema de concesionarios individuales, motiva a que se realicen paradas de manera continua y aleatoria (Medina Ramirez & Veloz Rosas, 2012a), por lo que estudiar el acceso al sistema mediante la distancia a los paraderos podría no reflejar la realidad. Sobre esto, el Plan especial de indicadores de sostenibilidad ambiental de la actividad urbanística de Sevilla (Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, 2014), establece que el indicador de densidad de red y accesibilidad a terminales de ascenso, definido como la relación entre el área cubierta por la red y el área de estudio, valora el alcance que tiene la red a nivel espacial y se configura como eje clave en la promoción de una movilidad sustentable. En ese sentido, el área cubierta por la red se especifica considerando la distancia que una persona está dispuesta a caminar para abordar un autobús, la cual puede variar dependiendo de la oferta, el motivo de viaje, la cultura de caminata, el contexto urbano, etcétera.

Mientras tanto, la macro variable “Estructura de Flujos” (F) incluye indicadores que dependen de la interacción entre la oferta de movilidad y la demanda de la misma. En ese sentido, tanto los factores de “desempeño” y “costo” del enfoque B, así como la “rapidez para transportar” y la “eficiencia por costos de traslado” del enfoque A, demandan indicadores asociados a esta macro variable. Sobre esto, Mungaray Moctezuma & García Gómez (2014) indican que para lograr un análisis integral del sistema de transporte, es necesario determinar las oportunidades que este ofrece, por lo que se requieren las variables de ubicación tanto de los orígenes, como de los destinos, el tiempo requerido para desplazamiento entre estos y el costo y modalidad de transporte utilizado. De estas variables, Cedeño Millares & Carcacés Domínguez (2010) establecen que el tiempo es el costo indirecto que asumen los individuos por movilizarse y por lo tanto, es uno de los principales determinantes en la elección modal (Parras, 2015).

Redman et al. (2013) llevaron a cabo un estudio sobre los atributos del transporte público para atraer usuarios del vehículo particular y concluyeron que para lograr esto no solo basta con mejorar sustancialmente las condiciones de este, ya que esto no significa que los atributos ofrecidos mejoraran las condiciones que puede brindar el automóvil, en ese sentido, si se quiere lograr un cambio de modo las condiciones que ofrezca el transporte público deber ser, como mínimo, iguales a las que ofrece el automóvil privado.

Así, existen estudios en los que se analiza el sistema considerando las diferencias entre atributos del transporte particular y público, Jara & Carrasco (2010) calculan la diferencia de tiempos de traslado entre ambos modos para las distintas zonas de la ciudad chilena Gran Concepción, con el objetivo de explicar los niveles de servicio del sistema de transporte público, por otro lado, Galán González (2005) utiliza la diferencia entre los costos de trasladarse en ambas modalidades como una variable explicativa para obtener un modelo de elección en la ciudad de Monterrey.

En este sentido, existen numerosos trabajos (Church, Frost, & Sullivan, 2000; Li & Liu, 2016; Rouwendal & Nijkamp, 2004) que realizan análisis sobre los sistemas de transporte de una ciudad, mediante el indicador de tiempos de traslados entre distintas zonas de la misma. Esto debido a que puede señalarse que el tiempo de traslado residencia – trabajo, representa una gran parte del costo de viaje, incluido el coste de la congestión. Por otro lado, Eriksson, Friman, & Gärling (2008) realizaron un estudio de preferencias declaradas entre usuarios del vehículo particular en sus traslados al trabajo, encontrando que el transporte público sería más atractivo si el tiempo de viaje se reduce.

Parras (2015) menciona que una planeación diseñada para la mejora y efectividad del transporte público debe prevenir aspectos relacionados con las decisiones cotidianas respecto a la movilidad, en donde la consideración del tiempo es un elemento clave que actúa muchas veces como determinante de la elección modal, del destino y de la frecuencia de viaje, entre otras. En este sentido, la finalidad no radica en el viaje sino en la actividad a desarrollar en el destino y los sistemas de transporte son los medios que permitirán ese desplazamiento. Es decir, la consideración del tiempo en la movilidad se halla fuertemente vinculada a la valoración que las personas hacen del mismo y con ello, de sus decisiones al momento de desplazarse, condicionadas por subjetividades difíciles de cuantificar, asociadas con las características socioeconómicas o ambientales de las personas (Parras, 2015).

Por lo tanto, para valorar de forma integral la macro variable “Estructura de Flujos” es necesario hacer uso también de otros indicadores que recojan la variabilidad en la valoración de los usuarios, esto va en línea con la característica de “nivel de servicio” del enfoque B. Así, estudiar la satisfacción de los usuarios del sistema de transporte es

significativo para el apoyo en la toma de decisiones, en ese sentido, las políticas dirigidas a un cambio hacia modos de transporte sostenibles serán más eficaces cuando los viajeros estén más satisfechos con su nuevo modo de viaje. La relación entre la satisfacción del viaje y los modos de transporte ha sido ampliamente examinada en estudios recientes (Abou-Zeid & Ben-Akiva, 2014; Eriksson, Friman, & Gärling, 2013; Ettema, Gärling, Olsson, Friman, & Moerdijk, 2013; Olsson, Gärling, Ettema, Friman, & Fujii, 2013; Páez & Whalen, 2010).

El estudio de la percepción se basa en la premisa que el usuario compara su grado de utilidad y/o satisfacción al utilizar el servicio con sus expectativas antes de recibirlo, de manera que considera la utilización de dicho sistema de transporte en futuras ocasiones. Según la International Association of Public Transport, la calidad en el transporte público comienza con la seguridad y fiabilidad, continúa en la prestación del servicio correspondiente a la expectativa de los pasajeros, y sólo está completa si la relación de servicio personal-pasajero se mejora (UITP, 2003).

Por último, la macro variable “Sistema de Actividades “(A) no puede ser vista como un enfoque para evaluar el desempeño de un sistema de transporte, ya que la naturaleza de la misma hace que está compuesta por indicadores o factores sobre los que la mayoría de las veces el propio sistema no tiene incidencia. Por esta razón, indicadores que tienen que ver con esta macro variable no son considerados en el enfoque A ni el enfoque B, ya que ambos se basan en la evaluación propia del sistema. Sin embargo, existen numerosos estudios de patrones de viajes que se basan en un análisis espacial desagregado, en donde se manejan dos tipos de enfoques particulares: espacial y de categorías. El primero de estos analiza la movilidad a partir de delimitaciones geográficas, mientras que el segundo se centra en los patrones de viaje de grupo de individuos (Church et al., 2000; Pritchard, Moura, De Abreu E Silva, & Martinez, 2014; Roa, Rojas, Carrasco, & Tudela, 2013). En ese sentido, la demanda puede ser categorizada de modo que permita llevar a cabo un análisis desde el punto de vista del “Sistema de Actividades”.

Cuando el objetivo está relacionado con la utilización de cierto modo de transporte (en este caso transporte público), el análisis consiste en valorar la elección de los usuarios considerando todas sus decisiones, que van desde el lugar de origen y destino, compra de

vehículo, y obviamente elección de modo. En la práctica normalmente no se dispone de todas estas variables y se opta por utilizar los viajes al trabajo (commuters) como la muestra relevante, ya que, al menos a corto plazo, no se espera un aumento en el número de viajes ni cambios en los orígenes y destinos (Galán, 2005).

En ese sentido, Tran, et al. (2016) mencionan que los problemas originados por los desplazamientos residencia-trabajo (RT), son una de las principales preocupaciones de los responsables de las políticas de transporte, esto debido a que la mayoría de estos desplazamientos se realizan durante las horas de máxima demanda vehicular, lo que ocasiona que tanto los tiempos como los costos de los traslados aumenten (Chng, et. al., 2016 y Miao, et. al., 2015). Al respecto existen estudios que relacionan este tipo de traslados con la salud y bienestar de los usuarios, donde sugieren que los medios motorizados por los que la gente viaja de su residencia al trabajo y viceversa, puede afectar significativamente su salud y bienestar (Chng et al., 2016). En ese sentido, es necesario categorizar el sistema de actividades en función del tipo de trabajo para determinar si existe algún grupo que tenga un papel fundamental en el desempeño del sistema analizado.

Por otro lado, los rasgos físicos del paisaje urbano suelen ser analizadas como factores que influyen en la elección de modo de traslado, los cuales forman parte también del “Sistema de Actividades”. Kennedy, et. al. (2005) y Luk (2003) indican que los fenómenos de expansión urbana y las densidades residenciales bajas contribuyen a un mayor uso del vehículo particular, así mismo Suzuki, Cervero, & Luchi, (2014) resaltan que las densidades urbanas son fundamentales para el éxito del transporte público.

Algunos autores (Gordon, Richardson, & Jun, 1991; Levinson & Kumar, 1994) sugieren que las estructuras urbanas dispersas pueden reducir tiempos de traslado y distancia, ya que la existencia de distintos centros laborales mejora la accesibilidad para la población que reside lejos del centro principal. En contraste, otros estudios (Giuliano & Small, 1993; Hamilton, 1982) argumentan lo contrario, debido a una relación desigual entre empleos y viviendas que sugiere que los trabajadores no eligen su lugar de residencia cerca de los empleos, y la decisión depende de otros factores. Por lo tanto, siguiendo un enfoque de análisis especial (Church et al., 2000; Pritchard et al., 2014; Roa et al., 2013), es posible

entender el estado actual del sistema de transporte en general en relación al Sistema de Actividades mediante las densidades de población.

Capítulo 4. Metodología

Se plantea una metodología general (MG) que consta de la implementación de tres componentes particulares; el primero de ellos comprende la delimitación de unidades territoriales para poder llevar a cabo un análisis espacial, además de la identificación de los derroteros de las rutas de transporte colectivo de la ciudad (C1); el segundo componente consiste en el cálculo de indicadores para analizar el transporte colectivo, para cada una de las delimitaciones territoriales obtenidas (C2); y finalmente, el tercer y último componente es referente a la asociación de los indicadores calculados para valorar su confiabilidad y definir su incidencia en el uso del Transporte Colectivo de la Ciudad (C3). De tal manera se obtiene la siguiente ecuación:

$$MG = C1 + C2 + C3 \quad (4.1)$$

4.1 Delimitación de unidades territoriales e identificación de derroteros de rutas de TC

La demanda de transporte tiene lugar en relación al espacio, ya que es provocada por la distribución de las actividades en el mismo. El enfoque más usual para tratar el espacio consiste en dividir el área de estudio en zonas y codificarlas, junto a las redes de transporte, de una forma adecuada para su procesamiento y tratamiento (Ortúzar & Willumsen, 2011). Así, valorando el peso que tienen los desplazamientos residencia trabajo en la eficiencia de los sistemas de transporte, y tomando en cuenta el enfoque espacial de análisis que se puede adoptar para analizarlos, se realiza una delimitación de unidades territoriales en base a dos criterios.

4.1.1 Centroides laborales

El primero de ellos referente a los principales centroides de concentración del empleo de la ciudad, para ello, se toma la base de datos del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) de INEGI, donde mediante una asociación de capas de

información se obtienen las principales zonas que concentran el empleo en la ciudad (destinos de los traslados).

4.1.2 Secciones residenciales

Mientras tanto, la segunda delimitación se realiza para seccionar la ciudad en distintas zonas habitacionales (orígenes de los traslados), procurando que cada una sea proporcional en términos de población. En ese sentido, para conocer la distribución de la población en la ciudad se utilizan los datos de las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB)², siendo estas la mínima unidad de medida. Así, el ejercicio de delimitación de zonas habitacionales consiste en la agrupación de AGEB colindantes, procurando que la suma de población de los mismos sea aproximadamente de 92,000 habitantes.

4.1.3 Derroteros de rutas de TC

Por otro lado, para poder llevar a cabo un análisis del sistema de transporte colectivo es necesario contar con información precisa y clara sobre la oferta del mismo, por lo que se identifican los derroteros o trazados de las rutas de transporte colectivo de la ciudad. La información fue proporcionada por el Sistema Municipal de Transporte de Mexicali (SIMUTRA) en formato KML

Finalmente, con el objeto de obtener una visión clara y poder llevar a cabo análisis posteriores, se considera necesario contar con la información georreferenciada en un sistema de información geográfica (SIG). Así, utilizando el software ArcGIS 10.1 se genera una base de datos georreferenciada que contiene tanto las unidades territoriales delimitadas, como los derroteros identificados. Posteriormente con el mismo software se trazan los límites de dichas unidades, los derroteros de las rutas, y se generan los mapas con la información recopilada.

² Área Geoestadística Básica es la Unidad básica del Marco Geoestadístico Nacional, cuyo perímetro son los rasgos físicos naturales y/o culturales, normalmente reconocibles y perdurables en el terreno, como calles, avenidas, brechas, límites prediales, etcétera.

4.2 Diseño y aplicación de encuesta

La información necesaria para el cálculo de los indicadores se obtiene a través del diseño y aplicación de una encuesta en los centros empleadores de la ciudad. Dicha encuesta consta de 54 incisos relacionados con el perfil del entrevistado, características de su vivienda y patrones de movilidad local e intraurbana.

Para definir el total de encuestas a aplicar y obtener una muestra representativa, se toma en cuenta la cantidad total de PEA del caso de estudio del censo de población y vivienda 2010 de INEGI. Considerando un nivel de confianza del 90% y un margen de error del 2.6% se aplica la fórmula estadística para determinar el tamaño de la muestra.

$$n = \frac{(z^2 \cdot p \cdot q \cdot N)}{[(e^2 \cdot (N - 1)) + z^2 \cdot p \cdot q]} \quad (4.2)$$

Dónde: n = Tamaño de muestra; N = Población; z = Nivel de confianza; p.q = Varianza máxima asignada; e = error muestral. Así, se obtiene un tamaño de muestra de 1620 encuestas a aplicar. Mediante el procedimiento de muestreo aleatorio simple y utilizando el software de análisis estadístico IBM SPSS Statistics, se determina la cantidad de encuestas a aplicar en cada uno de los centroides laborales predefinidos. Posteriormente, en el mismo software se procede a la desagregación de la información (generación de la base de datos) resultante de las encuestas aplicadas y a la validación de la base de datos.

4.3 Caracterización de variables e indicadores

Valorando la relevancia que tienen los desplazamientos residencia-trabajo en el funcionamiento de los sistemas de transporte, y entendiendo que el uso de indicadores, entre los que destaca el uso del transporte público, es esencial para el estudio de estos sistemas, se plantea analizar la atención que el sistema de transporte colectivo de Mexicali da a la población económicamente activa (PEA) de la ciudad, esto a través de 4 indicadores: (1) uso del transporte colectivo, (2) densidad de red, (3) tiempo de traslado, y (4) percepción del servicio.

Una vez obtenidos los indicadores para cada una de las delimitaciones territoriales definidas, se realiza un análisis espacial unidimensional sobre los mismos, con el fin de identificar su comportamiento y detectar, si es que las hay, particularidades en ciertas áreas.

4.3.1 Caracterización de variable objetivo: Uso del TC

Existen fuentes oficiales que reportan la proporción de viajes de la ciudad de Mexicali realizados en transporte público, sin embargo, la más actualizada es del año 2011, además esta no basa su cálculo en la PEA y considera a los taxis de ruta como medio de transporte público, cuando estos no necesariamente reflejan un beneficio para todo el sistema.

Por lo tanto, utilizando los datos de la encuesta aplicada, se calcula primeramente el porcentaje de la PEA de Mexicali que utiliza el transporte colectivo como principal modo de transporte para trasladarse a su trabajo y se confronta con los datos de hace 5 años. Posteriormente, con el objeto de llevar a cabo el análisis espacial, se calculan los porcentajes de utilización por centroide laboral y sección residencial.

4.3.2 Caracterización de indicadores de la macro variable “Sistema de Transporte (S)”

4.3.2.1 Densidad de red

La densidad de red es un indicador que refleja en cierta medida la cobertura que tiene el transporte colectivo y está definido por el cociente del área cubierta por la red de transporte dentro de la zona de estudio entre el área total.

$$D = \frac{A_{\text{red}}}{A_{\text{total}}} \quad (4.3)$$

Dónde: D = densidad de red; A_{red} = área cubierta por la red de transporte público; y A_{total} = área total de análisis.

En lo que respecta al área cubierta por la red, esta se especifica tomando en cuenta la distancia que una persona está dispuesta a caminar para abordar una unidad de transporte público. Así, dicha distancia puede variar dependiendo de las características de las personas, el tipo de transporte público, el motivo de viaje, la cultura de caminata y el contexto urbano. Diversas fuentes como el estándar DOT (Desarrollo Orientado al Transporte) (ITDP, 2014) o el Banco Mundial (Armstrong y Thiriez, 1987) consideran distancias desde 200 hasta 1000 metros para estos análisis.

Por otro lado, el Plan Maestro de Vialidad y Transporte de Mexicali B.C. para el año 2004, indica que aproximadamente la mitad de las veces un usuario camina no más de 100 metros para abordar una unidad, y en promedio camina 201 metros para este fin. Esto tiene sentido considerando el clima extremo de la ciudad con temperaturas promedio superiores a 40°C en verano (IMIP, 2007). Tomando en cuenta estos datos, para este estudio se considera como área cubierta aquella que se encuentra a 200 metros a cada lado de la ruta de transporte colectivo.

Utilizando el software ArcGIS 10.1 se obtienen las áreas cubiertas por la red de TC y las áreas totales de las delimitaciones territoriales. Posteriormente se calcula la densidad de red para la mancha urbana de la ciudad y por último se hace lo propio para cada sección residencial y centroide laboral.

4.3.3 Caracterización de indicadores de la macro variable “Estructura de Flujos (F)”

4.3.3.1 Tiempo de traslado

Para analizar el sistema de transporte colectivo en relación al indicador de tiempos de traslado, se identifican los principales pares origen - destino (zona residencial – centroide laboral) de la ciudad, es decir, aquellos con mayor interacción, y se calculan sus tiempos promedio de traslado en transporte colectivo y en vehículo particular, para posteriormente medir las diferencias entre ambos.

En lo que respecta a la identificación de los principales pares origen – destino (OD) para el análisis, se busca que estos representen más del 50% de los desplazamientos residencia - trabajo de la ciudad de Mexicali. Así, se analiza el total de pares OD del área de estudio y se determina la cantidad mínima de estos que logra incorporar al análisis la mitad de traslados de la ciudad.

Por otro lado, el tiempo de los traslados de cada uno de los usuarios de la muestra se obtiene directamente de la encuesta. Así, para obtener el tiempo promedio en ambos modos, para cada uno de los 26 pares OD se tiene:

$$\overline{T}_{priv}^{OD} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{priv}} t_{priv_i}}{n_{priv}^{OD}} \quad y \quad \overline{T}_{col}^{OD} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{col}} t_{col_i}}{n_{col}^{OD}} \quad (4.4)$$

Dónde: $\overline{T}_{priv}^{OD}$ = tiempo promedio de traslado en vehículo privado para el par OD; t_{priv_i} = tiempo de traslado en vehículo privado del individuo i; n_{priv}^{OD} = número de individuos que se trasladan a su trabajo en vehículo privado en el par OD; $\overline{T}_{col}^{OD}$ = tiempo promedio de traslado en transporte colectivo para el par OD; t_{col_i} = tiempo de traslado en transporte colectivo del individuo i, y n_{col}^{OD} = número de individuos que se trasladan a su trabajo en transporte público en el par OD.

Por último, buscando detectar áreas de oportunidad, para cada uno de los 26 pares se calcula la diferencia de los tiempos promedio

4.3.3.2 Percepción

La percepción del servicio de cada individuo de la muestra se obtiene directamente de la encuesta, la cual da al entrevistado la opción de indicar su percepción de acuerdo a 5 posibles categorías: excelente, bueno, regular, malo y pésimo.

Posteriormente, para entender los motivos de la percepción del usuario, se incluyen en la encuesta 2 incisos. Primeramente, uno para quienes consideran el servicio bueno o excelente, pudiendo elegir los usuarios entre 5 opciones: comodidad, seguridad, modernidad,

calidad en general u otro. Por otro lado, para quienes consideran el servicio regular, malo o pésimo, se incluye otro inciso en donde los entrevistados manifiestan sus motivos a través de 5 posibles categorías: mala calidad en general, poca frecuencia, rutas inadecuadas, falta de seguridad u otro.

Al igual que en los otros indicadores de análisis de este estudio, una vez caracterizada la percepción del servicio del transporte colectivo por parte de la PEA de Mexicali, se define esta para cada sección residencial de las definidas en la componente metodológica C1.

4.3.4 Caracterización de indicadores de la macro variable “Sistema de Actividades (A)”

4.3.4.1 Tipo de trabajo

A partir de la información disponible en el Directorio Estadísticos Nacional de Unidades Económicas (DENUE) de INEGI, fue posible identificar las distintas actividades económicas en la ciudad y agrupar todas ellas en 4 grandes grupos de tipo de trabajo: a) industrial, b) comercial, c) servicios y d) actividades gubernamentales.

La categoría o tipo de trabajo de cada individuo de la muestra se obtiene directamente de la encuesta, la cual da al entrevistado la opción de indicar su tipo de trabajo entre las 4 opciones. Una vez generada la base de datos con esta información, se analiza la distribución de los trabajos en los centroides laborales previamente definidos para detectar particularidades y así mismo, identificar el peso que tiene cada categoría en la cantidad de viajes de la ciudad.

4.3.4.2 Densidad de población

La densidad de población se calcula para cada sección residencial delimitada en habitantes por hectárea. Para esto, el dato de población de cada zona se obtuvo mediante la suma de la poblaciones de los AGEBs que la comprenden, Por otro lado, la superficie de las delimitaciones territoriales se obtuvo haciendo uso del software ArcGIS 10.1.

4.4 Análisis estadístico de asociación

El análisis estadístico de asociación entre variables representa una parte básica del análisis de datos. La existencia de asociación entre dos variables indicaría que la distribución de los valores de una de las dos variables difiere en función de los valores de la otra (Solanas et. Al., 2005). En otras palabras la existencia de algún tipo de asociación entre dos o más variables representan la presencia de algún tipo de tendencia o patrón de emparejamiento entre estas.

En este sentido, para lograr un análisis significativo de la situación actual del sistema de transporte en función de la variable definida como objetivo, se lleva a cabo una asociación del indicador Uso del TC con cada uno de los indicadores definidos para las 3 macro variables para determinar si estos inciden en el nivel de uso del TC, y si es así, en qué medida lo hacen. De esta forma, se podrá definir cuál de las 3 macro variables está incidiendo más en la elección modal de la PEA de Mexicali.

Dependiendo de la naturaleza de las variables existen distintos índices estadísticos para estudiar la asociación, así, en el caso de contar con dos variables de tipo cualitativo (categórico), la metodología más utilizada para definir si existe o no relación es el índice de correlación ji-cuadrado χ^2 así como la significancia, por lo general al 95%, mientras que el coeficiente de contingencia de Cramer V se utiliza para dimensionar la relación en caso de haberla.

Por otro lado, cuando se trabaja con dos variables cuantitativas, la metodología sugerida es el cálculo coeficiente de correlación de Pearson R, y al igual que en el caso de las variables cualitativas, la significancia o P Valor al 95%. Así mismo, el coeficiente de correlación de Spearman es también utilizado cuando dentro de los datos existen algunos valores atípicos máximos o mínimos que pueden afectar drásticamente los resultados del análisis de Pearson.

Así, primeramente se realiza un cruce de variables para comprender la relación que existe entre el uso del TC para desplazarle al trabajo y la densidad de red tanto en la zona residencial del usuario, como aquella correspondiente a su centro de trabajo.

Por otro lado, una segunda confrontación consiste en asociar para cada uno de los principales pares OD, las diferencias de tiempo de traslado entre transporte privado y colectivo, con el uso de este último.

Así mismo, la relación que pueda existir entre el uso del sistema de TC y la percepción que tiene la PEA sobre este se analiza en dos fases: primero un análisis de asociación de variables cualitativas y posteriormente una correlación cuantitativa para la percepción positiva y otra para la negativa.

La relación que pudiera tener el uso del sistema con el tipo de trabajo se lleva a cabo también en dos etapas. Primero un análisis cualitativo desagregado entre la variable categórica tipo de trabajo y la variable dicotómica uso del TC. Después, un análisis de correlación de Pearson utilizando los variables de porcentaje de usuarios de TC y porcentaje del tipo de trabajo por centroide laboral.

Por último, la densidad de población y su relación con el uso del TC, al igual que en las asociaciones anteriores, se analiza primero categorizando la densidad en 3 niveles aplicando el test ji-cuadrado con variable dicotómica del uso del sistema, posteriormente, se hace lo propio contrastando ambos valores de cada sección residencial en un análisis de correlación.

Una vez caracterizado el nivel de relación e incidencia que tienen estos indicadores en el uso del sistema, se hace un estudio comparativo para definir cuál de las tres macro variables está incidiendo mayormente en el estado actual del transporte colectivo de la ciudad de Mexicali.

Capítulo 5. Resultados

5.1 Delimitación de unidades territoriales e identificación de derroteros de rutas de TC

Utilizando la información del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) se detectaron las áreas de la ciudad donde se concentran la mayoría los empleos. Así, se delimitaron 15 centroides laborales que concentran la mayoría de empleos de Mexicali, lo cuales están ubicados en distintas áreas de la mancha urbana por lo que no se aprecia una centralidad definida. A partir de esto se deduce que la ciudad de Mexicali presenta una estructura hasta un cierto grado policéntrica, con centros de atracción de viajes distribuidos en gran parte de la ciudad.

En cuanto a los sitios de los hogares de la PEA, se dividió la zona urbana de Mexicali en 8 zonas residenciales, todas ellas con geometrías irregulares. 4 de estas zonas (1, 2, 4 y 7) se ubican en la parte central de la mancha urbana, y son donde se concentran 12 de los 15 centroides laborales.

Por otro lado, fueron identificadas 24 rutas de TC operadas por 11 empresas distintas y se detectó una propagación de rutas y traslapes en varios tramos de la red. Esto coincide con lo expuesto por Iracheta (2011) respecto a la proliferación de rutas desordenadas en las ciudades mexicanas, y con lo indicado por Medina y Veloz (2012a) que indican que el transporte público en México suele trabajar mediante concesiones individuales y la organización de define en cada ruta. Esta situación puede ocasionar que en dichos taramos exista una sobre oferta y por lo tanto, los factores de carga a nivel de ocupación no sean los óptimos.

La Figura 5.1 muestra la ubicación de los 15 centroides laborales y las 8 zonas residenciales, así como los trazados de las 24 rutas de TC.

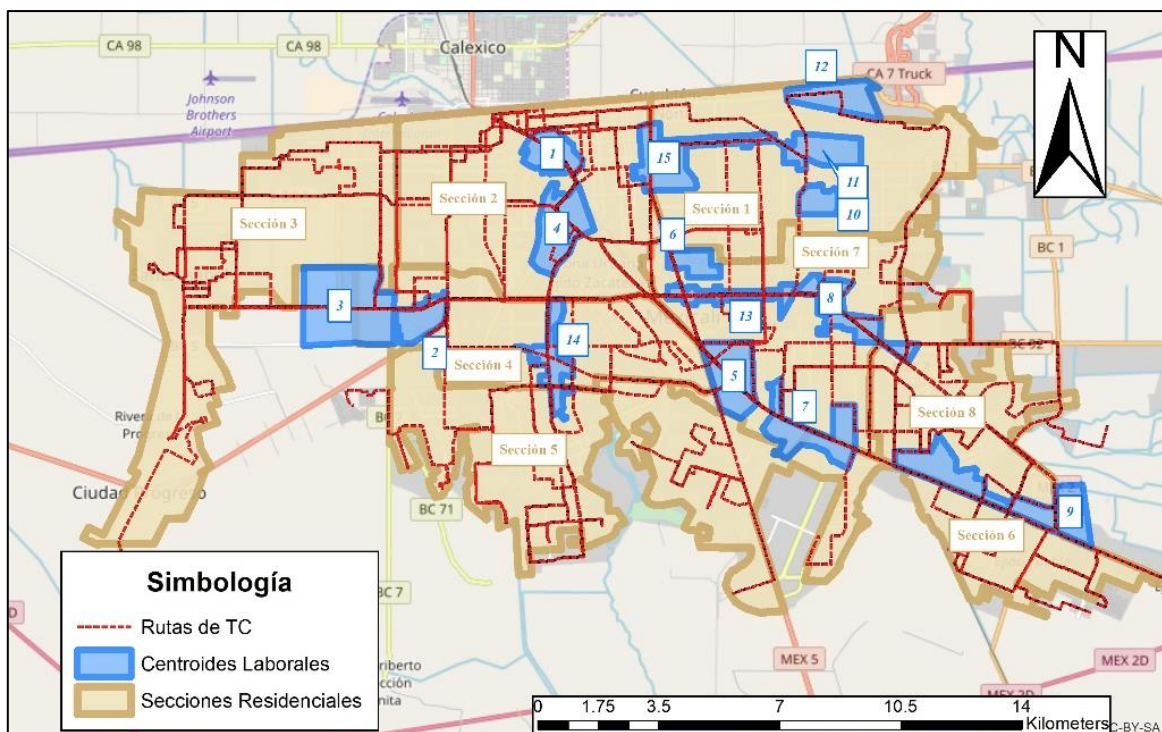


Figura 5.1. Centroides laborales, secciones residenciales y rutas de TC identificadas

5.2 Indicador objetivo: uso del TC para desplazarse al trabajo

Los resultados de la encuesta indican que el uso del TC es del 20.93% para desplazamientos por fines laborales, mientras que el Plan Maestro de Vialidad y Transporte de Mexicali 2011 (IMIP & SIMUTRA, 2011) establece que el uso del transporte público es del 8.9% para la totalidad de los desplazamientos. Esta diferencia puede estar asociada a dos cosas, la primera a que el mayor uso del TC es por desplazamientos por fines laborales, y segundo, a que en general se ha presentado un incremento en el uso del mismo.

En los destinos laborales el porcentaje de utilización no presenta una distribución uniforme y oscila de 3.8% en el centroe 6, a 44.3% en el 1. Al considerar la distribución de la PEA en las distintas zonas de concentración de empleos de la mancha urbana, resulta que el numero 7 atrae aproximadamente el 17% de los traslados RT de la ciudad, y por lo tanto, atrae casi una cuarta parte de los traslados en TC con fines laborales. Por otro lado, en los orígenes de los traslados RT tampoco se observa un comportamiento uniforme ya que los porcentajes oscilan de 17% en la sección 1, a 46% en la 3 (ver Tabla 5.1).

Tabla 5.1. Porcentaje de uso del TC por centroide laboral y sección residencial

Centroides Laborales	No	1	2	3	4	5	6	7	8
	%	44.3	28.6	22.2	15.1	12.3	3.8	29.6	15.3
	No	9	10	11	12	13	14	15	
	%	21.1	26.1	14.8	18.5	20.7	2.4	24.8	
Secciones residenciales	No	1	2	3	4	5	6	7	8
	%	17.01	22.89	45.98	18.03	25.37	24.87	12.46	26.09

5.3 Indicadores de la macro variable Sistema de Transporte (T)

5.3.1 Densidad de red de TC

Considerando un área de cobertura de 200 metros a cada lado del eje de la ruta de TC, se obtiene que la ciudad de Mexicali cuenta con una densidad de red de 56.71%. Dicho valor contrasta con lo indicado en el Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Mexicali (IMIP, 2007) que establece una cobertura de 90% , y que de esta, el 92% cuenta con una estación en un rango de 300 metros. Esta diferencia de 100 metros en la consideración de la distancia que una persona está dispuesta a caminar para abordar un autobús, es la que ocasiona que las diferencias en cobertura sean tan considerables.

La distribución de la densidad de red en el caso de las secciones residenciales entrega una cobertura promedio de 56.71% con una desviación estándar de 10.12 puntos porcentuales. Esto indica que la cobertura espacial de la red de TP en las secciones no es uniforme dentro de la mancha urbana, habiendo casos en las que apenas se alcanza el 39% de cobertura y otras en las que supera el 71%. Mientras tanto, en los centroides laborales se tiene una densidad de red promedio de 57.74%, con una desviación estándar de 23.13%, habiendo casos en los que la densidad es superior al 90% y otros en las que es menor al 25% (ver Tabla 5.2).

Las secciones residenciales que están en la franja central este-oeste presentan las densidades de red más favorables, mientras que en las áreas más distantes al centro geográfico de la mancha urbana, específicamente las secciones 1 en el noreste y 3 en el oeste, exhiben las densidades más bajas. En lo que corresponde a los centroides laborales, se aprecia

una mejor cobertura en aquellos que están más cercanos al centro geográfico de la ciudad, a excepción del centroide 6, el cual a pesar de estar en la parte más céntrica de la ciudad tiene la peor densidad de red de todas con apenas 22.6%. Así mismo, resalta que los centroides con las densidades de red más altas, 8, 13 y 14, están relacionados con dos de las vialidades más importantes de la ciudad como lo son Blvd. Lázaro Cárdenas y Blvd. Anáhuac y los tres tienen una configuración estrecha y alargada.

Al analizar las densidades de las secciones y de los centroides laborales ubicados dentro de las mismas resaltan dos fenómenos en particular. Por un lado, la sección 7 presenta una cobertura bastante aceptable en su totalidad así como en la mayoría de los centros laborales que alberga sin embargo, el centroide 6 ubicado en esta misma sección, tiene la cobertura más baja de todos con apenas el 22.6%. Por otro lado, en la sección 1 se presenta un escenario contrario, ya que concentra gran cantidad de centros laborales, pero la cobertura de transporte es de 39.26%, siendo esta la menor de toda la mancha urbana y así mismo, la cobertura en los centros laborales de esta sección está por debajo del promedio (ver Figura 5.2). Este fenómeno, además de detectar claras áreas de oportunidad para mejorar la cobertura, exhibe una incongruencia entre una estructura urbana dispersa y una planeación del transporte con rutas diseñadas para una estructura centralizada.

Tabla 5.2. Densidad de Red de Transporte Público

Centroides Laborales				Secciones Residenciales			
ID	Área Total (km ²)	Área de Red (km ²)	Dens. red (%)	ID	Área Total (km ²)	Área de Red (km ²)	Dens. red (%)
1	1.15	0.75	64.89	1	26.14	10.27	39.26
2	0.98	0.57	58.58	2	27.58	16.67	60.45
3	3.95	1.16	29.45	3	30.05	14.88	49.54
4	1.96	1.22	61.96	4	17.71	11.55	65.26
5	1.81	1.37	75.82	5	16.90	10.23	60.54
6	0.65	0.15	22.60	6	25.14	13.82	54.99
7	1.87	1.08	57.49	7	24.52	15.49	63.15
8	1.65	1.47	88.73	8	15.62	11.24	71.91
9	3.15	1.79	56.73	Total	183.66	104.15	56.71
10	0.61	0.15	24.55				
11	1.31	0.45	34.57				
12	1.33	0.78	58.56				
13	0.93	0.88	94.68				
14	1.21	1.10	90.62				
15	2.13	1.35	63.33				
Total	24.69	14.25	57.74				

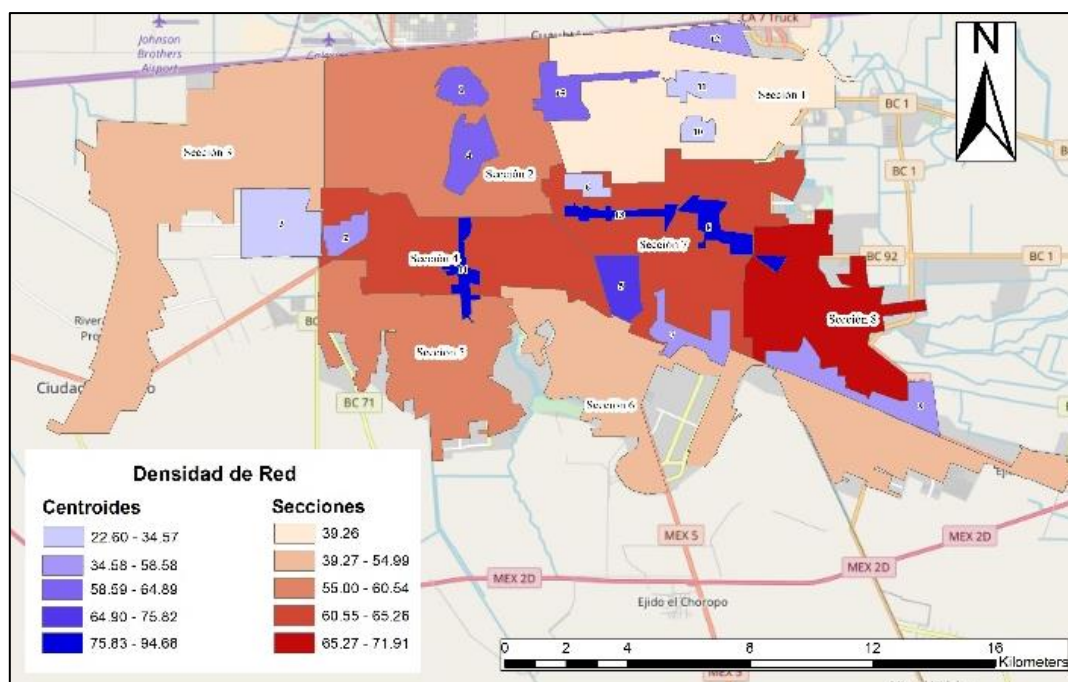


Figura 5.2. Densidad de red de centroides laborales y secciones residenciales

5.4 Indicadores de la macro variable Estructura de Flujos (F)

5.4.1 Diferencias de tiempo de traslado por modalidad

A fin de que el análisis del indicador de tiempos de traslado sea lo más inclusivo posible, se busca que los pares OD identificados como principales representen no menos de la mitad de los traslados RT de la ciudad de Mexicali. Así, se analizan los 120 pares OD del área de estudio y se determina que con considerar aquellos 26 donde más se registran desplazamientos, se incluyen en el análisis el 58% del total de los mismos. Por otro lado, a partir del par 27 en adelante, se reportan cada vez menos casos de individuos por par OD, y por lo tanto, el cálculo del tiempo promedio de viaje para estos podría no ser preciso al no contar con una muestra representativa de datos.

La Tabla 5.3 muestra los 26 pares OD seleccionados en orden de mayor a menor interacción, así como sus respectivos tiempos promedio de traslado en ambos modos. En esta se puede apreciar como las diferencias de tiempo son muy variables, y mientras hay pares en las que estas exceden los 20 minutos, en otros es menor a 5.

Tabla 5.3. Porcentaje de uso del TC por centroide laboral y sección residencial

Pares O-D		% de interacción, respecto al 58%	Tiempo de traslado promedio (min.)		Diferencia de tiempo (min.)
Sección (origen)	Centroide (destino)		Transporte Colectivo	Transporte particular	
7	4	6.75	35.86	21.45	14.40
6	9	6.65	16.36	11.99	4.37
7	7	6.65	34.25	21.24	13.01
8	9	6.00	13.46	8.98	4.49
6	7	5.25	38.46	20.33	18.13
7	12	5.04	50.33	23.80	26.54
8	7	4.61	33.05	23.58	9.46
4	4	4.18	30.50	15.44	15.06
5	4	4.07	37.06	21.87	15.20
1	4	3.97	24.20	18.45	5.75
2	12	3.75	42.14	26.96	15.18
7	8	3.64	15.25	13.94	1.31
2	4	3.54	25.00	15.19	9.81
4	7	3.54	42.96	21.12	21.84
2	7	3.32	44.05	21.80	22.25
1	12	3.22	45.50	20.58	24.92
4	12	3.00	52.75	28.42	24.33
7	5	3.00	23.00	18.77	4.23
1	7	2.89	39.36	22.91	16.46
7	15	2.89	36.50	24.34	12.16
8	15	2.57	37.93	38.47	-0.54
2	15	2.47	21.58	19.76	1.82
7	11	2.47	20.17	12.93	7.24
7	13	2.25	32.83	20.81	12.03
4	15	2.14	34.25	24.00	10.25
8	8	2.14	18.36	15.19	3.16

Resalta que el centroide 7 tiene una fuerte relación con la mayoría de las zonas residenciales, con una excepción en las zonas 3 y 5, y por otro lado, la sección 3 tiene un índice bajo de generación de desplazamientos y con muy poca frecuencias por lo que no se consideró en ninguno de los pares OD definidos, además esta sección cuenta con la cobertura de red más baja.

Por otro lado, es importante mencionar que de acuerdo al Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Mexicali (IMIP, 2007), el tiempo de traslado medio de viaje en transporte público para la ciudad de Mexicali es de 23 minutos, tiempo menor al obtenido en esta investigación que entregó un tiempo de traslado medio por viaje de alrededor

de 30 minutos. Este aumento en el tiempo de los desplazamientos puede estar asociado al crecimiento de la ciudad y el parque vehicular particular.

5.4.2 Percepción del servicio de TC

Los resultados mostrados en este apartado se refieren al 20.93% de usuarios del TC más el 13.53% de usuarios que no utilizan este medio para sus desplazamientos laborales pero lo consideran para otro tipo de desplazamientos. Así, el 46.17% perciben al servicio del TC como regular, el 22.55% lo considera de buena o excelente calidad, mientras que el 31.28% opina lo contrario, mostrando una mala o pésima percepción (ver Figura 5.3).

La opinión de los usuarios es semejante a la que se tiene en la ciudad de Hermosillo, Sonora, similar en términos de población y extensión a Mexicali, y en donde el 55% de los usuarios considera al servicio de transporte público como regular, el 30% excelente o bueno, y 15% malo (Morales Morales, Burgos Flores, Valenzuela Barreras, & López Montellano, 2016). Por otro lado, los resultados contrastan con la ciudad de México, en donde el 67% de los usuarios de transporte público lo consideran incómodo (El Poder del Consumidor, 2011) y a pesar de esto, el porcentaje de viajes en esta modalidad es mucho mayor. Esto representa un área de oportunidad para Mexicali, ya que la percepción no es tan negativa como en otras ciudades del país.

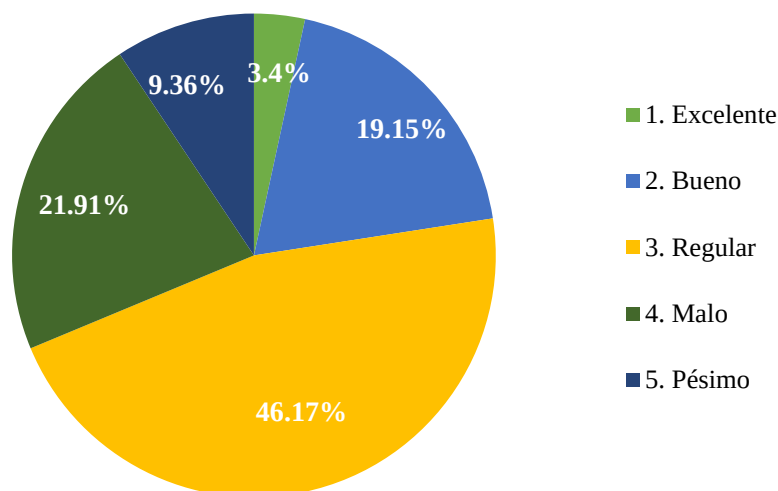


Figura 5.3. Distribución de la percepción del servicio de TC

Considerando la baja utilización del TP en la ciudad de Mexicali, se esperaría que la percepción del servicio fuera en general mala, ya que como indican (Polydoropoulou, Garcia, & Litinas (2009), la satisfacción/percepción/valoración es el principal factor para atraer usuarios al sistema sin embargo, el hecho de que casi el 50% de los usuarios manifiestan una percepción regular, podría indicar que en la ciudad de Mexicali el uso del TP no solo depende del nivel de servicio (LOS) que experimentan los usuarios, y otros factores que tienen que ver con la oferta de movilidad en otros modos, específicamente el vehículo particular (Redman et al., 2013), así como las características sociodemográficas pueden estar jugando un papel importante en el indicador de uso del TP.

Las principales razones por las que los usuarios manifestaron una percepción buena o excelente del servicio son comodidad, tecnologías e incluso hubo quienes manifestaron tener una buena percepción por la calidad del servicio en general. Por otro lado, quienes tienen una mala o pésima percepción del servicio de TC, lo consideran así por la misma razón antes expuesta: mala calidad del servicio en general. Esto resulta interesante, ya que tanto aquellos usuarios que tienen una percepción positiva del sistema, como quienes no la tienen, en muchos casos es así debido a una valoración general del sistema y no por una característica en específico. La mayor percepción regular de casi el 50% hace parecer que el nivel de servicio del sistema no es del todo malo sin embargo, la presencia de resultados tan polarizados hace necesario hacer un análisis más desagregado que permita obtener mejores conclusiones.

5.5 Indicadores de la macro variable Sistema de Actividades (A)

5.5.1 Tipo de trabajo

Uno de los enfoques utilizados para analizar sistemas de transporte se basa en una desagregación por categorías, la cual analiza los patrones de viajes por grupos de individuos (Church et al., 2000; Pritchard et al., 2014; Roa et al., 2013). Al estar analizando los traslados RT de la PEA de Mexicali, las categorías que se identifican para llevar a cabo este tipo de análisis tienen que ver con el tipo de trabajo de los usuarios del sistema de transporte. Así, se

obtienen 4 categorías de “Tipo de Trabajo”: industrial, comercial, servicios y actividades Gubernamentales.

Del total de trabajadores encuestados, la mayoría indicó que su empleo estaba en el sector industrial con un 42.04%, posteriormente el tipo de trabajo más recurrente fue de servicio con un 24.2%. Los trabajos comerciales representaron el 18.4% de la muestra, y solo el 14.94% correspondía al sector gubernamental (ver Tabla 5.4).

Tabla 5.4. Tipo de trabajo de la PEA encuestada

Tipo de Trabajo	Cantidad	Porcentaje
1 Industrial	681	42.04%
2 Comercial	298	18.40%
3 Servicios	392	24.20%
4 Actividades Gubernamentales	242	14.94%
No especificado	7	0.43%
Total	1620	100.00%

En la Tabla 5.5 se muestra la distribución de los tipos de empleos de los individuos entrevistados en los distintos centroides laborales previamente delimitados. Así, es posible también definir si existe un tipo de trabajo predominante en cada centroide y si es así, identificarlo.

Tabla 5.5. Distribución de tipos de trabajo por centroide laboral

Centroide	Industrial	Comercial	Servicios	Act. Gub.	Tipo de trabajo predominante
1	0.00%	78.69%	21.31%	0.00%	Comercial
2	41.07%	51.79%	7.14%	0.00%	Comercial/industrial
3	0.00%	13.33%	86.67%	0.00%	Servicios
4*	0.37%	8.46%	29.04%	59.56%	Act. Gubernamentales
5	47.17%	33.02%	10.38%	9.43%	Industrial
6	0.00%	0.00%	80.77%	19.23%	Servicios
7	92.70%	0.36%	3.28%	3.65%	Industrial
8	30.63%	32.43%	26.13%	10.81%	Indust. / Comer. / Serv.
9	65.84%	32.92%	1.24%	0.00%	Industrial
10	89.13%	0.00%	10.87%	0.00%	Industrial
11	0.00%	31.48%	64.81%	3.70%	Servicios
12	92.86%	0.60%	5.95%	0.60%	Industrial
13	1.72%	17.24%	75.86%	5.17%	Servicios
14	4.88%	29.27%	14.63%	51.22%	Act. Gubernamentales
15	9.22%	19.15%	60.28%	11.35%	Servicios

*En el centoride 4 hay 7 casos que no especificaron el tipo de trabajo, lo que representa el 2.57% del mismo

En la mayoría de los centros de concentración de empleo (13 de 15) es posible identificar el tipo de trabajo predominante sin embargo, en los centroides 2 y 8 no se aprecia una tendencia marcada hacia alguno, en ambos casos existe una distribución equitativa entre los empleos de tipo industrial y comercial, e incluso de servicios en el centoride 8. Por otro lado, resalta que solamente en el centoride 1 existe una clara predominancia de trabajos comerciales.

5.5.2 Densidad poblacional

Las secciones residenciales fueron delimitadas buscando que en todas hubiera una cantidad similar de habitantes. En ese sentido, las densidades de población de cada una de las secciones resultantes varían dependiendo de la dimensión configuración espacial de las mismas (ver Tabla 5.6).

Las secciones con la concentración de habitantes más elevadas son la 4, 5 y 8, todas ellas con densidades superiores a los 50 hab/ha. Las primeras dos se ubican en la parte centro-sur de la ciudad, mientras que la última en el extremo este. Por otro lado, las secciones 1, 2, 6 y 7, representan más del 56% de la extensión del a mancha urbana y cuentan con densidades medias entre 35 y 39 hab/hab. Por último, la sección 3 ubicada en el extremo oeste de la ciudad cuenta con la densidad más baja menor a 31 hab/ha (ver Figura 5.4).

Tabla 5.6. Densidad de población de las secciones residenciales

Sección	Población (hab)	Área (ha)	Densidad de población (hab/ha)
1	93,832	2,614.5	35.9
2	96,794	2,758.3	35.1
3	92,981	3,004.7	30.9
4	93,897	1,770.7	53.0
5	96,086	1,689.7	56.9
6	96,900	2,513.5	38.6
7	87,220	2,452.2	35.6
8	91,610	1,562.4	58.6
TOTAL	749320	18366.0	40.8

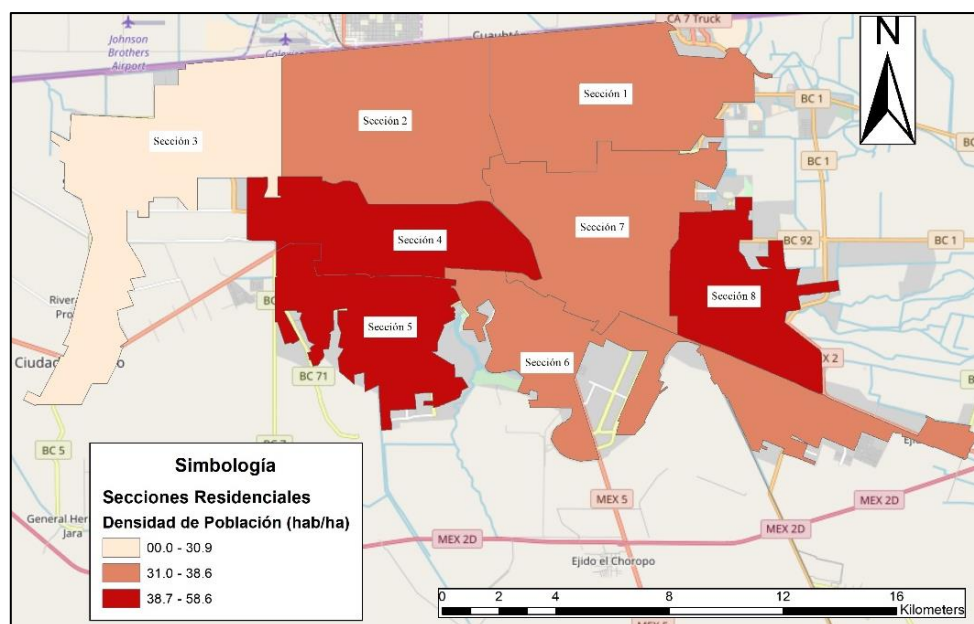


Figura 5.4. Distribución de la densidad de población de las secciones residenciales

Por último, se obtuvo también la densidad poblacional promedio de la ciudad, la cual es de 40.8 hab/ha., un valor muy por debajo del establecido por Medina y Veloz (2013), que sugieren que la implementación de sistemas de transporte masivo se vuelve inviable en ciudades que han alcanzado densidades menores a 100 hab/ha.

5.6 Asociación del Transporte Colectivo con la macro variable Sistema de Transporte

5.6.1 Uso del TC – Densidad de red

Para determinar si la cobertura de la red de transporte público medida a través del indicador de densidad de red, influye para que la PEA decida trasladarse el trabajo en TC, se lleva a cabo un análisis estadístico desde distintos enfoques.

Ya que la variable densidad de red está en función de toda una sección o centroide laboral y no es particular para cada individuo, el análisis cualitativo (uso del TC) – cuantitativo (densidad de red) para toda la base de datos, aunque entrega datos interesantes sobre tendencias y distribuciones, también puede llevar a conclusiones erróneas debido a que los máximos y mínimos, y por tanto el rango de la distribución, son iguales en ambos grupos,

tal y como se observa en la Figura 5.5. Así, la distribución de trabajadores encuestados que utilizan el TC para desplazarse al trabajo tiene una mediana de 60.5% de densidad de red residencial y una moda de 54.98%, mientras que el grupo que no utiliza el TC tiene una mediana y moda de 63.15 en ambos casos. En el caso de los sitios de trabajo, se observa una concentración de la mitad de los datos entre un 57.49% y 63.33%, con una ligera discrepancia en la tendencia central entre quienes utilizan el TC y quiénes no.

Para profundizar mejor en el entendimiento de la relación entre estas variables se procede a hacer análisis desde dos aproximaciones: por un lado, categorizando la densidad de red, tanto en secciones residenciales como en centroides laborales, para llevar a cabo un test de chi-cuadrada con la variable dicotómica de uso del TC y por otro, cuantificando esta para cada delimitación territorial y poder hacer una correlación de Pearson.

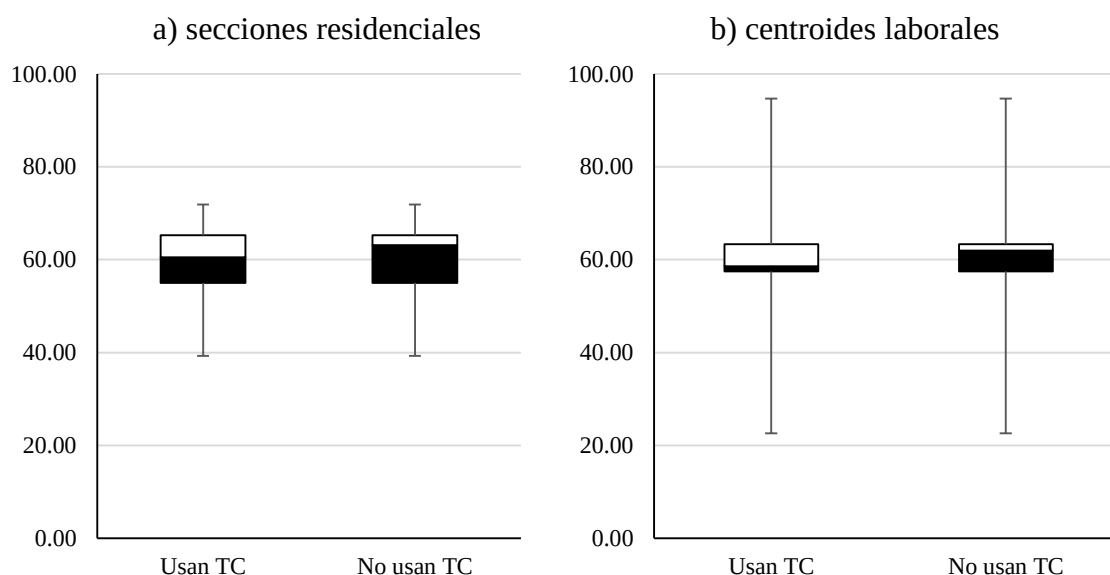


Figura 5.5. Distribución de densidades de red entre grupos de trabajadores que utilizan y no utilizan el TC en a) secciones residenciales y b) centroides laborales

5.6.1.1 Análisis mediante categorización de densidades de red

Para el primero de estos, se generaron 3 categorías de densidad de red considerando los cuartiles de la distribución de esta variable en todos los trabajadores encuestados tal y como se muestra en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7. Categorización de densidades de red residenciales

Distribución	Densidad de red	Categoría
Máximo	71.9 %	Densidad de red alta
Cuartil 3	65.3 %	Densidad de red media
Mediana	60.5 %	
Cuartil 1	55.0 %	Densidad de red baja
Mínimo	39.3 %	

Así se genera una tabla de contingencias de 3 x 2 y se calcula el índice ji-cuadrado para determinar algún tipo de relación, el cual entrega un valor $\chi^2 = 16.57$, con un valor crítico de 5.99 al 95% de confianza y un Valor P de significancia de 0.0003 con 3 grados de libertad (ver Tabla 5.8). Ya que el resultado supera al valor crítico y el Valor P es menor al 0.05, existe evidencia significativa para rechazar la hipótesis nula de independencia y establecer que existe algún tipo de relación entre ambas variables. Para determinar la intensidad de esta relación se calcula el coeficiente de contingencia de Cramer, obteniendo un valor $V = 0.10$, el cual indica que el nivel de asociación es bajo³.

De la misma tabla es posible apreciar que tanto en la categoría de densidad baja, como en alta, la cantidad de usuarios de TC representa aproximadamente el 25%, mientras que en la categoría de densidad media, los usuarios de TC son apenas 17%. En ese sentido, es la categoría de densidad media la responsable del nivel de significancia del análisis. Esta situación y los resultados antes presentados, si bien permiten rechazar la hipótesis nula de independencia, no permite obtener una conclusión sustancial para la hipótesis alternativa que explique de mejor manera la relación, si es que existe.

Tabla 5.8. Asociación categoría de densidad de red de sección residencial - uso de TC

Densidad de Red Sección Residencial	Uso de TC para ir al trabajo		Total general
	Si	No	
Alta	48 (26%)	136 (74%)	184
Media	120 (17%)	600 (83%)	720
Baja	168 (25%)	511 (75%)	679
Total general	336	1247	1583
p valor al 95% de confianza y 3 grados de libertad = 0.003		χ^2 experimental = 16.57 χ^2 crítico = 5.99 V de Cramer = 0.10	

³ El coeficiente V de Cramer oscila entre 0 (independencia) y 1, de modo que cuanto más próximos a 1 sean los valores, ello indicará mayor intensidad en la asociación de las variables.

Tabla 5.9. Categorización de densidades de red residenciales

Distribución	Densidad de red	Categoría
Máximo	94.68 %	Densidad de red alta
Cuartil 3	63.33 %	Densidad de red media
Mediana	58.58 %	
Cuartil 1	57.49 %	
Mínimo	22.60 %	Densidad de red baja

En el caso de los sitios laborales, la distribución de densidades de red proporciona información para generar 3 categorías como se muestra en la Tabla 5.9. El estudio en los centroides laborales entrega un ji-cuadrado experimental $\chi^2 = 2.82$ mientras que el valor crítico para un nivel de confianza de 95% es de 59. Así mismo, la significancia entrega un P Valor de 0.25 y el coeficiente de Cramer es apenas 0.04 (ver Tabla 5.10). Así, se mantiene la hipótesis nula que establece que el uso de TC no está relacionado por el nivel de densidad de red en los centros laborales.

Tabla 5.10. Asociación categoría de densidad de red de centriode laboral - uso de TC

Densidad de Red Centroide Laboral	Uso de TC para ir al trabajo		Total general
	Si	No	
Alta	70	307	377
Media	204	707	911
Baja	65	267	332
Total general	339	1281	1620
p valor al 95% de confianza y 3 grados de libertad = 0.24		χ^2 experimental = 2.82 χ^2 crítico = 5.99 V de Cramer = 0.04	

5.6.1.2 Análisis por delimitaciones territoriales

Para el análisis cuantitativo de la asociación Densidad de red – uso del TC se comparan ambos indicadores por delimitación territorial. Primero se hace el análisis para la sección de residencia de la PEA y posteriormente en los sitios de trabajo.

En cuanto a la sección residencial, el análisis entrega un coeficiente $r=-0.18$ para las 8 secciones, con una significancia de 0.66 al 95%, por lo que a primera instancia no es posible rechazar la hipótesis nula de independencia aceptando que “la distribución de los usuarios de TC es independiente de la distribución de densidades de red residencial” (ver Tabla 5.11).

Tabla 5.11. Correlación densidad de red de sección residencial – uso del TC

Sección residencial	Densidad de red (%)	Uso de TC (%)
1	39.26	17.01
2	60.45	22.89
3	49.54	45.98
4	65.26	18.03
5	60.54	25.37
6	54.99	24.87
7	63.15	12.46
8	71.91	26.09
Significancia 95%	R de Pearson	Corr. Spearman
0.6636	-0.1835	0.0000

Para evitar que los valores máximos de la distribución incidan en el indicador de asociación, se calcula la correlación mediante el coeficiente de Spearman. Así podremos observar si la sección 7 con muy pocos usuarios de TC a pesar de tener una densidad de red aceptable, así como la sección 3 con muy baja densidad y muchos usuarios de TC, son las causantes de que el coeficiente de Pearson no exhiba relación entre las variables. El análisis de Spearman ya no entrega un resultado negativo sin embargo, el coeficiente es 0.00, por lo que no exhibe relación en las variables. En ese sentido es necesario analizar la significancia de cada sección y determinar si existen casos particulares que deban analizarse desde otra perspectiva.

Para detectar los casos particulares se lleva a cabo un análisis comparativo, el cual exhibe ciertas incongruencias con la hipótesis alternativa al identificar 2 zonas (4 y 7) con densidades por arriba del promedio y muy pocos usuarios del sistema, y al mismo tiempo, 2 zonas (3 y 6), con gran cantidad de usuarios y densidades bajas (ver Figura 5.6 y 5.7).

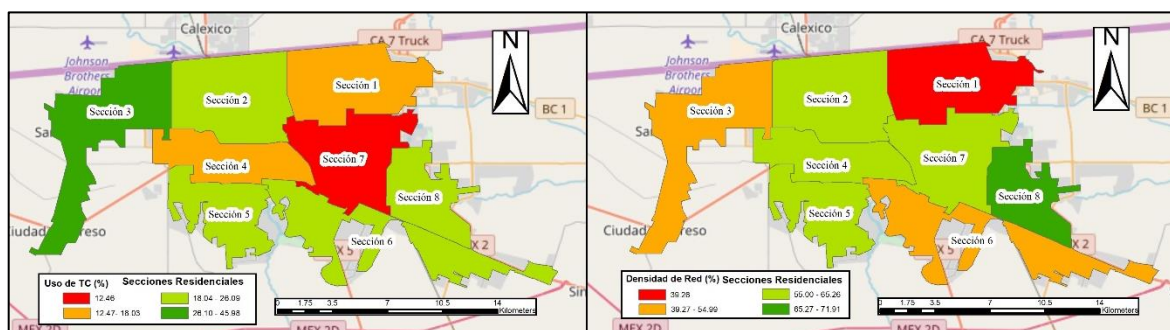


Figura 5.6. Comparación uso de TC y densidad de red en secciones residenciales

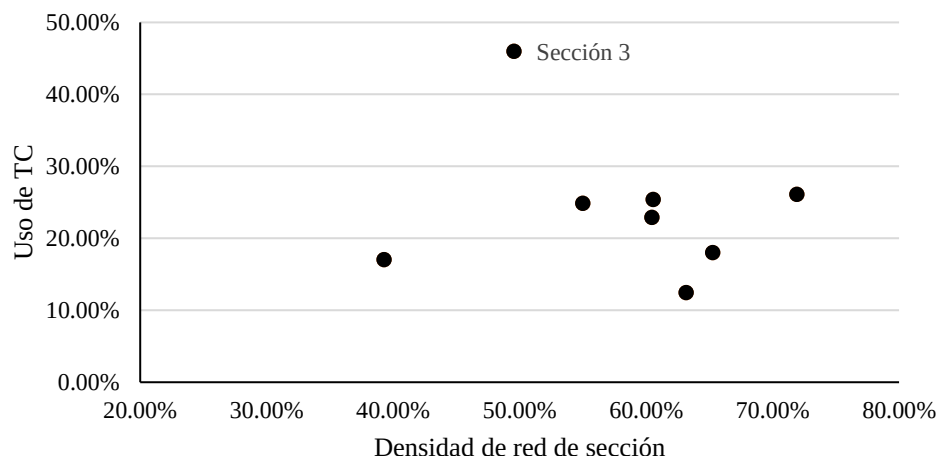


Figura 5.7. Densidad de red de sección residencial - uso de TC

De la Figura 5.7 resalta entre todas la sección número 3 al estar fuera de la tendencia y es la que hace que el valor R sea negativo (-0.18). En esta se presenta la segunda peor densidad de red con apenas 49.5% a pesar de ser la que tiene el porcentaje más alto de uso del TC con un 45% sin embargo, solamente el 5.4% de los traslados provienen de esta sección, lo que explicaría la poca cobertura ofertada. Así mismo, esta sección se ubica en el extremo oeste de la mancha urbana y en términos generales la población que reside en esta zona es de ingresos bajos, por lo que el alto uso del TC puede ser explicado por los aportes de Eibenschutz y Goya (2009), Iracheta (2012) y Sobrino (2006), quienes indican que la población que reside en las periferias de las ciudades de México suele ser de bajos ingresos, con carencias de acceso a servicios básicos y no pueden adquirir un automóvil.

Una vez establecido este fenómeno como un caso particular, se procede a hacer un nuevo análisis excluyendo la sección tres. Así, se obtiene un coeficiente de Pearson $R = 0.26$, el cual exhibe una relación entre la densidad de la zona residencial y el uso del TC en todas las demás zonas. Por otro lado, el P Valor a un 95% es de 0.56, por lo que esta relación solo es verdad aproximadamente la mitad de las veces (ver Tabla 5.12). Esto nos indica que existen también otros factores que inciden en el uso del TC, y no solo la densidad de red de la zona de residencia del trabajador. En cuanto al coeficiente de Spearman, es aún mayor que el de Pearson, ya que entrega casi un 0.29. Esto confirma lo establecido anteriormente, y es que existe una relación entre el uso del TC y la densidad de red, sin embargo, esta no es fuerte y el comportamiento de la PEA es también explicado por otras variables.

Tabla 5.12. Correlación densidad de red de sección residencial – uso de TC, sin considerar la sección 3.

Sección residencial	Densidad de red (%)	Uso de TC (%)
1	39.26%	17.01%
2	60.45%	22.89%
4	65.26%	18.03%
5	60.54%	25.37%
6	54.99%	24.87%
7	63.15%	12.46%
8	71.91%	26.09%
Significancia 95%	R de Pearson	Corr. Spearman
0.5667	0.26438	0.2857

Por otro lado, el estudio de la correlación entre la densidad de red de los centros laborales y el uso del TC entrega un coeficiente de correlación de Pearson $r = -0.068$, con una significancia de 0.8 al 95%. Así mismo, la correlación de Separan es muy similar, con un coeficiente de -0.14 (ver tabla 5.13). Por lo tanto, no es posible rechazar la hipótesis nula de independencia y por el contrario, se establece que "la distribución de los usuarios de TC es independiente la distribución de densidades de red de su sitio de trabajo".

Tabla 5.13. Correlación Densidad de Red Centroide Laboral – Uso del TC

Centroide Laboral	Densidad de red (%)	Uso de TC (%)
1	64.89%	44.26%
2	58.58%	28.57%
3	29.45%	22.22%
4	61.96%	15.07%
5	75.82%	12.26%
6	22.60%	3.85%
7	57.49%	29.56%
8	88.73%	15.32%
9	56.73%	21.12%
10	24.55%	26.09%
11	34.57%	14.81%
12	58.56%	18.45%
13	94.68%	20.69%
14	90.62%	2.44%
15	63.33%	24.82%
Significancia 95%	R de Pearson	Corr. Spearman
0.8083	-0.0685	-0.1357

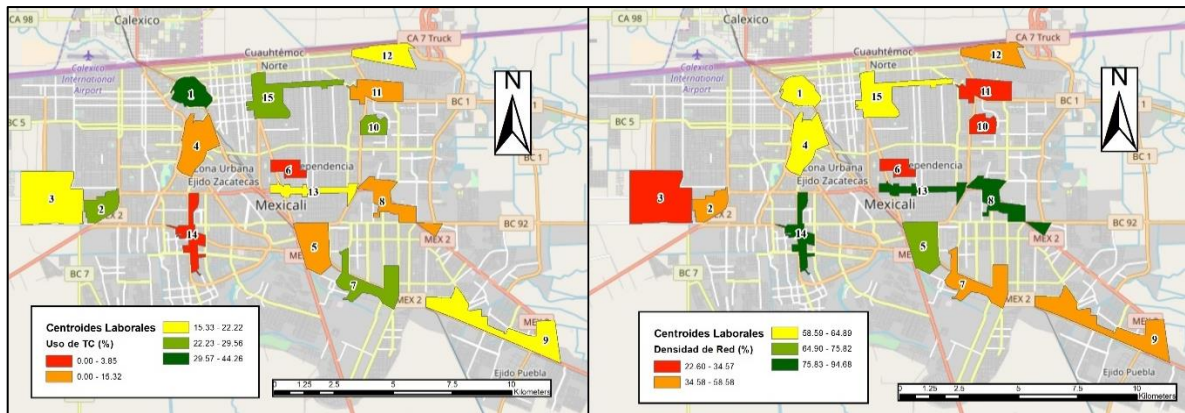


Figura 5.8. Comparación uso de TC y densidad de red en centroides laborales

En ese sentido, se hace un análisis comparativo para detectar como aporta cada centroide a la significancia de 0.8, y se detectan ciertas incongruencias con la hipótesis alternativa que establece una asociación positiva entre ambas variables. Por un lado, los centros de concentración de empleo con mejor cobertura, como lo son el 8, 13 y 14, tienen muy bajo uso del sistema, resaltando este último con una cobertura de más de 90% y solamente 2.44% de la PEA utilizando el TC para llegar a sus sitios de trabajo. Por otro lado, los centroides 2 y 10, a pesar de ser unos de los que más atraen traslados en TC con porcentajes de uso superiores al 26%, no cuentan con la mejor cobertura, e incluso el centroide 10 tiene la segunda densidad más baja de toda la ciudad con apenas 24.5% (ver Figura 5.8).

Por último, la Figura 5.9 muestra el comportamiento de ambas variables, por lo que se puede deducir, incluso a partir de un análisis exploratorio, que no existe relación alguna entre la densidad de red de los centros de trabajo y el uso del TC por parte de la PEA.

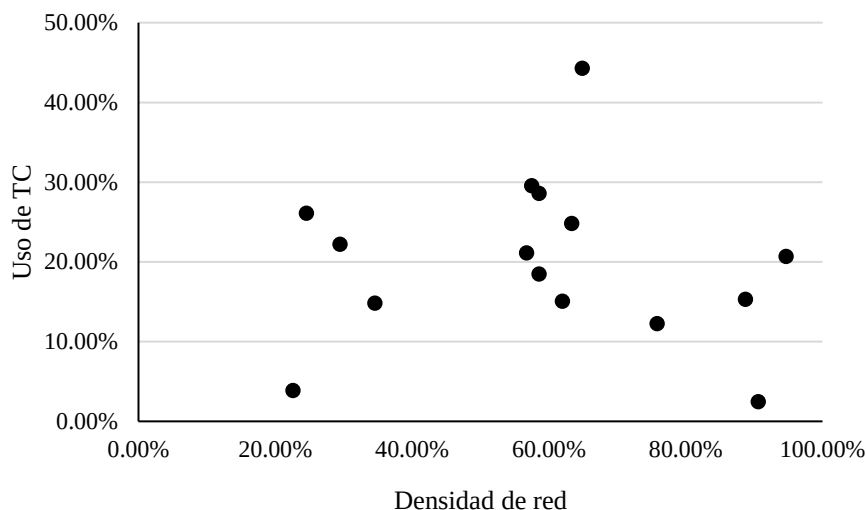


Figura 5.9. Densidad de red de centroide laboral - uso de TC

5.7 Asociación del Transporte Colectivo con la macro variable Estructura de Flujos

La estructura de flujos puede ser valorada desde distintos indicadores. Por un lado, un indicador cuantitativo es el tiempo de traslado entre los distintos puntos de la zona de estudio para cada una de las modalidades de transporte. Por otro, existen indicadores cualitativos que reflejan la variabilidad de la demanda de transporte, en este caso, se analiza la percepción del servicio que tienen los usuarios del sistema.

5.7.1 Uso del TC – Diferencia de tiempos de traslado

La influencia que tiene la diferencia de tiempos de traslado en vehículo particular y transporte colectivo en la decisión de utilizar este último, se examinó en 2 etapas. Primeramente un análisis estadístico el cual arrojó un coeficiente de correlación de Pearson $r = -0.048$ con un P Valor de significancia muy alto de 0.82 al 95%. Entendiendo que lo que se busca es más bien una tendencia y no una relación estrictamente lineal, se aplicó el cálculo de correlación de Spearman, el cual entrega un valor muy similar de -0.036 (ver Tabla 5.14).

Tabla 5.14. Correlación diferencia de tiempo de traslado entre vehículo particular y TC por par OD - uso de TC

Par O-D		Diferencia de tiempo (min.)	Uso de TC (%)
Sección (origen)	Centroides (destino)		
7	4	14.40	11.29%
6	9	4.37	22.58%
7	7	13.01	16.13%
8	9	4.49	23.64%
6	7	18.13	25.00%
7	12	26.54	6.38%
8	7	9.46	26.19%
4	4	15.06	7.69%
5	4	15.20	21.05%
1	4	5.75	13.89%
2	12	15.18	20.00%
7	8	1.31	5.88%
2	4	9.81	21.21%
4	7	21.84	36.36%
2	7	22.25	35.48%
1	12	24.92	17.24%
4	12	24.33	7.14%
7	5	4.23	7.14%
1	7	16.46	40.74%
7	15	12.16	18.52%
8	15	-0.54	30.43%
2	15	1.82	26.09%
7	11	7.24	13.04%
7	13	12.03	14.29%
4	15	10.25	30.00%
8	8	3.16	35.00%
R de Pearson			-0.0481
Significancia 95%			0.8155
Corr. Spearman			-0.0359

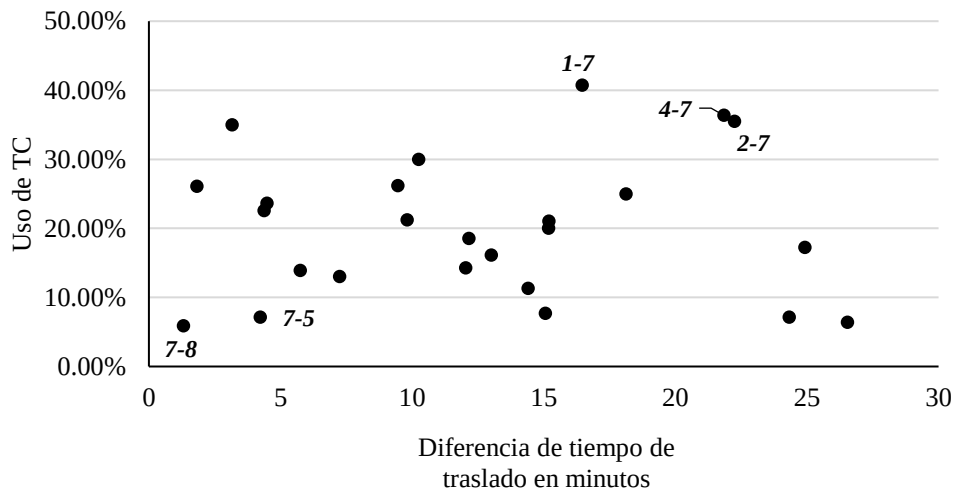


Figura 5.10. Diferencia de tiempo de traslado en par O-D - uso de TC

Debido a los resultado en los análisis de correlación, se lleva a cabo un estudio comparativo para detectar si hay centroides en particular que estén aportando en mayor medida a la significancia tan alta de 0.82 por lo tanto, deba evaluarse si su comportamiento pueda ser explicado por otras variables (ver Figura 5.10).

Por un lado, el centroide 9 tiene un alto índice de recepción de desplazamientos, ya que dos de los cuatro pares con mayor interacción lo tienen como destino (pares 6-9 y 8-9), en ambos casos la diferencia no excede 4.5 minutos y el uso del TC está por arriba de la media. Así mismo, todos los pares con destino en el centroide 12 presentan las mayores diferencias superando los 15 minutos y tienen porcentajes de uso del TC por debajo de la media, incluso el par 7-12 presenta la mayor diferencia de tiempos con poco más de 25 minutos y apenas 6.38% de uso del sistema, siendo además uno de los que reportó mayores desplazamientos.

Por otro lado, también se presentan casos de secciones residenciales y/o centroides que no están relacionado con la hipótesis alternativa que busca la relación de ambas variables. Los dos pares que tienen como destino el centroide 8 reportan diferencias de tiempo muy bajas sin embargo, el par 7-8 presenta una tasa de uso de TC muy baja de apenas (5.88% y 7.14% respectivamente).

Resalta que todos los pares que tienen como origen la sección 7 exhiben un baja utilización del servicio de TC, lo que podría tener lógica considerando que esta zona es por mucho, la que reporta menor uso del sistema en toda la ciudad sin embargo, en los pares 7-8 y 7-5 las diferencias de tiempo de traslado entre automóvil y autobús son muy bajas (1.3 y 4.2 minutos respectivamente), y aun así, el uso de este último es mínimo (5.88% y 7.14% respectivamente), por lo que parece que en esta sección, a pesar de la similitud en tiempos de traslado que pueda ofertar el TC respecto al particular, los usuarios optan siempre por el segundo. Por último, sobresale entre todos los casos el centroide 7, el cual como ya se explicó, tiene la mayor concentración de empleos de la ciudad (17%) y atrae una cuarta parte de los desplazamientos RT en TC así, en los pares 4-7, 2-7 y 1-7, a pesar de las considerables diferencias de tiempos, el uso del TC excede el 35%.

Por lo tanto, parece que la baja correlación y la significancia de 0.82 están siendo definidas en gran medida solamente por dos delimitaciones territoriales, la sección 7 y centroide 7, en las cuales el comportamiento de la PEA en relación al uso del TC está dado por circunstancias que tienen que ver con el sistema de actividades de la ciudad y no por el tiempo de traslado. En ese sentido, se lleva a cabo un análisis de correlación sin incluir los pares asociados a estas dos delimitaciones (7-8, 7-5, 4-7, 2-7 y 1-7) y se obtiene un coeficiente de Pearson $r = -0.6348$, con un valor de significancia de 0.00199 y una correlación de Spearman -0.6 (ver Tabla 5.15). Estos resultados permiten rechazar la hipótesis nula de independencia y aceptar la alternativa afirmando que: “salvo casos particulares, existe una relación significativa y negativa, entre la diferencia de tiempos de traslado y la decisión de trasladarse en TC”.

En términos generales, la asociación entre la diferencia de tiempos y el uso del TC indica que el primero influye para que los usuarios decidan trasladarse al trabajo en transporte público, sin embargo, no es este el único factor, ya que en los desplazamientos con origen en la sección 7 o con destino al centroide 7, parece haber otro factor que influya en la decisión. Así mismo, el análisis permite también identificar los pares OD que no están siendo atendidos correctamente a pesar de tener altas tasas de utilización de TC.

Tabla 5.15. Correlación diferencia de tiempo de traslado entre vehículo particular y TC por par OD - uso de TC, sin considerar pares de la sección 7 y centroide 7

Par O-D		Diferencia de tiempo (min.)	Uso de TC (%)
Sección (origen)	Centroide (destino)		
7	4	14.4	11.29
6	9	4.37	22.58
7	7	13.01	16.13
8	9	4.49	23.64
6	7	18.13	25.00
7	12	26.54	6.38
8	7	9.46	26.19
4	4	15.06	7.69
5	4	15.2	21.05
1	4	5.75	13.89
2	12	15.18	20.00
2	4	9.81	21.21
1	12	24.92	17.24
4	12	24.33	7.14
7	15	12.16	18.52
8	15	-0.54	30.43
2	15	1.82	26.09
7	11	7.24	13.04
7	13	12.03	14.29
4	15	10.25	30.00
8	8	3.16	35.00
R de Pearson			-0.6348
Significancia 95%			0.00199
Corr. Spearman			-0.6

5.7.2 Uso del TC – Percepción del servicio

Para determinar si la percepción que se tiene sobre el servicio de transporte público incide en la cantidad de usuarios del sistema, se analiza la relación de estas variables desde dos enfoques. Por un lado, se estudia el comportamiento de toda la muestra sin tomar en cuenta la delimitación territorial, para esto se lleva a cabo un análisis de asociación de variables cualitativas mediante el indicador ji-cuadrado. Por otro lado, se contrasta la percepción de los usuarios por sección residencial mediante un análisis de correlación.

5.7.2.1 Análisis de asociación de variables cualitativas

Para medir el nivel de relación se hace uso del indicador ji-cuadrado. Así, se establece la hipótesis nula H_0 como hipótesis de independencia, es decir, la percepción del TC y el uso del mismo no están relacionados. El análisis busca evidencia significativa para rechazar esta hipótesis H_0 y aceptar la hipótesis alternativa H_a , la cual establece que existe una relación unidireccional entre la percepción del servicio y el uso del TC.

El primer cálculo entrega una tabla de contingencia de 5x2 con un ji-cuadrado $\chi^2 = 13.372$ mientras el valor crítico es 9.49, así mismo, la significancia es de 0.0096 al 95% (ver Tabla 5.16). Por lo tanto, para este primer análisis se rechaza la hipótesis nula y se establece que existe algún tipo de relación.

Para dimensionar el nivel de dependencia que entrega el test ji-cuadrado se calcula el coeficiente de Cramer, el cual es de 0.1687. Por lo tanto, se entiende que la asociación entre estas variables es baja e incluso podría deberse al comportamiento de un grupo de la población encuestada. En ese sentido, se analiza cada categoría para identificar el aporte que hacen a la significancia total de 13.372 y resalta entre todas la de percepción excelente con un aporte de 8.996, mientras que las otras 4 tienen aportes similares mucho menores (ver Tabla 5.17).

Tabla 5.16. Asociación categoría de percepción del servicio - uso de TC

Percepción del servicio	Uso de TC para ir al trabajo		Total general
	Si	No	
Excelente	4 (25%)	12 (75%)	16
Bueno	61 (68%)	29 (32%)	90
Regular	136 (63%)	81 (37%)	217
Malo	66 (64%)	37 (36%)	103
Pésimo	22 (50%)	22 (50%)	44
Total general	289	181	470
p valor al 95% de confianza y 4 grados de libertad = 0.0096			χ^2 experimental = 13.372 χ^2 crítico = 9.49 V de Cramer = 0.16

Tabla 5.17. Significancias de correlación ji-cuadrado por categoría de percepción

Percepción del servicio	Uso de TC para ir al trabajo		Total general
	Si	No	
Excelente	3.46	5.53	8.996
Bueno	0.58	0.92	1.503
Regular	0.05	0.08	0.128
Malo	0.11	0.18	0.291
Pésimo	0.94	1.51	2.453
Total general	5.150	8.222	13.372

Al valorar el tamaño de la muestra de cada categoría, la relacionada con una percepción excelente representa apenas el 3.4% de los datos, por lo que es probable que el resultado de relación existente se deba a una cantidad mínima de respuestas sesgadas. En ese sentido se agrupan las categorías “excelente” y “bueno” en una nueva categoría de percepción positiva y se lleva a cabo un nuevo análisis de ji-cuadrado. El resultado entrega un valor χ^2 de 2.87 contra un valor crítico de 7.81, una significancia de 0.41, y un coeficiente de Cramer de 0.078 (ver Tabla 5.18). Esto indica que no hay evidencia significativa para rechazar la hipótesis de independencia y por lo tanto se establece que la percepción del servicio no influye en la cantidad de usuarios del TC.

Tabla 5.18. Asociación categoría percepción de servicio - uso de TC, agrupando categorías positivas

Percepción del servicio	Uso de TC para ir al trabajo		Total general
	Si	No	
Bueno o Excelente	65	41	106
Regular	136	81	217
Malo	66	37	103
Pésimo	22	22	44
Total general	289	181	470
p valor al 95% de confianza y 3 grados de libertad = 0.4115		χ^2 experimental = 2.874	
		χ^2 crítico = 7.81	
		V de Cramer = 0.078	

5.7.2.2 Correlación cuantitativa por sección residencial

La distribución de la percepción es similar en todas las secciones, con la categoría percepción regular predominante en todos los casos como se observa en la Figura 5.11. Así mismo, la Tabla 5.19 muestra para cada una de las 8 secciones residenciales, la proporción de PEA que considera el servicio de TC en cada una de las 5 categorías, y el nivel de uso que tiene el sistema.

Resalta la sección 2 por sus percepción positiva del servicio (3.33 excelente y 26.67 bueno), además de contar con una densidad de red por arriba del promedio (60.45%).

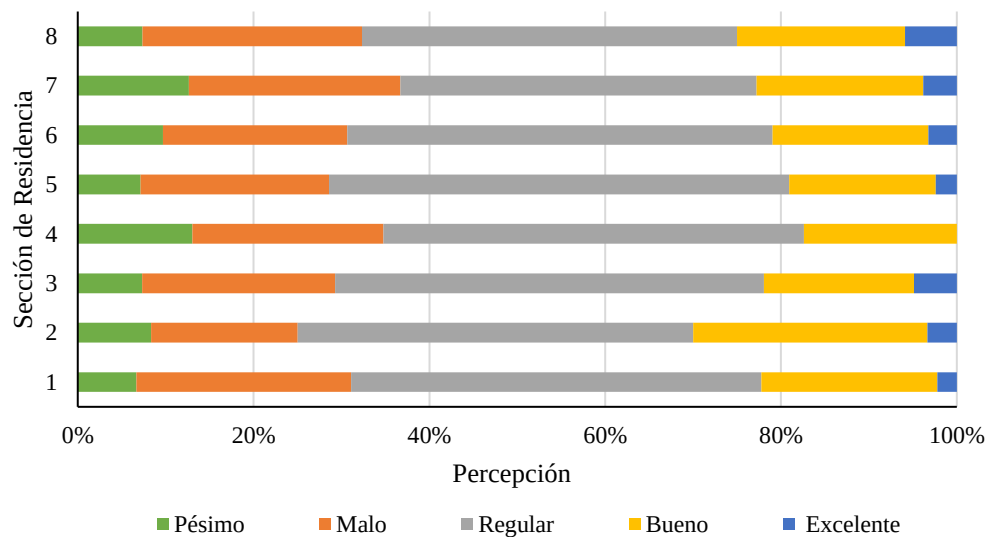


Figura 5.11. Distribución de la percepción del servicio de TC por sección residencial

Tabla 5.19. Percepción del servicio de TC por sección residencial

Sección residencial	1. Excelente (%)	2. Bueno (%)	3. Regular (%)	4. Malo (%)	5. Pésimo (%)	Uso de TC
1	2.22	20.00	46.67	24.44	6.67	17.0
2	3.33	26.67	45.00	16.67	8.33	22.9
3	4.88	17.07	48.78	21.95	7.32	46.0
4	0.00	17.39	47.83	21.74	13.04	18.0
5	2.38	16.67	52.38	21.43	7.14	25.4
6	3.23	17.74	48.39	20.97	9.68	24.9
7	3.80	18.99	40.51	24.05	12.66	12.5
8	5.88	19.12	42.65	25.00	7.35	26.1

Las secciones 4 y 7 cuentan con los primeros lugares de percepción del servicio de pésimo, a pesar de que ambas secciones se ubican en el centro de la ciudad, donde se espera que las rutas y frecuencias del TC fueran las adecuadas, ya que el indicador de densidad de red señala que en la sección 4 se encuentra por arriba de la media con el 65%.

La percepción es una variable subjetiva y cada individuo puede tener expectativas distintas para cada una de las cinco categorías del análisis. En ese sentido, para evitar que existan sesgos en los datos y que el análisis de correlación entregue resultados que puedan interpretarse de mejor forma, la percepción de los usuarios se agrupa en positiva (bueno o excelente) y negativa (malo o pésimo). En la tabla 5.20 se muestran la agrupación de estos valores para cada una de las secciones con sus respectivos análisis de correlación con la variable de uso del TC.

Cuando la percepción es positiva no se detecta algún tipo de relación, ya que el análisis entrega un coeficiente R de 0.029 con una significancia de 0.944. Por lo tanto, no es posible rechazar la hipótesis de independencia y se establece que la percepción positiva del servicio de TC de Mexicali no está relacionada con el nivel de uso del mismo. Por otro lado, cuando se analiza la percepción negativa y el uso del sistema se obtiene un coeficiente R de -0.47 y una correlación de Spearman de -0.5. Esto indica que existe una relación sin embargo, la significación es de 0.24, por lo que se debe profundizar en el análisis de esta relación para detectar si este valor se debe a un caso en particular o en general, no hay evidencia significativa para rechazar la hipótesis de independencia.

Tabla 5.20. Correlación percepción positiva y negativa del servicio - uso de TC

Sección residencial	Uso de TC (%)	Percepción positiva	Percepción negativa
1	17.01	22.2	31.1
2	22.89	30.0	25.0
3	45.98	22.0	29.3
4	18.03	17.4	34.8
5	25.37	19.1	28.6
6	24.87	21.0	30.7
7	12.46	22.8	36.7
8	26.09	25.0	32.4
R de Pearson	0.029	-0.471	
Significancia 95%	0.944	0.239	
Corr. Spearman	-0.071	-0.500	

En la Figura 5.12 se muestra la relación percepción negativa – uso del TC en donde se aprecia que existe una tendencia y solamente la sección 3 está fuera de la misma. Esta sección, cuenta con un alto uso del TC con más del 45%, esto a pesar de tener la densidad de red más baja de todas (49.69%) y ser la segunda que más exhibe una percepción excelente del servicio. Esta se encuentra en poniente de la ciudad y no cuenta con una concentración significativa de empleos, ya que ninguno de los centroides laborales delimitados se encuentra ubicado dentro de la misma, por lo tanto, se considera que los desplazamientos laborales en esta sección son mayores en comparación de otras.

La particularidad de la sección 3 puede ser explicada por lo establecido por Thevathasan and Balachandran (2007), quienes sugieren que las características demográficas de los usuarios del transporte público influyen en la evaluación que hacen del servicio, y como se estableció en la sección 5.3.1, la población que reside en estas zona es, en términos generales, de bajos ingresos con capacidad limitada para adquirir un automóvil, por lo que se ven obligados a utilizar el servicio de transporte público. Así mismo, el Reporte Nacional de Movilidad Urbana en México 2014-2015 indica que los sistemas de transporte público han llegado a considerarse como un sinónimo de pobreza. (ONU-Hábitat, 2015), por lo que esta situación podría estar incidiendo en la valoración de los usuarios. Así, la sección tres tiene un alto uso del TC debido a características socioeconómicas de su población y no tanto por las características de la oferta de movilidad y la valoración que tengan de esta.

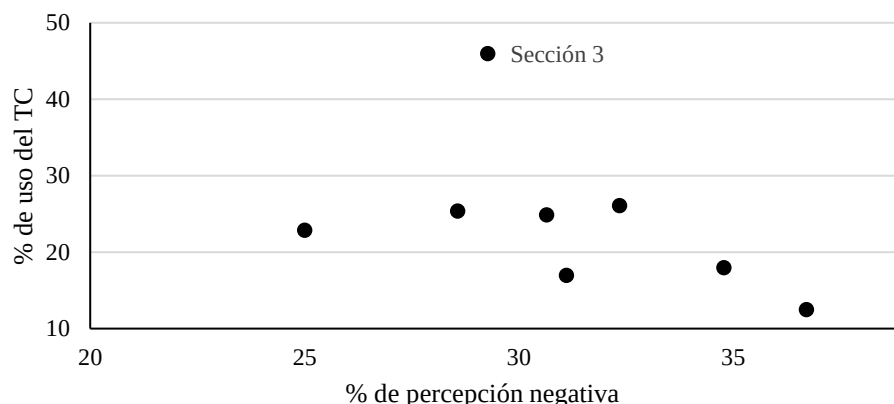


Figura 5.12. Percepción negativa del servicio por sección - uso de TC

En ese sentido y considerando que los traslados RT provenientes de la sección 3 representan menos del 6% del total la ciudad, es factible realizar el análisis de correlación sin incluir esta sección en el cálculo. Así, el coeficiente de correlación de Pearson tiene un valor de -0.64, la correlación de Spearman es de -0.464, y el P Valor alcanza una significación de 0.124 (ver Tabla 5.21), el cual si bien no es menor al 0.05 que exige la confiabilidad de 95%, indica que la relación se presenta con un 87% de confianza. Por lo tanto se deduce que existe una relación entre la percepción negativa que se tenga del servicio de TC y el uso del mismo con un 87% de probabilidad.

Considerando que la calidad del servicio en general (nivel de servicio) es la principal variable que toman en cuenta los usuarios para definir la percepción que tienen del sistema (independientemente de si esta sea positiva o negativa), el hecho de solo haber encontrado una correlación entre la percepción negativa del servicio y el uso del TC, indica que una disminución en la calidad ofertada hará que los usuarios reduzcan sin embargo, esta relación no se presenta en sentido contrario, es decir, aunque se logre mejorar integralmente el servicio no significa que la cuota de mercado en esta modalidad incrementará.

Tabla 5.21. Correlación percepción negativa - uso de TC, sin considerar la sección 3

Sección residencial	Uso de TC (%)	Percepción negativa
1	17.01	31.1
2	22.89	25.0
4	18.03	34.8
5	25.37	28.6
6	24.87	30.7
7	12.46	36.7
8	26.09	32.4
R de Pearson		-0.637
Significancia 95%		0.124
Corr. Spearman		-0.464

5.8 Asociación del Transporte Colectivo con la macro variable Sistema de Actividades

5.8.1 Uso del TC – Tipo de trabajo

La posible relación entre el tipo de trabajo de la PEA y el uso del TC se estudia con dos metodologías distintas. Por un lado, un análisis de asociación de variables cuantitativas utilizando las respuestas de los 1620 encuestados, aplicando la técnica estadística de ji-cuadrado y el coeficiente de Cramer. Por otro, un estudio de relación de variables cuantitativas, mediante el cálculo de la correlación, para cada tipo de trabajo, de porcentajes por centroide laboral de usuarios de TC y del tipo de trabajo en cuestión.

5.8.1.1 Análisis de asociación de variables categóricas

El estudio de asociación de variables cualitativas mediante el índice ji-cuadrado utiliza una significancia al 95%. Para dicho análisis se establece la hipótesis nula H_0 como independencia entre ambas variables, mientras que la hipótesis alternativa H_a que se busca comprobar establece que existe una relación entre estas.

Tabla 5.22. Asociación categoría de tipo de trabajo - uso de TC

Tipo de trabajo	Uso de TC para ir al trabajo		Total general
	Si	No	
Industrial	154 (22.6%)	527 (77.4%)	981
Comercial	82 (26.9%)	223 (73.1%)	305
Servicios	83 (21.2%)	309 (78.8%)	392
Gubernamentales	20 (8.3%)	222 (91.7%)	242
Total general	339	1281	1620
p valor al 95% de confianza y 3 grados de libertad = 7.79×10^{-7}			χ^2 experimental = 31.179 χ^2 crítico = 7.851 V de Cramer = 0.139

El primer cálculo entrega una tabla de contingencia de 2x4 con un ji-cuadrado $\chi^2 = 31.179$ mientras el valor crítico es 7.851, así mismo, la significancia es de 7.79×10^{-7} (ver Tabla 5.22). Al ser el valor experimental mayor al crítico y la significancia menor al 0.05 es posible rechazar la hipótesis nula y aceptar la alternativa estableciendo que existe algún tipo de relación. Así mismo, el coeficiente de Cramer es de 0.139, por lo que la relación es baja y la significancia podría deberse a un tipo de trabajo en particular.

Al comparar los porcentajes de usuarios de TC tipo de trabajo se detecta que la categoría “gubernamental” solo tiene un 8.3% de usuarios, mientras que las otras 3 tienen cuotas similares cercanas al 23%. En ese sentido, parece que este tipo de trabajo es el que causa la significación y permite rechazar la hipótesis de independencia. Por lo tanto, se realiza un nuevo análisis entre las categorías industrial, comercial y servicios para definir si existe independencia entre estas. El resultado es un χ^2 de 3.36 mientras que el valor crítico es de 5.99. Así mismo, el coeficiente de Cramer es apenas de 0.05 y el P Valor de 0.186. Por lo tanto, se mantiene la hipótesis nula estableciendo que el uso del TC es independiente del tipo de trabajo industrial, comercial y servicios.

Una vez identificada la independencia entre los 3 tipos de trabajo mencionados, se agrupan en una nueva categoría de tipo “no gubernamental” para corroborar la correlación con el tipo de trabajo gubernamental. La Tabla 5.23 muestra el resultado de este análisis en el que se obtiene un ji-cuadrado $\chi^2 = 27.56$ contra un valor crítico de 3.84, un coeficiente de Cramer de 0.13 y un P Valor de 1.5×10^{-7} . Esto permite rechazar de nuevo la hipótesis de independencia y aceptar la alternativa estableciendo que: “la proporción de usuarios de TC que trabajan en el sector gubernamental es significativamente inferior a aquellos que se desempeñan en el sector industrial, comercial y/o servicios sin embargo, entre estos tres la proporción de usuarios es la misma y no depende del tipo de trabajo”.

Tabla 5.23. Asociación trabajo gubernamental - uso de TC

Tipo de trabajo	Uso de TC para ir al trabajo		Total general
	Si	No	
No gubernamental (Industrial / Comercial / Servicios)	319	1029	1378
Gubernamentales	20	222	242
Total general	339	1281	1620
p valor al 95% de confianza y 3 grados de libertad = 1.52×10^{-7}			χ^2 experimental = 27.56 χ^2 crítico = 3.84 V de Cramer = 0.13

5.8.1.2 Correlación cuantitativa por tipo de trabajo

Para cada tipo de trabajo se efectúa un análisis de correlación de Pearson utilizando los variables de porcentaje de usuarios de TC y porcentaje del tipo de trabajo por centroide laboral. Los resultados de dichos análisis se muestran en la Tabla 5.24.

Los resultados indican que no existe relación entre el uso del TC y tipo de trabajo industrial y servicios, ya que en ambos casos los coeficientes de correlación son muy bajos (0.22 y -0.23 respectivamente) y los P Valores superiores al 0.4, por lo que no se puede rechazar la hipótesis de independencia en ambos casos. La Figura 5.13 muestra el comportamiento del uso de TC en función de la proporción de trabajadores del tipo industrial y de servicios de cada centroide laboral.

Tabla 5.24. Correlación proporción de tipo de trabajo en centroide laboral - uso de TC

Análisis uso de TC y tipo de trabajo:	Correlación de Pearson R	Significancia al 95%	Correlación de Spearman
Industrial	0.2162	0.439	0.25
Comercial	0.4396	0.101	0.10
Servicios	-0.2251	0.420	-0.29
Gubernamental	-0.5669	0.028	-0.68

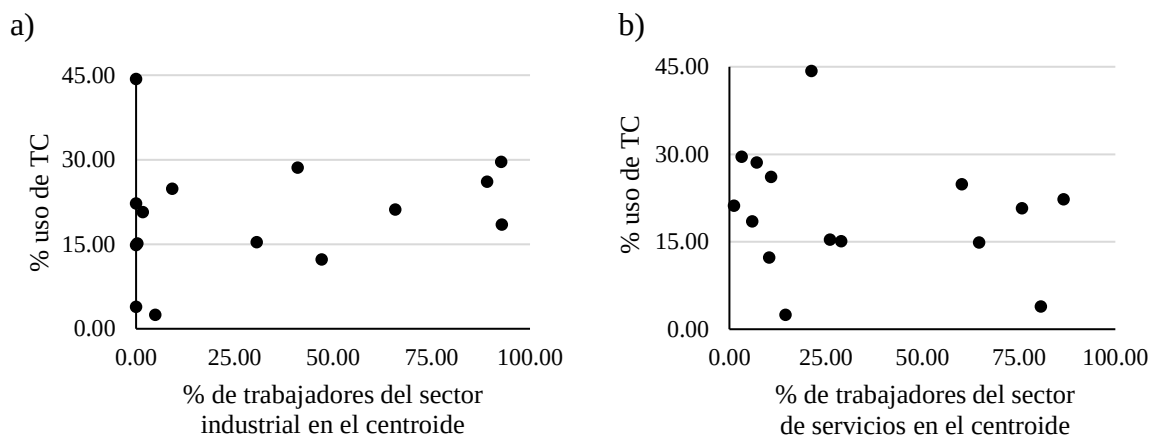


Figura 5.13. a) Proporción de trabajadores del tipo industrial - uso de TC y
b) proporción de trabajadores de tipo de servicios - uso de TC

En el caso del tipo de trabajo comercial, se aprecia una relación positiva de magnitud media con un coeficiente de correlación de 0.44 sin embargo, la significancia es de 0.101 y la correlación de Spearman apenas alcanza un 0.1, esto se debe de que existen valores atípicos que hacen que la correlación de Pearson entregara un valor elevado, cuando en realidad no existe una relación fuerte (ver Figura 5.14).

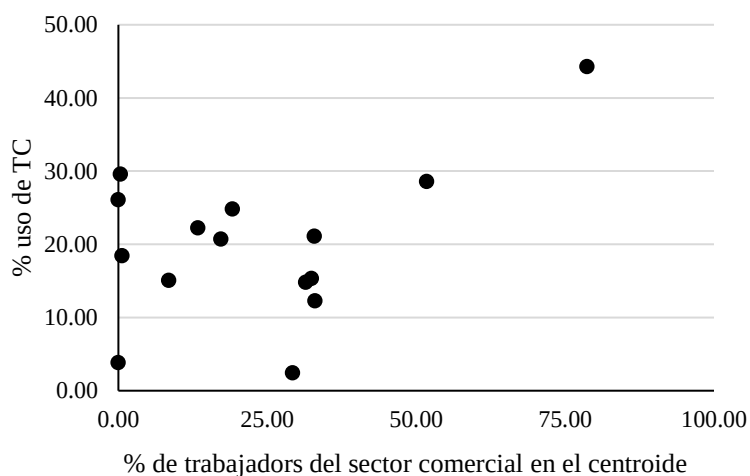
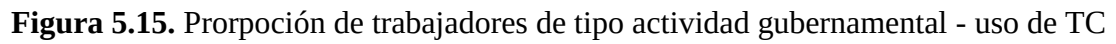


Figura 5.14. Proporción de trabajadores de tipo comercial - uso de TC



5.8.2 Uso del TC – Densidad poblacional

5.8.2.1 Análisis de asociación de variables categóricas

71

Tabla 5.25. Categorización de densidades de población de secciones residenciales

Sección	Densidad de población	Categoría
8	58.63 %	Alta
5	56.87 %	
4	53.03 %	
6	38.55 %	Media
1	35.89 %	
7	35.57 %	
2	35.09 %	
3	30.94 %	Baja

Para cada categoría se identifican la cantidad de trabajadores que utilizan el sistema de TC para desplazarse al trabajo y los que no lo hacen. Con estos datos se genera la tabla de contingencia para en análisis ji-cuadrado, el cual entrega una χ^2 de 37.59 mientras que el valor crítico es de 5.99 (ver Tabla 5.26). Así mismo, el coeficiente de Cramer es apenas de 0.15 y el P Valor de 6.89×10^{-9} , indicando que los datos proporcionan información para establecer que no existe una independencia entre ambas variables y por lo tanto se debe rechazar la hipótesis nula.

Para entender las causas del resultado obtenido se valora el aporte que cada categoría tiene en el valor de la χ^2 destacando entre estas la categoría baja con un aporte del 85% ($31.877/37.586$) de la significancia total. Esta categoría solo incluye una sola sección, la número tres, la cual como ya se comentó en las secciones anteriores, tiene un comportamiento particular debido a las características socioeconómicas. Por lo tanto, se realiza el análisis de independencia entre las categorías alta y media, el cual entrega también evidencia para rechazar la hipótesis de independencia, ya que el P Valor es menor al 0.05 y el ji-cuadrado χ^2 es 4.06, superior al crítico de 3.84 (ver Tabla 5.27). Por otro lado, la medida de la dependencia detectada es apenas 0.05 según el coeficiente de Cramer, por lo que no es estrictamente una relación lineal y más bien se trata de una tendencia. Esto tiene lógica debido a la naturaleza del fenómeno y a que se está trabajando con datos agregados de densidad de población.

Tabla 5.26. Asociación categoría densidad de población - uso de TC

Densidad de población	Uso de TC para ir al trabajo		Total general
	Si	No	
Alta	124	427	551
Media	172	773	945
Baja	40	47	87
Total general	336	1247	1583
p valor al 95% de confianza y 2 grados de libertad = 6.589×10^{-9}			χ^2 experimental = 37.5986 χ^2 crítico = 5.99 V de Cramer = 0.15

Tabla 5.27. Asociación categoría densidad de población - uso de TC, sin considerar la categoría baja (sección 3)

Densidad de población	Uso de TC para ir al trabajo		Total general
	Si	No	
Alta	124	427	551
Media	172	773	945
Total general	296	1200	1496
p valor al 95% de confianza y 2 grados de libertad = 0.0439			χ^2 experimental = 4.061 χ^2 crítico = 3.84 V de Cramer = 0.05

Estos dos análisis aportan evidencia significativa para rechazar la hipótesis de independencia y aceptar la alternativa, estableciendo que: “a excepción de casos particulares donde las características socioeconómicas de la población condicionan el uso del TC, existe una tendencia significativamente positiva entre la proporción de usuarios de este sistema con la densidad poblacional de la zona de residencia de los trabajadores”.

5.8.2.2 Correlación cuantitativa por sección residencial

La proporción de usuarios del sistema de TC de cada sección residencial se contrasta con la densidad poblacional de estas. Un primer cálculo entrega un coeficiente de correlación de Pearson de -0.17, lo cual no tiene ningún sentido y contradice los resultados de la sección anterior (ver Tabla 5.28). Así mismo, se obtiene un P Valor de 0.69 y una correlación de Spearman de 0.14. El cambio de sentido de la relación entre el método de Pearson y Spearman, así como la magnitud de 0.31 de dicho cambio, indica que existen valores

máximos que están afectando considerablemente el cálculo y por lo tanto, se debe estudiar su comportamiento de forma particular.

Al representar gráficamente la relación en la Figura 5.16, se aprecia que es la sección 3 el único valor máximo que está afectando el cálculo. Este fenómeno está en congruencia con lo establecido en el análisis cualitativo de la sección pasada, así como en el estudio de las relaciones del uso del TC con otras variables como densidad de red y la percepción del servicio, en donde la sección 3 debió ser excluida de los respectivos análisis debido a su comportamiento particular condicionado por las características socioeconómicas de sus habitantes.

Tabla 5.28. Correlación densidad de población de sección residencial - uso de TC

Sección	Densidad de población (hab/ha)	Uso de TC (%)
1	35.9	17.01
2	35.1	22.89
3	30.9	45.98
4	53.0	18.03
5	56.9	25.37
6	38.6	24.87
7	35.6	12.46
8	58.6	26.09
R de Pearson		-0.169
Significancia 95%		0.6888
Corr. Spearman		0.143

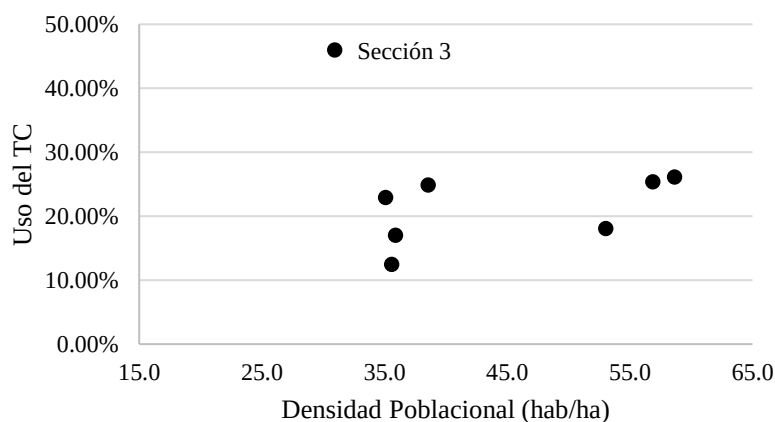


Figura 5.16. Densidad de población de sección residencial - uso de TC

Tabla 5.29. Correlación densidad de población - uso de TC, sin considerar la sección 3

Sección	Densidad poblacional (hab/ha)	Uso del TC (%)
1	35.9	17.01
2	35.1	22.89
4	53.0	18.03
5	56.9	25.37
6	38.6	24.87
7	35.6	12.46
8	58.6	26.09
R de Pearson		0.507
Significancia 95%		0.246
Corr. Spearman		0.714

En ese sentido, se efectúa un nuevo análisis de correlación sin incluir la sección antes mencionada y los resultados indican una correlación de Pearson positiva de 0.51, con una significancia de 0.25 y una correlación de Spearman de 0.71. Aunque el P Valor exceda el 0.05 para la confiabilidad de 95%, es posible establecer que la relación positiva tiene una confianza de 75%, lo cual podría considerarse significativo debido a la naturaleza del fenómeno que se está estudiando (ver Tabla 5.29).

Por lo tanto, es posible rechazar la hipótesis de independencia, y al igual que en el estudio de asociación cualitativa, establecer que “a excepción de casos particulares donde las características socioeconómicas de la población condicionan el uso del TC, existe una relación positiva entre la proporción de usuarios de este sistema con la densidad poblacional de la zona de residencia de los trabajadores”.

5.9 Análisis comparativo de resultados

Debido a que el fenómeno de la elección modal es muy complejo e involucra distintos factores que no están directamente relacionados, era de esperarse que los resultados de las distintas asociaciones no entregaran relaciones cercanas al 100% sin embargo, en algunos casos se detectaron tendencias que aportan para un mayor entendimiento de la decisión de uso del TC. En ese sentido, en la Tabla 5.30 se presentan los resultados de los distintos análisis separados por macro variable y con sus respectivas conclusiones. Comparando los

resultados de cada uno es posible asignar a cada indicador un grado de incidencia para hacer un análisis comparativo entre estos.

Por un lado, los indicadores de densidad de red del centro de trabajo, percepción general del servicio, percepción positiva y tipo de trabajo industrial, comercial o de servicios no reflejaron relación alguna con el uso del sistema de TC de la ciudad, por lo que se consideran independientes.

Por otro lado, una relación que se podría considerar “ligera” o de poca incidencia se presenta con la densidad de red de la sección residencial ya que la confiabilidad de la misma es cercana al 50%.

La percepción negativa del servicio si exhibe una correlación con la variable de interés, la cual podría considerarse “media”, ya que el P Valor es de 0.124, por lo que la relación tiene un 87% de confiabilidad.

Por último, la diferencia de tiempos de traslado con el vehículo particular y la densidad de población tienen una “fuerte” relación con el uso del sistema, con una confiabilidad superior al 95%. Así mismo, el tipo de trabajo gubernamental también tiene una fuerte relación de signo negativo.

En ese sentido, la macro variable que incide de mayor forma en el estado actual del sistema de transporte colectivo de la ciudad de Mexicali es el Sistema de Actividades. Así mismo, la Estructura de Flujos también tiene una incidencia visible. Por otro lado, parece que la variable Sistema de Transporte, representado por la oferta del mismo, es la que tiene menor incidencia.

Tabla 5.30. Comparación de resultados de correlación e incidencia de macrovariables de Manheim en el uso de TC

Relación uso de TC con:		Test	Resultados		Conclusiones	Grado de incid
Macro variable sistema de transporte	Densidad de red de secciones residenciales	Ji-cuadrado	Valor exp. 16.57	P Valor 0.003	La densidad de red media se comporta diferente a la densidad alta y baja. Ho se rechaza, pero no es clara la relación ya que no tiene sentido que solo la densidad media se comporte distinta. El coeficiente de Cramer de 0.1 puede indicar que los resultados se deban a otra cosa.	X
			Valor crít. 5.99	Cramer 0.1		
		Correlación cuantitativa	Pearson 0.26	Spearman 0.28	Al excluir la sección 3 del análisis, hay una ligera tendencia a mayor uso del TC cuando la densidad de red de la sección es mayor sin embargo, el P Valor es alto.	
			P Valor 0.57			
	Densidad de red de centroides laborales	Ji-cuadrado	Valor exp. 2.82	P Valor 0.24	Se mantiene la H0, no hay relación entre densidad de red del centroide laboral y el uso del TC.	-
			Valor crít. 5.99	Cramer 0.04		
		Correlación cuantitativa	Pearson -0.07	Spearman -0.14	La distribución de los usuarios de TC es independiente de la distribución de densidades de red de su sitio de trabajo.	
			P Valor 0.81			
Macro variable estructura de flujos	Dif. de tiempo de traslado con veh. particular	Correlación cuantitativa	Pearson -0.63	Spearman -0.6	La diferencia de tiempos influye para que los usuarios decidan trasladarse al trabajo en transporte público sin embargo, no es este el único factor, ya que en los desplazamientos con origen en la sección 7 o con destino al centroide 7, parece haber otro factor que influya.	XXX
			P Valor 0.002			
	Percepción en general	Ji-cuadrado	Valor exp. 2.87	P Valor 0.41	La percepción en general parece que no influye en la decisión sin embargo, es recomendable analizar por separado la percepción positiva y la negativa.	-
			Valor crít. 7.81	Cramer 0.08		
	Percepción positiva solamente	Correlación cuantitativa	Pearson 0.029	Spearman -0.071	La percepción positiva no tiene relación con el uso del TC.	-
			P Valor 0.944			
	Percepción negativa solamente	Correlación cuantitativa	Pearson -0.637	Spearman -0.464	En una parte de la población (87% de confiabilidad), existe una tendencia a un menor uso cuando la percepción negativa aumenta.	XX
			P Valor 0.124			

Macro variable sistema de actividades	Tipo de trabajo en general	Ji-cuadrado	Valor exp. 27.56	P Valor 1.52x10 ⁻⁷	Se rechaza H ₀ , se acepta H _a : la proporción de usuarios de TC que trabajan en el sector gubernamental es significativamente inferior a aquellos que trabajan en el sector industrial, comercial o servicios sin embargo, entre estos tres la proporción de usuarios es la misma y no depende del tipo de trabajo	XXX
			Valor crít. 3.84	Cramer 0.13		
	Trabajo Industrial	Correlación cuantitativa	Pearson 0.2162	Spearman 0.25	Se acepta H0, la cantidad de trabajadores del sector industrial no influye en la cantidad de usuarios de TC	-
			P Valor 0.439			
	Trabajo Comercial	Correlación cuantitativa	Pearson 0.4396	Spearman 0.1	Aunque parece que se podría aceptar una ligera tendencia, en análisis gráfico permite detectar que se debe a un par de valores atípicos que están alterando los resultados y en realidad no existe relación	-
			P Valor 0.101			
	Trabajo Servicios	Correlación cuantitativa	Pearson -0.2251	Spearman -0.29	Se acepta H0, la cantidad de trabajadores del sector de servicios no influye en la cantidad de usuarios de TC	-
			P Valor 0.42			
	Trabajo gubernamental	Correlación cuantitativa	Pearson -0.567	Spearman -0.68	Se rechaza H0, se acepta H _a : la proporción de usuarios de TC que trabajan en el sector gubernamental es significativamente inferior a aquellos que trabajan en el sector industrial, comercial o servicios sin embargo, entre estos tres la proporción de usuarios es la misma y no depende del tipo de trabajo	XXX
			P Valor 0.028			
	Densidad de población	Ji-cuadrado	Valor exp. 4.06	P Valor 0.04	Se rechaza H0, se acepta H _a : A excepción de casos particulares donde las características socioeconómicas de la población condicionan el uso del TC, existe una tendencia significativamente positiva entre la proporción de usuarios de este sistema con la densidad poblacional de la zona de residencia de los trabajadores.	XXX
			Valor crít. 3.84	Cramer 0.05		
		Correlación cuantitativa	Pearson 0.507	Spearman 0.714	A excepción de casos particulares donde las características socioeconómicas de la población condicionan el uso del TC, existe una relación positiva entre la proporción de usuarios de este sistema con la densidad poblacional de la zona de residencia de los trabajadores	
			P Valor 0.246			

Capítulo 6. Conclusiones

Después de haber realizado esta investigación, es posible confirmar la hipótesis planteada que establece que el bajo de uso del Sistema de Transporte Colectivo de Mexicali puede ser explicado mediante una serie de análisis estadísticos de asociación que involucren indicadores relacionados a las 3 macro variables de Manheim: Sistema de Transporte (S), Estructura de Flujos (F) y Sistema de Actividades(A), ya que los resultados entregan distintos niveles de relación entre los indicadores seleccionados y el uso del TC.

Así mismo, la hipótesis establece que de las 3 macro variables de Manheim, el Sistema de Actividades es la que tiene una mayor incidencia en el uso del sistema de TC, lo cual también es corroborado, ya que el estudio comparativo de los resultados de los análisis estadísticos de asociación entre los indicadores de cada macro variables y el uso del TC, exhibe que aquellos relacionados con el Sistema de Actividades son los que tienen los coeficientes de correlación más elevados y las significancias (P Valor) más bajas.

Por otro lado, es posible también obtener conclusiones relacionadas a las consideraciones metodológicas, así como particulares al caso de estudio.

6.1 Conclusiones metodológicas

Como primer punto se establece que la metodología fue planteada considerando las limitaciones asociadas a los recursos disponibles. En ese sentido la ciudad fue dividida solamente en 8 secciones residenciales para llevar a cabo los análisis de asociación espacial, buscando que todas las delimitaciones resultantes fueran similares en términos de población, y si bien el seccionamiento propuesto se considera adecuado, se establece que a mayor cantidad de secciones, mayor es la profundidad del análisis que se entrega. Por lo que se propone para futuras investigaciones, proponer una mayor cantidad de secciones en la ciudad.

En cuanto a las delimitaciones de los 15 centros de concentración del empleo, estos se generaron con la base de datos del DENUe actualizada hasta el año 2015 y con

información solamente de establecimientos que están oficialmente registrados, es decir, no fueron considerados en esta investigación todas aquellas empresas que no cuentan con un registro oficial. Sin embargo, las empresas no registradas regularmente son pequeñas y se encuentran distribuidas de manera uniforme por toda la mancha urbana, mientras que en los ejercicios de localización de la concentración del empleo se toman en cuenta en su mayoría la concentración de las medianas y grandes empresas, ya que son las que originan grandes desplazamientos en periodos cortos de tiempo.

Aunado a lo anterior, es importante mencionar que la aplicación de la encuesta se realizó en los centros laborales, por lo que solo se están analizando los desplazamientos residencia – trabajo de la población económicamente activa, dejando fuera del análisis los traslados por consumo, recreación, estudio, etc. Sin embargo, los desplazamientos analizados son los que se generan con mayor frecuencia y en las horas de máxima demanda, por lo que reflejan el estado crítico del sistema.

Particularmente se obtienen también conclusiones de las consideraciones metodológicas de cada variable utilizada. Así, el indicador densidad de red seleccionado para estudiar la macro variable Sistema de Transporte, si bien fue elegido debido a que no existe un inventario oficial de paraderos y a la operación real del sistema con paradas aleatorias, también es cierto que la densidad de red obtenida para cada delimitación territorial no es percibida de la misma forma por cada individuo dentro de la misma, ya que como se mencionó, las paradas se realizan de manera aleatoria. Por lo que un vez que se cuente con un inventario oficial de áreas de ascenso y descenso de pasajeros del sistema de TC, se recomienda analizar la cobertura del sistema mediante el radio de cobertura de estas.

Por otro lado, el tiempo de traslado entre cada par origen – destino, tanto en automóvil particular como en transporte público, fue obtenido mediante una ponderación de las respuestas de los individuos encuestados, los cuales pueden dimensionar el tiempo invertido en el traslado de manera incorrecta, por lo que se recomienda en futuras investigaciones obtener los tiempos de traslado directamente en campo o mediante la ayuda de aplicaciones móviles.

Por último, la percepción del servicio del TC se obtuvo para cada individuo y fue posible desarrollar distintos tipos de análisis, así como obtener conclusiones, sin embargo, no fue posible llevar a cabo un análisis profundo y detallado de los motivos por lo que los individuos tienen cierto nivel de percepción del servicio, ya que la mayoría se limitó a responder que el motivo era la “calidad en general”, por lo que las opciones de respuesta en este reactivo de la encuesta deben replantearse para ser más específicas.

6.2 Conclusiones particulares del caso de estudio

En cuanto a las conclusiones del caso de estudio, primeramente se mencionan las relacionadas con el uso del TC de la ciudad y posteriormente aquellas resultantes de los análisis estadísticos de asociación para las distintas macro variables y sus respectivos indicadores seleccionados. En ese sentido, el nivel de uso del sistema de transporte colectivo con apenas 20.93% de los desplazamientos RT llevado a cabo esta modalidad es contrastante con lo establecido en el Reporte Nacional de Movilidad Urbana en México 2014-2015, el cual indica que el 65% de los viajes se llevan a cabo en transporte público (ONU-Hábitat, 2015). Por lo tanto, como una primera conclusión se establece que existe un problema al tener un sistema con muy poco uso y al mismo tiempo representa un área de oportunidad.

En lo que respecta a la macro variable de Sistema de Transporte, el indicador de densidad de red es apenas de 56.7% para un área de cobertura de 200 metros a cada lado del eje de la ruta de TC, por lo que más del 40% de la población debería caminar más de esa distancia para abordar un autobús del sistema. Considerando el clima extremo de la ciudad, esta situación permite concluir que la cobertura del sistema no atiende adecuadamente la demanda de movilidad.

Por otro lado, respecto a la macro variable Estructura de Flujos, se obtuvo un tiempo promedio de viaje en transporte público de 30 minutos, el cual es bajo comparado con otras zonas metropolitanas. Velandia (2014) indica que la movilidad urbana mediante un medio de transporte en una capital mexicana promedio, toma de dos o tres horas diarias de cada habitante en moverse hacia su destino.

Así mismo, la percepción que se tiene del sistema de TC no es del todo negativa, ya que más del 46% considera que el servicio es regular. La opinión de los usuarios es semejante a la que se tiene en la ciudad de Hermosillo, Sonora, similar en términos de población y extensión a Mexicali, y en donde el 55% de los usuarios considera al servicio de transporte público como regular, el 30% excelente o bueno, y 15% malo (Morales Morales et al., 2016). Por otro lado, los resultados contrastan con la ciudad de México, en donde el 67% de los usuarios de transporte público lo consideran incómodo (El Poder del Consumidor, 2011) y a pesar de esto, el porcentaje de viajes en esta modalidad es mucho mayor. Esto representa un área de oportunidad para Mexicali, ya que la percepción no es tan negativa como en otras ciudades del país.

En ese sentido, los resultados asociados a la macro variable de Estructura de Flujos, si bien exhiben ligeros inconvenientes asociados a los niveles de servicio del sistema, no entregan datos para establecer que existe un problema crítico de tránsito en la ciudad.

Así mismo, se detectaron áreas de oportunidad que tienen que ver tanto con el Sistema de Transporte (T) como con la Estructura de Flujos (F): (1) en el noreste de la ciudad, específicamente en la sección 1, la densidad de red es baja y las diferencias de tiempos de traslado exceden en su mayoría los 25 minutos, por lo que una mejora de la cobertura favorecería a una gran cantidad de usuarios; (2) mejorar la conectividad y tiempos de traslado entre las zonas 1, 2 y 4 con el centroide 7 beneficiaría a una gran cantidad de usuarios, ya que este último atrae a una alta cantidad de desplazamientos, sin embargo las diferencias de tiempos son considerables.

En relación a la estructura urbana, las dinámicas de movilidad de Mexicali coinciden con los estudios que sugieren que las estructuras dispersas no favorecen la movilidad cuando el lugar de residencia no ha sido elegido en función de los sitios laborales (Giuliano & Small, 1993; Hamilton, 1989), tal como ha sucedido en Mexicali los últimos años, en los que el sector inmobiliario ha determinado el crecimiento urbano desordenado, buscando adquirir suelos baratos en las periferias de las ciudades (Medina Ramirez & Veloz Rosas, 2012b).

Sobre esto, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, 2011) señala que ciudades más compactas, tienen un menor uso del automóvil, mientras

ciudades extendidas y difusas presentan alto uso del mismo, como en el caso de EUA y Canadá. Así mismo, Medina y Veloz (2013), establecen que la implementación de sistemas de transporte masivo se vuelve inviable en ciudades que han alcanzado densidades menores a 100 hab/ha. Así, la estructura dispersa de Mexicali, con una densidad de 40 hab/ha, parece condicionar el uso del transporte colectivo.

Por otro lado, de los distintos análisis de asociación llevados a cabo fue posible detectar primeramente, que la sección 3, ubicada en el extremo oeste de Mexicali, merece un análisis especial, ya que en términos generales, es la que experimenta los peores niveles del servicio de transporte público y al mismo tiempo, es la que mayormente lo utiliza en términos de proporción. Así, parece que en esta sección, las características socioeconómica de la población condicionan la elección del a modalidad de transporte independientemente de la oferta que pueda existir.

Dejando fuera el caso de la sección 3, los análisis de asociación permitieron concluir que, por un lado, la diferencia de tiempos de traslado entre los modos de transporte, la percepción negativa del servicio y la densidad poblacional tiene un alto nivel de relación con el uso del sistema de TC. Así mismo, a pesar de no detectarse una tendencia para un tipo de trabajo que manifieste un mayor uso del sistema, se encontró que quienes trabajan en el sector gubernamental, por laguna razón, no lo utilizan. Por otro lado, la densidad de red de la sección de residencia tiene una incidencia que se podría considerar ligera, mientras que el resto de indicadores como son, densidad de centro laboral, percepción positiva, y los tipo de trabajo industrial, comercial o servicios, no tienen relación alguna con el uso del sistema.

En ese sentido, es la macro variable Sistema de Actividades (A) la que tiene una mayor incidencia en la variable objetivo, después, la Estructura de Flujos (F) parece que también está relacionada de buena manera sin embargo, el Sistema de Transporte (T), representado por la oferta, es el que menos tiene incidencia en la elección modal para trasladarse al trabajo.

Esto resulta interesante ya que por lo general, la toma de decisiones en materia de planeación de transporte se ha llevado a cabo analizando la oferta de movilidad y la interacción oferta-demanda. Esto se aprecia claramente en los documentos oficiales de la

ciudad de Mexicali, en donde a pesar de considerar un análisis extenso de la oferta de movilidad y características del tránsito de la ciudad, así como plantear acciones estratégicas a seguir e incluso proyectos, para definir estas no se incluyen aspectos que tienen que ver con el Sistema de Actividades.

Ley García J. (2006) concluyó en un estudio realizado en Tijuana, una ciudad muy similar a Mexicali, que los problemas de movilidad no podrán resolverse si se continua con un enfoque que considera la planeación del transporte como algo ajeno a la planeación urbana, en otras palabras, es necesario implementar estrategias de gestión de movilidad. Por lo tanto, atender las áreas de oportunidad mencionadas anteriormente ayudará en poco a mejorar el funcionamiento integral del sistema y no incrementará de forma considerable el uso del transporte colectivo.

Así, una de las principales recomendaciones es adoptar un modelo de planeación DOT, ya que es una estrategia probada para integrar la planificación del uso del suelo y el transporte sostenible (Ramos Campos et al., 2015) y las experiencias demuestran que si es implementado correctamente, incrementa el número de usuarios del transporte público (Suzuki et al., 2014). En la ciudad de Mexicali se están buscando acuerdos para que inicien las operaciones del sistema de BRT, sin embargo, parece que este no está sustentando bajo un enfoque DOT, por lo que implementarlo de forma aislada no mejorará en gran medida la situación de la movilidad actual y será necesario que se consideren ciertos aspectos para aprovechar al máximo la inversión.

Siguiendo lo establecido por Wright y Hook (2007), para mejorar el servicio de transporte público de Mexicali, es necesario cambiar el esquema de concesiones individuales por un modelo empresarial que implica que los concesionarios constituirán una empresa que provea el servicio. Así mismo, atendiendo las recomendaciones de (Ferro, Muñoz, & Behrens, 2015), son necesarios esquemas flexibles de rutas y servicios, e incluso redistribuir las paradas del sistema, ya que la posibilidad de usarlo se incrementa cinco veces si la distancia a la estación es corta (TCRP, 2004), por lo que también es necesario, como lo mencionan (Leo et al., 2017), que las estrategias incluyan mejoras a los andadores peatonales y medidas para desincentivar el uso del automóvil particular.

Por último, parece que en Mexicali la población no utiliza el sistema de transporte público porque lo asocia a una condición económica desfavorable y por lo tanto, tienen una percepción negativa del mismo. En ese sentido, es necesario también un cambio de paradigma en la sociedad, cimentado en estrategias de concientización sobre las externalidades negativas del uso del automóvil, y de promoción de las mejoras que se implementen al servicio de transporte público, además de desarrollar nuevos sistemas de información para los usuarios.

Mexicali aún está a tiempo de revertir las preocupantes tendencias de motorización. Sin duda alguna será una tarea difícil, pero aprovechando las experiencias de otras ciudades, es posible lograr un esquema de movilidad sustentable que mejore la calidad de vida de los habitantes de esta ciudad.

6.3 Aporte de la investigación

El aporte de esta investigación se divide en dos partes. Por un lado, entrega una propuesta metodológica para aplicarse en ciudades donde el uso del sistema de transporte público es considerablemente bajo, y no existen estudios recientes ni bases de datos sobre las dinámicas de movilidad, por lo que llevar a cabo un análisis estadístico de indicadores fáciles de obtener, y asociados a las 3 macro variables de Manheim, puede permitir identificar cuál de las tres está tendiendo mayor incidencia en el fenómeno, y de esta forma, considerarla al momento de plantear las estrategias e intervenciones al sistema de movilidad de la ciudad.

Por otro lado, esta investigación aporta información al caso de estudio, al generar una base de datos actualizada de desplazamientos residencia – trabajo que permite llevar a cabo distintos análisis sobre la movilidad laboral de Mexicali. Así mismo, el estudio identifica varias áreas de oportunidad que tienen que ver con la cobertura y conectividad del Sistema de Transporte Colectivo en distintas zonas de la ciudad y que de ser atendidas, permitirán mejorar el nivel de atención que este da la Población Económicamente Activa (PEA) y así, ayudar a mejorar la movilidad urbana de Mexicali. Por último, los resultados entregan información sobre las variables que tienen mayor incidencia en el uso del TC en la ciudad de

Mexicali, y por ende, se espera que sirvan de guía en los ejercicios de planeación de la movilidad y transporte de la ciudad.

6.4 Propuestas de líneas de investigación posteriores

Por un lado, se propone profundizar en la investigación de la incidencia de las tres marco variables de Manheim en el uso de TC, mediante el complemento de la base de datos y la generación de modales matemáticos de elección modal, que consideren en el cálculo de las utilidades de las alternativas distintas variables asociadas al Sistema de Actividades, como lo son los usos de suelo, la concentración de actividades económicas y las características del individuo.

Por otro lado, esta investigación se limita a llevar a cabo el análisis del uso del TC con indicadores asociados a las tres macro variables de Manheim, Sistema de Transporte, Sistema de Actividades y Estructura de Flujos, y si bien, en teoría todas las variables que pueden incidir en el estado de la movilidad están consideradas en una de las tres antes mencionadas, en el caso de la ciudad de Mexicali es posible que exista otra variable que tenga un peso importante en el uso del TC, como lo es el clima extremo de la ciudad. En ese sentido, se propone desarrollar una línea de investigación que analice la incidencia que tienen las altas temperaturas de la ciudad en la elección modal a través de distintos métodos, como puede ser la calibración de modelos desagregados que incorporen el factor del clima en el cálculo de las utilidades, o bien, llevar a cabo análisis de asociación entre el uso del sistema y diferentes estados del clima.

Bibliografía

- Abou-Zeid, M., & Ben-Akiva, M. (2014). Satisfaction and Travel Choices. In T. Gärling, D. Ettema, & M. Friman (Eds.), *Handbook of Sustainable Travel* (pp. 53–65). London: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7034-8>
- Agencia de Ecología Urbana de Barcelona. (2014). *Indicadores relacionados con la movilidad y los servicios* (Plan Especial de Indicadores de Sostenibilidad Ambiental de la Actividad Urbanística de Sevilla).
- Amarales, M. (2010). Control de las emisiones para el transporte automotor. *Centro de Investigación Y Desarrollo Del Transporte, La Habana, Cuba*, 1–8. Retrieved from <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar23/HTML/articulo02.htm>
- Beckx, C., Lefebvre, W., Degraeuwe, B., Vanhulsel, M., Kochan, B., Bellemans, T., ... Int Panis, L. (2013). Assessing the environmental impact associated with different trip purposes. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 18(1), 110–116. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2012.10.002>
- Branza, G., & Cristea, V.-G. (2013). Sustainable transport's indicators. Comparative study: EU-27 and Romania. *Constanta Maritime University Annals*, 14(19), pp 267-270. Retrieved from <http://www2.cmu-edu.eu/annals/on-line-journal/%5Cnhttps://trid.trb.org/view/1310575>
- Burns, R. E. (1969). Transport Planning: Selection of Analytical Techniques. *Journal of Transport Economics and Policy*, 3(3), 306–321.
- Cal y Mayor, R., & Cárdenas, J. (2008). *Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones*. (Alfaomega, Ed.) (8th ed.). México: Cal y Mayor y Asociados.
- Cascetta, E. (2009). *Transportation Systems Analysis. Models and Applications*. Springer. [https://doi.org/10.1016/0041-1647\(76\)90008-3](https://doi.org/10.1016/0041-1647(76)90008-3)
- Cedeño Millares, R. D., & Carcacés Domínguez, J. (2010). La calidad en los servicios de transporte. *Contribuciones a La Economía*, 5–6.
- Cervero, R., & Day, J. (2008a). *Residential relocation and Commuting behavior in Shanghai , China: The case for transit oriented development*. <https://doi.org/UCB-ITS-VWP-2008-4>
- Cervero, R., & Day, J. (2008b). Suburbanization and transit-oriented development in China. *Transport Policy*, 15(5), 315–323. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2008.12.011>
- Cervero, R., & Kockelman, K. (1997). Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2(3), 199–219. [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(97\)00009-6](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(97)00009-6)
- Chng, S., White, M., Abraham, C., & Skippon, S. (2016). Commuting and wellbeing in London: The roles of commute mode and local public transport connectivity.

- Preventive Medicine*, 88, 182–188. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2016.04.014>
- Church, A., Frost, M., & Sullivan, K. (2000). Transport and social exclusion in London. *Transport Policy*, 7(3), 195–205. [https://doi.org/10.1016/S0967-070X\(00\)00024-X](https://doi.org/10.1016/S0967-070X(00)00024-X)
- Dhingra, C. (2011). Measuring Public Transport Performance: Lessons for Developing Cities. *Sustainable Urban Transport Technical Document*, 9(Division 44 Water, Energy, Transport), 11. Retrieved from http://www.sutp.org/files/contents/documents/resources/B_Technical-Documents/GIZ_SUTP_TD9_Measuring-Public-Transport-Performance_EN.pdf
- Dodson, J., Buchanan, N., Gleeson, B., & Sipe, N. (2006). Investigating the Social Dimensions of Transport Disadvantage—I. Towards New Concepts and Methods. *Urban Policy and Research*, 24(4), 433–453. <https://doi.org/10.1080/08111140601035317>
- Eboli, L., & Mazzulla, G. (2008). A stated preference experiment for measuring service quality in public transport. *Transportation Planning and Technology*, 31(5), 509–523. <https://doi.org/10.1080/03081060802364471>
- Eibenschutz, R., & Goya Escobedo, C. (2009). *Estudio de integración urbana y social en la expansión reciente de las ciudades en México, 1996-2006: dimensión, características y soluciones*. (Universidad Autónoma Metropolitana, Ed.). México: Miguel Ángel Porrúa.
- El Poder del Consumidor. (2011). *Calidad del transporte en la Ciudad de México*. Retrieved from http://www.elpoderdelconsumidor.org/fabricaweb/%0Awp-content/uploads/1104-Calidad-transportep%25%0AC3%25BAblico_df.pdf
- Eriksson, L., Friman, M., & Gärling, T. (2008). Stated reasons for reducing work-commute by car. *Transportation Research Part F*, 11(6), 427–433. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2008.04.001>
- Eriksson, L., Friman, M., & Gärling, T. (2013). Perceived attributes of bus and car mediating satisfaction with the work commute. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 47, 87–96. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2012.10.028>
- Ettema, D., Gärling, T., Olsson, L. E., Friman, M., & Moerdijk, S. (2013). The road to happiness: Measuring Dutch car drivers' satisfaction with travel. *Transport Policy*, 27, 171–178. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.12.006>
- Ferro, P. S., Muñoz, J. C., & Behrens, R. (2015). Trunk and feeder services regulation : Lessons from South American case studies. *Case Studies on Transport Policy*, 3(2), 264–270. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2014.10.002>
- Galán, J. R. (2005). Determinantes de la demanda por transporte público y privado en el Área Metropolitana de Monterrey. *Ciencia UANL*, VIII(4), 495–501. Retrieved from http://eprints.uanl.mx/1645/1/art_transporte.pdf
- Giuliano, G., & Small, K. A. (1993). Is the Journey to Work Explained by Urban Structure? *Urban Studies*, 30(9), 1485–1500. <https://doi.org/10.1080/00420989320081461>

- Gordon, P., Richardson, H. W., & Jun, M.-J. (1991). The Commuting Paradox Evidence from the Top Twenty. *Journal of the American Planning Association*, 57(4), 416–420. <https://doi.org/10.1080/01944369108975516>
- Greene, D. L., & Wegner, M. (1997). Sustainable transport. *Journal of Transport Geography*, 5(3), 177–190. [https://doi.org/10.1016/S0966-6923\(97\)00013-6](https://doi.org/10.1016/S0966-6923(97)00013-6)
- Gudmundsson, H. (2003). Making concepts matter: sustainable mobility and indicator systems in transport policy. *International Social Science Journal*, 55(2), 199–217. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2451.2003.05502003.x>
- Häkkinen. (2007). *Trends and Indicators for Monitoring the EU Thematic Strategy on Sustainable Development of Urban Environmen.*
- Hamilton, B. W. (1982). Wasteful Commuting. *Journal of Political Economy*, 90(5), 1035–1053. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/1837132>
- Hamilton, B. W. . (1989). Wasteful Commuting Again. *Journal of Political Economy*, 97(6), 1497–1504.
- Huang, S. L., Yeh, C. T., Budd, W. W., & Chen, L. L. (2009). A Sensitivity Model (SM) approach to analyze urban development in Taiwan based on sustainability indicators. *Environmental Impact Assessment Review*, 29(2), 116–125. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2008.03.003>
- IMIP. (2007). *Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Población de Mexicali 2025. Periódico Oficial del Estado de Baja California*. Mexicali: XXVIII Ayuntamiento de Mexicali. Retrieved from <http://www.mexicali.gob.mx/transparencia/administracion/plandesarrollourbano/pduc p2025.pdf>
- IMIP, & SIMUTRA. (2011). *Plan Maestro de Vialidad y Transporte de Mexicali, B.C.* Mexicali.
- Iracheta, A. (2011). La necesidad de una política pública para el desarrollo de sistemas integrados de transporte en grandes ciudades mexicanas. *Revista INVI*, 26(71), 133–142. <https://doi.org/10.4067/S0718-83582011000100006>
- Iracheta, A. (2012). *Crisis Territorial en México: La hora de la reforma urbana*. (Red de investigación sobre áreas metropolitanas de Europa y América Latina).
- Jara, M., & Carrasco, J. (2010). Indicadores de inclusión social, accesibilidad y movilidad: experiencias desde la perspectiva del sistema de transporte. *Ingeniería de Transporte*, 14(1), 18–25. Retrieved from <http://www.ingenieriadetransporte.org/index.php/sochitran/article/view/105/40>
- Joumard, R., Gudmundsson, H., & Folkesson, L. (2012). Framework for Assessing Indicators of Environmental Impacts in the Transport Sector. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2242(2242), 55–63. <https://doi.org/10.3141/2242-07>
- K. Lo, H., & Szeto, W. Y. (2004). Planning transport network improvements over time. In

- D.-H. Lee (Ed.), *Urban and Regional Transportation Modeling* (pp. 157–176). Edward Elgar.
- Kennedy, C., Miller, E., Shalaby, A., MacLean, H., & Coleman, J. (2005). The four pillars of sustainable urban transportation. *Transport Reviews*, 25(4), 393–414.
<https://doi.org/10.1080/01441640500115835>
- Kunieda, M., & Gauthier, A. (2007). *Género y Transporte Urbano : Inteligente y Asequible. Transporte Sostenible: Texti de Referencia para formuladores de políticas públicas en ciudades de desarrollo*. Eschborn, Alemania.
- Leo, A., Morillón, D., & Silva, R. (2017). Review and analisis of urban mobility strategies in Mexico. *Case Studies on Transport Policy*.
<https://doi.org/10.1016/j.cstp.2016.11.008>
- Levinson, D. M., & Kumar, A. (1994). Journal of the American Planning Association. *Journal of the American Planning Association*, 6(3), 319–332.
<https://doi.org/10.1080/01944369408975590>
- Ley García, J. (2006). Movilidad urbana y transporte público: El arreglo urbano en Tijuana. *Revista Universitaria de La UABC*, 53(July), 8–13.
- Li, S., & Liu, Y. (2016). The jobs-housing relationship and commuting in Guangzhou, China: Hukou and dual structure. *Journal of Transport Geography*, 54, 286–294.
<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.06.014>
- Litman, T. (2012). *Gestión de la movilidad para México. Beneficios para su desarrollo económico*. Mexicali. Retrieved from <http://mexico.itdp.org/wp-content/uploads/Gestion-de-la-movilidad-Todd-Litman.pdf>
- Loader, C., & Stanley, J. (2009). Growing bus patronage and addressing transport disadvantage-The Melbourne experience. *Transport Policy*, 16(3), 106–114.
<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2009.02.001>
- LOGIT. (2009). *Proyecto de modernizacion, Linea Express , BRT Mexicali*. Mexicali.
- Luk, J. Y. K. (2003). Reducing Car Travel in Australian Cities: Review Report. *Journal of Urban Planning and Development*, 129(2), 84–96.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9488\(2003\)129:2\(84\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9488(2003)129:2(84))
- Mameli, F., & Marletto, G. (2014). Can National Survey Data be Used to Select a Core Set of Sustainability Indicators for Monitoring Urban Mobility Policies? *International Journal of Sustainable Transportation*, 8(5), 336–359.
<https://doi.org/10.1080/15568318.2012.700000>
- Manheim, M. L. (1984). *Fundamentals of Transportation Systems Analysis*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Medina Ramírez, S. (2012). *La Importancia De Reduccion Del Uso Del Automovil En Mexico*. Mexicali.
- Medina Ramirez, S., & Veloz Rosas, J. (2012a). *Guía de estrategias para la reducción del uso del auto en ciudades mexicanas*. México.

- Medina Ramirez, S., & Veloz Rosas, J. (2012b). *Planes Integrales de Movilidad. Lineamientos para una movilidad urbana sustentable*. México. Retrieved from <http://mexico.itdp.org/wp-content/uploads/Planes-integrales-de-movilidad-lineamientos.pdf>
- Medina Ramírez, S., & Veloz Rosas, J. (2013). *Desarrollo orientado al transporte: Regenerar las ciudades mexicanas para mejorar la movilidad* (Vol. 1). México.
- Miao, Q., Bouchard, M., Chen, D., Rosenberg, M. W., & Aronson, K. J. (2015). Commuting behaviors and exposure to air pollution in Montreal, Canada. *Science of the Total Environment*, 508, 193–198. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.11.078>
- Mihyeon Jeon, C., & Amekudzi, A. (2005). Addressing Sustainability in Transportation Systems: Definitions, Indicators, and Metrics. *Journal of Infrastructure Systems*, 11(1), 31–50. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1076-0342\(2005\)11:1\(31\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0342(2005)11:1(31))
- Molina, O. (2017a, March 29). Lanzarán licitación para completar proyecto del BRT. *La Crónica*. Retrieved from <http://www.lacronica.com/EdicionEnLinea/Notas/Noticias/29032017/1195684-Lanzaran-licitacion-para-completar-proyecto-del-BRT.html>
- Molina, O. (2017b, June 20). Aprueba Cabildo invertir 70 MDP en BRT. *La Crónica*. Retrieved from <http://www.lacronica.com/EdicionEnLinea/Notas/Noticias/20062017/1227411-Aprueba-Cabildo-invertir-70-MDP-en-BRT.html>
- Molinero, Á., & Sánchez, L. (1997). *Transporte Público: Planeación, diseño, operación y administración*. (UAEM, Ed.). Toluca, Estado de México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Morales Morales, E. E., Burgos Flores, D., Valenzuela Barreras, M. I., & López Montellano, G. (2016). Análisis de preferencia en tres rutas del transporte público en la ciudad de Hermosillo. *EPISTEMUS, Ciencia Tecnología Y Salud*, 20, 81–89. Retrieved from <http://sahuarus.mat.uson.mx/index.php/epistemus/article/view/55>
- Mungaray Moctezuma, A., & Garcia Gomez, L. G. (2014). Mexicali-San Felipe en la calidad de vida de sus inmediaciones. *Estudios Sociales*, 23(46), 191–212.
- Muñoz Miguel, J. P., Simón de Blas, C., & Jiménez Barandalla, I. C. (2014). Estudio empírico sobre la utilización del transporte público en la Comunidad de Madrid como factor clave de movilidad sostenible. *Cuadernos de Economía (Spain)*, 37(104), 112–124. <https://doi.org/10.1016/j.cesjef.2013.12.001>
- Murray, A. T., Davis, R., Stimson, R. J., & Ferreira, L. (1998). Public Transportation Access. *Transportation Research Part D*, 3(5), 319–328. [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(98\)00010-8](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(98)00010-8)
- Olsson, L. E., Gärling, T., Ettema, D., Friman, M., & Fujii, S. (2013). Happiness and Satisfaction with Work Commute. *Social Indicators Research*, 111(1), 255–263. <https://doi.org/10.1007/s11205-012-0003-2>
- ONU-Hábitat. (2015). *Reporte Nacional de Movilidad Urbana en México 2014-2015*.

Reporte Global en Asentamientos Humanos. México. Retrieved from <http://www.onuhabitat.org/Reporte Nacional de Movilidad Urbana en Mexico 2014-2015 - Final.pdf>

- Ortúzar, J. de D., & Willumsen, L. G. (2011). *Modelling Transport* (4th ed.). John Wiley & Sons, Ltd.
- Páez, A., & Whalen, K. (2010). Enjoyment of commute: A comparison of different transportation modes. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44(7), 537–549. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2010.04.003>
- Parras, M. A. (2015). Tiempo de viaje en transporte público . Aproximación conceptual y metodológica para su medición en la ciudad de Resistencia.
- Polydoropoulou, A., Garcia, C., & Litinas, N. (2009). Experienced and expected happiness in transport mode decision making process. *Transportation Research Board 88th Annual Meeting*, 1–13. Retrieved from <http://trid.trb.org/view.aspx?id=881613>
- Prillwitz, J., & Barr, S. (2011). Moving towards sustainability? Mobility styles, attitudes and individual travel behaviour. *Journal of Transport Geography*, 19(6), 1590–1600. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2011.06.011>
- Pritchard, J. P., Moura, F., De Abreu E Silva, J., & Martinez, L. M. (2014). Spatial analysis of transportation-related social exclusion in the Lisbon metropolitan area. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 111(5), 440–449. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.077>
- Ramos Campos, Q., Paz Flores, L. F., & Pardo Vélez, C. F. (2015). *Instrumentos Para El Desarrollo Orientado Al Transporte. Hacia ciudades bajas en emisiones*. México. Retrieved from <http://mexico.itdp.org/wp-content/uploads/Instrumentos-para-el-Desarrollo-Orientado-al-Transporte.pdf>
- Redman, L., Friman, M., Garling, T., & Hartig, T. (2013). Quality attributes of public transport that attract car users: A research review. *Transport Policy*, 25, 119–127. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.11.005>
- Rietveld, P. (2005). Six reasons why supply-oriented indicators systematically overestimate service quality in public transport. *Transport Reviews*, 25(3), 319–328. <https://doi.org/10.1080/0144164042000335814>
- Roa, H., Rojas, C., Carrasco, J. A., & Tudela, A. (2013). Movilidad urbana e indicadores de exclusión social del sistema de transporte: Evidencia en una ciudad intermedia chilena. *Revista Transporte Y Territorio*, 8, 45–64.
- Rouwendal, J., & Nijkamp, P. (2004). Living in Two Worlds: A Review of Home to Work Decisions. *Growth and Change*, 35(3), 287–303.
- Santos, A. S., & Ribeiro, S. K. (2013). The use of sustainability indicators in urban passenger transport during the decision-making process: The case of Rio de Janeiro, Brazil. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(2), 251–260. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.04.010>

- Santos, A. S., & Ribeiro, S. K. (2015). The role of transport indicators to the improvement of local governance in Rio de Janeiro City: A contribution for the debate on sustainable future. *Case Studies on Transport Policy*, 3(4), 415–420. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2015.08.006>
- Sobrinho, J. (2006). Patrones de dispersión intrametropolitana en México. *Estudios Demográficos Y Urbanos*, 22(3), 583–617. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.24201/edu.v22i3.1272>
- Spangenberg, J. H. (2002). Environmental space and the prism of sustainability: Frameworks for indicators measuring sustainable development. *Ecological Indicators*, 2(3), 295–309. [https://doi.org/10.1016/S1470-160X\(02\)00065-1](https://doi.org/10.1016/S1470-160X(02)00065-1)
- Suzuki, H., Cervero, R., & Luchi, K. (2014). *Transformando las ciudades con el transporte público: integración del transporte público y el uso del suelo para un desarrollo urbano sostenible*. Bogotá: Findeter. Financiera del Desarrollo Territorial S. A. Retrieved from <http://documents.worldbank.org/curated/en/895051468329469373/pdf/746300PUB0v10S00Box385416B00PUBLIC0.pdf>
- Tanguay, G. A., Rajaonson, J., Lefebvre, J.-F., & Lanoie, P. (2010). Measuring the sustainability of cities: An analysis of the use of local indicators. *Ecological Indicators*, 10(2), 407–418. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.07.013>
- Tapia, M. (2017, June 12). En octubre operará el BRT. *La Voz de La Frontera*. Retrieved from <https://www.lavozdelafrontera.com.mx/mexicali/en-octubre-operara-el-brt>
- TCRP. (2004). *Transit-Oriented Development in the United States: Experiences, Challenges, and Prospectes*. (Transportation Research Board, Ed.). Washington: Federal Transit Administration. Retrieved from <http://www.trb.org/Publications/Blurbs/154989.aspx>
- Teodorović, D., & Janić, M. (2017). *Transportation Engineering. Theory, Practice, and Modeling*. (Butterworth-Heinemann Elsevier, Ed.), *Transportation Engineering*. Oxford: Joe Hayton. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803818-5.00009-3>
- Thevathasan, A., & Balachandran, B. (2007). Customers ' Perceptions of Metropolitan Train Services in Melbourne. *30th Australasian Transport Research Forum*, (July 1997), 1–15.
- Too, L., & Earl, G. (2009). Public transport service quality and sustainable development: a community stakeholder perspective. *Sustainable Development*, 18(1), 51–56. <https://doi.org/10.1002/sd.412>
- Tran, M. T., Zhang, J., Chikaraishi, M., & Fujiwara, A. (2016). A joint analysis of residential location, work location and commuting mode choices in Hanoi, Vietnam. *Journal of Transport Geography*, 54, 181–193. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.06.003>
- UITP. (2003). Quality as a means of reconciling individual needs with the collective challenges of sustainable development. *Focus*, (January), 1–4.

- UITP. (2013). Transporte público: creación de empleo verde y fomento del crecimiento inclusivo. *Focus*, 1–8.
- UNEP. (2011). *Technologies for Climate Change Mitigation - Transport Sector. Transport Policy*. Roskilde, Denmark: UNEP.
- Velandia, C. (2014). *Accesibilidad y Movilidad Urbana en el Centro de la Ciudad de Mexicali, Baja California, México: Propuesta de Intervención para el Mejoramiento de la Movilidad Peatonal hacia el Cruce Fronterizo con Estados Unidos*. Universidad Iberoamericana del Noroeste. <https://doi.org/10.13140/2.1.3756.3689>
- Wright, L., & Hook, W. (2007). *Bus Rapid Transit Planning Guide*. Nueva York. <https://doi.org/2007>
- Yamili, Y., Mallqui, C., & Pojani, D. (2017). Barriers to successful Bus Rapid Transit expansion : Developed cities versus developing megacities. *Case Studies on Transport Policy*, 5(2), 254–266. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2017.01.004>
- Zegras, C. (2005). *Sustainable urban mobility: exploring the role of the built environment*. Massachusetts Institute of Technology. Retrieved from <http://hdl.handle.net/1721.1/34170>
- Zegras, C. (2006). Sustainable Transport Indicators and Assessment Methodologies. In *Biannual Conference and Exhibit of the Clean Air Initiative for Latin American Cities* (p. 17). São Paulo, Brazil. Retrieved from http://web.mit.edu/czegras/www/Zegras_LAC-CAI_Bkgd.pdf