

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS

***“IMPLEMENTACIÓN DE MODELOS DE MICRO SIMULACIÓN VEHICULAR
PARA EL ANÁLISIS DE RUTAS DEL TRANSPORTE DE CARGA PESADA EN ZONAS
URBANAS. CASO DE ESTUDIO EN MEXICALI, BAJA CALIFORNIA”***

PRESENTA:
VICTOR MANUEL HUERTAS LOPEZ

DIRECTOR DE TESIS:
DR. ALEJANDRO SÁNCHEZ ATONDO

CO-DIRECTOR DE TESIS:
DR. LEONEL G. GARCÍA GÓMEZ

MEXICALI, B. C. 31 DE AGOSTO DE 2023

DEDICATORIA:

Este trabajo se lo dedico a mi esposa, a mi hermana, a mis padres y a mis amigos, los cuales siempre han estado ahí para apoyarme y me han hecho seguir adelante en este camino.

AGRADECIMIENTOS:

Primeramente, quisiera agradecer a mis maestros que hicieron posible concluir este trabajo, a mi Director el Dr. Alejandro Sánchez Atondo y a mi Co-Director el Dr. Leonel Gabriel García Gómez, sin todas sus enseñanzas y lecciones no habría podido terminar este trabajo, gracias por sus regaños y por su paciencia.

Le agradezco mucho a mis padres, los cuales me han enseñado todo lo que se, han forjado mis valores y construyeron todo lo que soy, siempre han estado ahí para mí brindándome todo su amor y su cariño, los quiero mucho.

Le quiero agradecer a mi hermana menor, la cual ha iluminado mi vida desde que apareció en mi vida, siempre cuidándome y regañándome con cariño, siempre atenta a escucharme cuando lo necesito.

También quiero mencionar a mis amigos, los cuales han sufrido junto conmigo el tiempo que, tarde realizando este trabajo, les agradezco mucho su compañía y agradezco el momento en que se atravesaron en mi vida para convertirse en una segunda familia.

Agradezco a mi esposa Daniela, por ser la persona más especial y única que puede existir, por siempre estar ahí para mí, por darme todo tu cariño, por tenerme paciencia, por siempre creer en mí y por siempre motivarme a seguir creciendo, muchas gracias por todo este tiempo juntos mi vida, te amo.

RESUMEN

El Transporte de Carga Pesada (TCP) en Zonas Urbanas es una actividad fundamental para el desarrollo de una ciudad, ya que es esencial en el crecimiento económico, territorial y/o social. Si bien es cierto que este tipo de transportes trae consigo importantes beneficios para el desarrollo urbano, es importante aclarar que también conlleva a repercusiones en la calidad de vida de la población, afectando el desplazamiento de los usuarios en su rutina diaria y causando mayor congestión vehicular, generando problemas sociales, económicos y ambientales, contaminación del aire, deformaciones en el pavimento, ruido e incidentes de tráfico. El objetivo de este proyecto de investigación es evaluar el impacto del TCP en un segmento vial que presenta una alta concentración de este tipo de transporte mediante técnicas de micro simulación, permitiendo validar un modelo general de red de carga para una zona urbana aplicado a un caso de estudio ubicado en la ciudad de Mexicali, Baja California, la cual es una ciudad industrial que forzosamente requiere de los TCP para el desarrollo de su economía. Los resultados de este proyecto señalan que, si se restringe la circulación del TCP, se obtiene una reducción promedio del 22% en la longitud de colas en cada intersección que se analizó y reduciendo el tiempo de traslado promedio en un 12%, consiguiendo una mejora considerable en el flujo general de todo el segmento vial. Este estudio tiene la finalidad de dirigir a los tomadores de decisiones de ciudades ubicadas en países en vías de desarrollo a utilizar herramientas que les permitan identificar estrategias para reducir el impacto negativo que genera el TCP mediante una movilidad más sustentable.

Palabras clave: Transporte de carga pesada (TCP), Zonas urbanas, países en desarrollo.

ABSTRACT

Heavy Goods Vehicles (HGV) in Urban Areas is a fundamental activity for the development of a city, since it is essential in economic, territorial and/or social growth. Although it is true that this type of transport brings important benefits for urban development, it is important to clarify that it also has repercussions on the quality of life of the population, affecting the movement of users in their daily routine and causing greater traffic congestion, generating social, economic and environmental problems, air pollution, pavement deformations, noise and traffic incidents. The objective of this research project is to evaluate the impact of the HGV in a road segment that presents a high concentration of this type of transport through micro simulation techniques, allowing the validation of a general freight network model for an urban area applied to a case. study located in the city of Mexicali, Baja California, which is an industrial city that necessarily requires HGV for the development of its economy. The results of this project indicate that, if the circulation of the HGV is restricted, an average reduction of 22% is obtained in the length of queues at each intersection that was analyzed and reducing the average transfer time by 12%, achieving an improvement considerable in the general flow of the entire road segment. This study has the purpose of directing decision makers of cities located in developing countries to use tools that allow them to identify strategies to reduce the negative impact generated by the HGV through more sustainable mobility.

Keywords: Heavy Goods Vehicles, Urban Areas, Developing countries.

Índice de Contenido

DEDICATORIA:	2
AGRADECIMIENTOS:	2
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
ÍNDICE DE CONTENIDO	5
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE TABLAS	8
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	9
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
OBJETIVO GENERAL	13
<i>Objetivos Específicos</i>	13
HIPÓTESIS	13
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	14
TRANSPORTE DE CARGA PESADA EN ZONAS URBANAS.....	14
<i>Actores Involucrados y Enfoque de Análisis</i>	14
<i>Medidas Implementadas y Resultados Obtenidos</i>	20
MODELACIÓN DE SISTEMAS DE TRANSPORTE.....	22
<i>Complejidad en el Análisis de los Sistemas de Transporte</i>	22
<i>Toma de Decisiones y Uso de Modelos</i>	25
<i>Tipo de Modelos</i>	29
FUNDAMENTOS DE LOS MODELOS DE MICRO SIMULACIÓN	31
<i>Interacción de Vehículos</i>	31
<i>Conceptos Fundamentales</i>	37
CAPÍTULO 3. ANTECEDENTES	42
IMPORTANCIA DEL TRANSPORTE DE CARGA EN MÉXICO.....	42
MARCO NORMATIVO APLICADO AL TRANSPORTE DE CARGA.....	44
ANTECEDENTES DEL CASO DE ESTUDIO (INSTRUMENTOS DE PLANEACIÓN).....	48
CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA	51
ANÁLISIS CONCEPTUAL ESTRATÉGICO.....	52
ANÁLISIS DE LA ZONA DE ESTUDIO	53
<i>Evaluación de la Zona de Estudio</i>	59

CAPÍTULO 5. RESULTADOS.....	61
ANÁLISIS CONCEPTUAL ESTRATÉGICO.....	61
ANÁLISIS DE LA ZONA DE ESTUDIO	66
<i>Construcción del Modelo de Oferta.....</i>	<i>67</i>
<i>Modelación de la Demanda y Asignación</i>	<i>70</i>
<i>Evaluación del Modelo del Estado Actual: Análisis de Calibración y Validación.....</i>	<i>75</i>
EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN.....	76
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	80
CONCLUSIONES METODOLÓGICAS.....	80
CONCLUSIONES PARTICULARES DEL CASO DE ESTUDIO	81
APORTE DE LA INVESTIGACIÓN	82
FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	83
BIBLIOGRAFÍA	85
ANEXOS	94

Índice de Figuras

Figura 1. Involucrados en el transporte de carga pesada en zonas urbanas.	16
Figura 2. Componentes generales de un modelo de transporte.....	27
Figura 3. Proceso de diseño y planeación de un sistema de un sistema de transporte.	28
Figura 4. Tipos de modelos.	29
Figura 5. Sistema de análisis de la teoría del seguimiento vehicular.	32
Figura 6. Modelo de seguimiento vehicular (General Motors).....	33
Figura 7. Fases del modelo de Wiedemann.....	36
Figura 8. Representación de modelo cuando no se logra la estabilidad.	39
Figura 9. Representación de modelo cuando si se logra la estabilidad.....	39
Figura 10. Metodología empleada para el estudio.	51
Figura 11. Esquema para analiza los sentidos de circulación de una intersección.	54
Figura 12. Formato utilizado para aforo vehicular.	56
Figura 13. Principales zonas industriales y vialidades utilizadas por los transportes de carga pesada en la zona urbana de Mexicali.	62
Figura 14. Recorridos de campo, evidencia fotográfica.	63
Figura 15. Puntos y segmentos viales conflictivos en Mexicali.	64
Figura 16. Zona de estudio.....	65
Figura 17. Identificación de Zona de estudio.	68
Figura 18. Diseño de carriles y conectores por sentido de circulación.....	68
Figura 19. Composición vehicular obtenida en campo.....	70
Figura 20. Composición vehicular y límites de velocidad en Vissim.....	71
Figura 21. Creación de señales de control para cada intersección a analizar.....	72
Figura 22. Grupo de señales semafóricas (independencia-MGM).	72
Figura 23. Programa de señales para ciclo semafórico.	73
Figura 24. Visualización inicial de la corrida del modelo (Vista 2D y 3D).	74
Figura 25. Indicadores GEH obtenidos en Vissim.....	75

Índice de Tablas

Tabla 1. Enfoque de análisis de diferentes casos de estudio referentes al Transporte de Carga.	17
Tabla 2. Clasificación vehicular por atributo.	48
Tabla 3. Parámetros del Indicador GEH.	58
Tabla 4. Características de las vialidades a analizar.	66
Tabla 5. Concentrado de aforos realizados en campo.	67
Tabla 6. Duración de tiempos de semáforo en cada intersección.	69
Tabla 7. Resumen de clasificación vehicular por vialidad.	70
Tabla 8. Indicadores GEH obtenidos en Excel.	75
Tabla 9. Resumen de valores GEH obtenidos.	76
Tabla 10. Longitud de cola promedio en la zona de estudio.	76
Tabla 11. Tiempo de viaje promedio con presencia del TCP.	77
Tabla 12. Tiempo de viaje promedio sin presencia del TCP.	78
Tabla 13. Beneficio económico de viajes considerando el valor del tiempo (1 Hora).	78
Tabla 14. Beneficio económico de viajes considerando el valor del tiempo.	79
Tabla 15. Resumen de intersección (Independencia - Manuel Gómez Morín).	97
Tabla 16. Resumen de intersección (Independencia - Novena).	98
Tabla 17. Resumen de intersección (Independencia - Venustiano Carranza).	98
Tabla 18. Porcentaje de decisión de los vehículos presentes en la primera intersección.	99
Tabla 19. Porcentaje de decisión de los vehículos presentes en la segunda intersección.	100
Tabla 20. Porcentaje de decisión de los vehículos presentes en la tercera intersección.	100
Tabla 21. Resumen de la composición vehicular presente en la primera intersección.	101
Tabla 22. Resumen de la composición vehicular presente en la segunda intersección.	102
Tabla 23. Resumen de la composición vehicular presente en la tercera intersección.	103
Tabla 24. Concentrado de aforo vehicular por semana en la primera intersección.	104
Tabla 25. Concentrado de aforo vehicular por semana en la segunda intersección.	105
Tabla 26. Concentrado de aforo vehicular por semana en la tercera intersección.	106
Tabla 27. Resumen de aforo vehicular por semana en la primera intersección.	107
Tabla 28. Resumen de aforo vehicular por semana en la segunda intersección.	108
Tabla 29. Resumen de aforo vehicular por semana en la tercera intersección.	109
Tabla 30. Resumen de aforo vehicular por semana en todo el segmento vial.	109

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

El Transporte de Carga Pesada (TCP) en Zonas Urbanas es una actividad fundamental para el desarrollo de una ciudad, ya que es esencial en el crecimiento económico, territorial y/o social (Cui J., et ál., 2015). Así, los servicios de TCP son un factor vital para las ciudades, ya que de ello depende el éxito de competir en una economía globalizada y en la generación de fuentes de empleo (Docherty, 2004; Lindholm y Behrends, 2012). Debido a esto, es lógico pensar que estos tipos de transporte transitan en su mayoría por carreteras nacionales o estatales, sin considerar los impactos negativos que pueden provocar al momento de ingresar a las zonas urbanas, ya sea para entregar o recoger materias primas o bienes para la industria. (Betanzo E., et ál., 2013).

Si bien es cierto que el transporte de carga es indispensable para el desarrollo urbano, es importante aclarar que también conlleva a repercusiones en la calidad de vida de la población, afectando el desplazamiento de los usuarios en su rutina diaria y causando congestionamiento vehicular (Domínguez, 2013). Por lo tanto, una inadecuada planificación de rutas de acceso y circulación para los TCP en zonas urbanas conlleva a problemas sociales, económicos y ambientales, como la congestión vial, contaminación del aire, deformaciones en el pavimento, ruido e incidentes de tráfico (Dablanc, L., et al., 2013).

De acuerdo con Ducret y González (2016), el TCP está descuidado por el ámbito del urbanismo al momento de planear la distribución de una ciudad, por lo cual es entendible que la literatura existente relacionada con el análisis y planeación del TCP en Zonas urbanas no sea tan abundante en comparación con el análisis de transporte de pasajeros o de vehículos particulares. Uno de los motivos por los cuales el transporte de carga en zonas urbanas no ha sido tan estudiado, es que este representa, en la mayoría de los casos, menos del 20% de los viajes totales de una ciudad, sin embargo, aportan proporcionalmente más a los efectos

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

secundarios negativos que otros tipos de viajes (Verlinde, 2015), ya que generan hasta el 50% de las emisiones producto del transporte urbano (Dablanc, 2007).

Por otro lado, la circulación del TCP en el interior de las zonas urbanas genera afectaciones a diversos usuarios, entre los involucrados podemos encontrar a los transportistas, el gobierno local, los proveedores, empresas privadas y residentes de la zona (Cui, J., et al., 2015).

Por lo tanto, administrar el TCP en zonas urbanas es complicado, ya que exige reunir diversos criterios y evaluar a varias partes involucradas en el proceso de la toma de decisiones. El enfoque de las autoridades públicas consiste en evaluar los resultados sociales y ambientales, por otro lado, los operadores de los TCP se enfocan en maximizar los resultados económicos para sostener las actividades y operaciones (Mihaiu et al., 2010). En los países en desarrollo, este desfase de enfoques, aunado a la falta de recursos e información, hace que el TCP reciba poca atención en el desarrollo de planes de desarrollo urbano y movilidad, los cuales generalmente solo establecen acciones genéricas para atender el problema.

De acuerdo con los estudios referentes al TCP en zonas urbanas se encontró que se están utilizando diferentes métodos, modelos y herramientas de análisis, aunque la mayoría se encuentran en fase de desarrollo y experimentación (Ojeda y Tovar, 2016). Dentro de estas herramientas de análisis se encuentran las representaciones a partir de modelos, los cuales permiten planear, reparar, optimizar, inclusive proyectar a futuro el desarrollo de la infraestructura vial ya sea a pequeña escala o micro simulación (una intersección), o a una escala mayor ya sea mesoscópica (una ciudad) o incluso macroscópica (una región), siendo estos últimos dos los más utilizados para llevar a cabo una planeación estratégica. Sin embargo, estos enfoques no permiten una evaluación precisa de los impactos que genera la circulación del TCP en puntos específicos y/o conflictivos de la red vial de una ciudad. Esto es particularmente relevante en los países en desarrollo, donde debido al escenario de disponibilidad de recursos e información, la

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

modelación del TCP es poco implementada y, por consiguiente, existe incertidumbre sobre el impacto que tendría restringir este tipo de transporte en ciertas zonas de una ciudad.

Por lo tanto, este proyecto de investigación pretende detectar y proponer la validación de una propuesta de red de transporte de carga para una zona urbana mediante una herramienta de simulación microscópica en una sección de interés.

En el presente Capítulo (1) se presenta una introducción general de cómo reaccionan y son afectadas las zonas urbanas por la presencia del transporte de carga pesada, como está la situación en otras zonas y que medidas se están implementando en dichos lugares. En este capítulo también se menciona el planteamiento del problema a resolver, los objetivos que se quieren lograr con este trabajo, así como también una hipótesis de los resultados esperados. En el capítulo 2 se presenta una recopilación de investigaciones previas, conceptos básicos e información que ayude a sustentar las bases de esta investigación. En el capítulo 3 se presentan los antecedentes relevantes de acuerdo a normativas, políticas y reglamentos que se aplican al transporte de carga pesada al momento de ingresar a una zona urbana. El capítulo 4 (Metodología) está conformado por la estructura de etapas y procesos que se llevaron a cabo para conseguir cumplir con los objetivos descritos en el capítulo 1, además se explica y detalla la herramienta que se utilizó, y como se calibró y validó dicha herramienta para lograr analizar la zona de estudio. En el capítulo 5 (Resultados) se observan los resultados obtenidos a partir de seguir los pasos descritos en el capítulo 4, se observan y discuten los datos obtenidos. El capítulo 6 (Conclusiones) está conformado por los comentarios finales respecto al trabajo realizado, en este apartado también se observan las recomendaciones finales. En el capítulo 7 se puede hacer consulta de la bibliografía utilizada en el documento y finalmente en el capítulo 8 se pueden observar los anexos de este trabajo, es información extra y complementaria donde se pueden observar tablas con datos, formulas utilizadas e imágenes de los recorridos realizados.

Planteamiento del Problema

Actualmente, muchas zonas urbanas en países en desarrollo muestran una alta presencia del sector industrial y por consiguiente una alta circulación del Transporte de Carga Pesada, el cual circula a través de toda la ciudad sin ningún tipo de restricción o limitación, utilizando en ocasiones vialidades que no son aptas para su circulación diaria.

Los autores Lindholm y Blinge (2014) comentan que, aunque las autoridades públicas sean conscientes de las problemáticas que generan el movimiento de los transportes de carga en zonas urbanas, por lo general no hay manera de plantear una solución totalmente correcta para resolver las afectaciones negativas, esto por la falta de recursos y capacidad de gestión.

La falta de monitoreo del TCP al momento de ingresar a las zonas urbanas genera afectaciones tanto físicas, como económicas, sociales y ambientales. La circulación de este tipo de transportes por vialidades que no son aptas para su desplazamiento genera deformaciones visibles en la carpeta asfáltica, contaminación atmosférica, visual, auditiva, entre otras externalidades negativas.

En las ciudades de países en desarrollo que indican una alta presencia del sector industrial el tema del transporte de carga no se ha analizado exhaustivamente, aún existe una falta de evaluación por parte de los planeadores y tomadores de decisiones, no existe un análisis específico medible que arroje resultados de la posibilidad de restringir la circulación de los TCP en áreas donde se presenten conflictos o afectaciones motivo de la circulación descontrolada de este tipo de transportes, en general no hay datos concretos que midan el impacto de realizar este tipo de acciones.

Objetivo General

Medir el impacto del Transporte de Carga Pesada en un segmento vial que presenta una alta concentración de este tipo de transporte mediante técnicas de micro simulación, que permita validar un modelo general de red de carga para una zona urbana.

Objetivos Específicos

- Desarrollar una propuesta de red de Transporte de Carga Pesada (TCP) para la zona urbana de Mexicali a nivel de Trazo.
- Generar los modelos necesarios de micro simulación para analizar una zona de conflicto.
- Evaluar el impacto de modelar el escenario microscópico con y sin transporte de carga pesada en la zona de interés.

Hipótesis

La restricción total de los transportes de carga pesada en un segmento vial estratégico para la movilidad urbana de una ciudad fronteriza que cuenta con una alta presencia del sector industrial representa un ahorro general del 10% en tiempo en el desplazamiento general para los demás usuarios de la zona, y permite una reducción de longitudes de cola del 15%.

Capítulo 2. Marco Teórico

Transporte de Carga Pesada en Zonas Urbanas

Actores Involucrados y Enfoque de Análisis

El tema del TCP en Zonas Urbanas o también conocido y utilizado por diferentes autores como Transporte Urbano de Carga o de Mercancías, es un tema complejo que exige reunir varios criterios y evaluar a varias partes involucradas en el proceso de la toma de decisiones. Estudios como el de Leonardi et al. (2009) aseguran que los datos de desempeño del TCP suelen estar incompletos, presentan inconsistencias o son inexistentes, además de encontrarse dispersos entre diversas organizaciones.

Los diferentes actores involucrados en el TCP tendrán sus propios objetivos e intereses, los cuales, en su mayoría puede que no estén conectados entre sí. Todos los sectores involucrados buscan actuar de manera que se cumplan sus propias necesidades o intereses, por lo que es difícil abordar los intereses de las distintas partes interesadas. (Cui et al., 2015).

Se necesita una perspectiva más amplia que tenga en cuenta diferentes tipos de actores, sus interrelaciones y diferentes preferencias en una variedad de políticas (Stathopoulos et al., 2012). En Ruesch y Glucker (2001) se propuso una clasificación general donde se pueden identificar tres tipos de actores en la administración y gestión del TCP:

1.- Consumidores finales, aquí se considera a:

- Los habitantes; que pueden ser los residentes del lugar, empresarios o empleados, cuyo interés principal es evitar los conflictos causados por el transporte de carga; y
- Turistas o personas de compras, quienes comparten el interés anterior, además de preocuparles la variedad y precio de los productos de última generación.

2.- Operadores de logística y transporte, aquí se considera a:

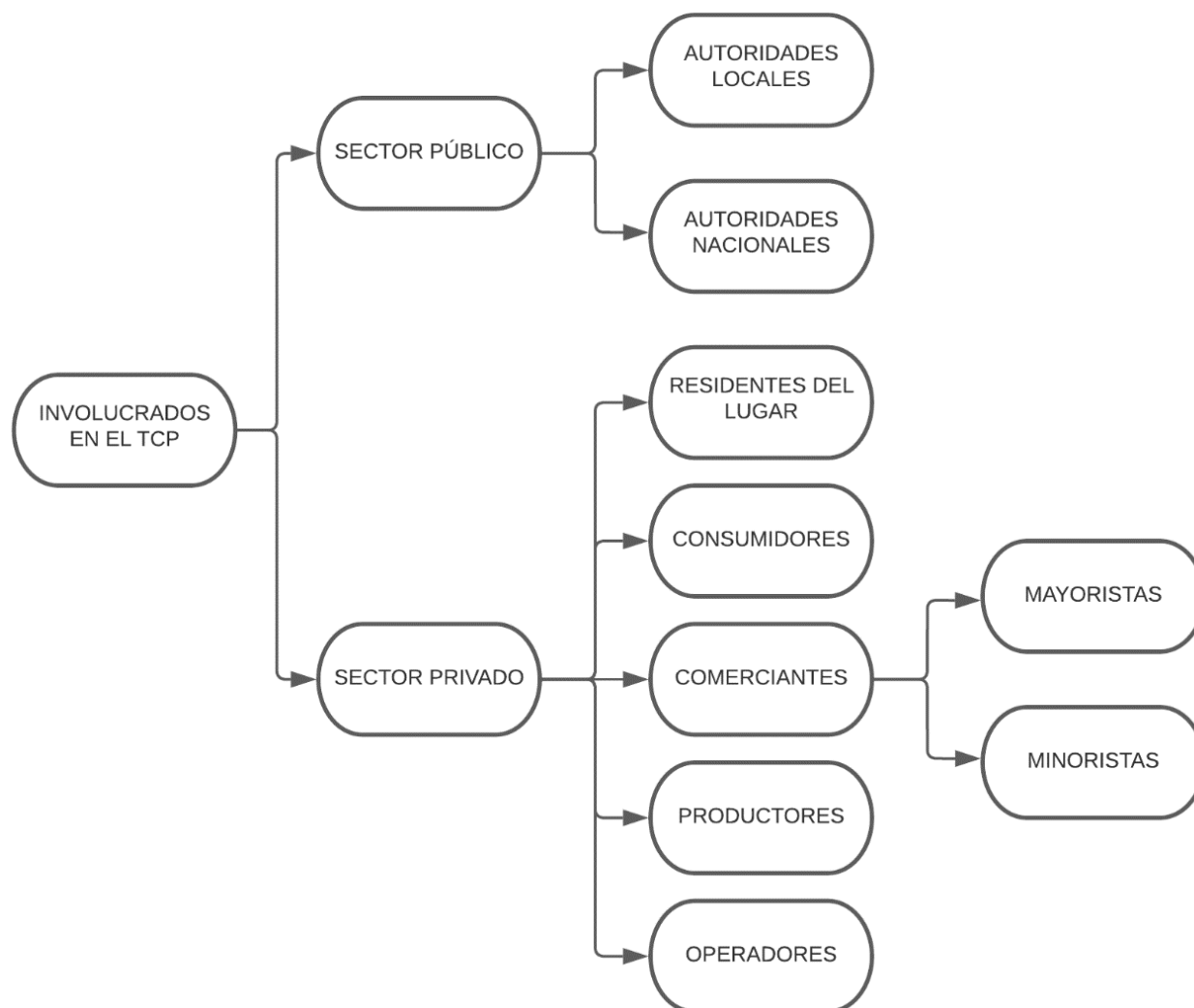
- Distribuidores de mercancías al por mayor (Mayoristas), los cuales su interés principal es la entrega y recogida de mercancías al menor costo posible, sin dejar de lado la satisfacción del cliente;
- Empresas transportistas, los cuales su interés principal es la operación de transporte a bajo costo sin afectar la calidad de su servicio, buscando satisfacer los intereses del remitente y del destinatario (tienda, comercio, etc.); y
- Receptores o propietarios de los establecimientos, cuyo interés principal está enfocado en plazos de entrega cortos.

3.- Administración pública, aquí se incluyen:

- El gobierno local, cuya principal preocupación es conseguir una ciudad atractiva para sus habitantes y visitantes, además de contar con un sistema de transporte eficaz y eficiente; y
- El gobierno nacional, quienes su principal interés es disminuir lo más posible los efectos externos del transporte y maximizar los beneficios económicos.

A partir de esta clasificación se identifica que entre los principales involucrados que participan en el Transporte de Carga en Zonas Urbanas podremos encontrar a múltiples actores, con diversos intereses y objetivos que muchas veces se contraponen, principalmente si se trata de actores del sector público o privado. Por lo tanto, en la Figura 1 se presenta una clasificación de actores detallada, a partir de dos clases principales: sector público y sector privado.

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

Figura 1. Involucrados en el transporte de carga pesada en zonas urbanas.*Fuente: Elaboración propia.*

Nota: El esquema representa a los diferentes personajes que interactúan en el transporte de carga en zonas urbanas, los cuales están agrupados en dos grupos: el sector público, que hace referencia a las autoridades responsables del movimiento de este tipo de transporte y el sector privado, donde se engloban a los productores, consumidores y los diferentes medios utilizados para lograr que el producto llegue a su destino.

El análisis y la selección de las políticas y soluciones a implementar deben tener en cuenta a estos actores y encontrar el compromiso óptimo entre los intereses de todas las partes interesadas (Russo y Comí, 2011). Por lo que es necesaria una combinación de iniciativas empresariales y políticas públicas para desarrollar un sistema de transporte urbano de carga

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

sostenible (Anderson et al., 2005). Para esto, el diálogo y la participación entre ciudadanos, expertos y todas las partes interesadas es indispensable (Banister, 2008).

En la Tabla 1 se presenta un concentrado de casos de estudio donde se analiza el transporte de carga en zonas urbanas en diferentes países, resaltando los grupos de interés considerandos, los enfoques y elementos considerandos en el análisis, y si se trata de un caso de estudio en una ciudad de país desarrollado o en vías de desarrollo. Es importante mencionar que, un país desarrollado (Índice de Desarrollo Humano igual o superior a 0.80), es aquel que presente un amplio desarrollo industrial, socioeconómico y una alta calidad de vida. (PNUD, 2020).

Tabla 1. Enfoque de análisis de diferentes casos de estudio referentes al Transporte de Carga.

#	Caso de estudio	Grupo de interés considerado *	Social		Económico		Ambiental	
			Políticas o normativas	Seguridad vial	Tiempo	Costos de viaje	Emisiones	Vehículos ecológicos
1	Betanzo et al., 2013	SPU, SPR, CF	X	X			X	
2	de Oliveira et al., 2019	OPE, SPU	X		X	X		
3	Rocha et al., 2019	SPU	X					
4	Cantillo et al., 2014	SPU, OPE			X	X		
5	Moufad y Jawab, 2019	SPU, SPR		X	X	X	X	
6	Mepparambath et al., 2021	COM, SPU, TRA	X		X	X	X	
7	González-Feliu et al., 2014	TRA			X			
8	Dhonde y Patel, 2021	SPU, SPR, CF		X		X		
9	Souza et al., 2021	OPE, SPU		X		X		
10	Hadavi et al., 2018	OPE, SPU		X	X		X	
11	Paddeu et al., 2018	SPU, OPE			X	X	X	X
12	Comi y Conte, 2011	CF		X		X		
13	Dias et al., 2018	SPU			X			
14	Bhaves y Pate, 2021	COM			X		X	
15	Gonzalez-Calderon et al., 2018	TRA			X	X		
16	Veličković et al., 2018	SPR			X	X	X	
17	Pokorná y Nedvěďová, 2014	SPU, SPR, CF			X	X		

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

18	Toilier et al., 2016	COM, SPU, TRA			X	X		
19	Dhonde y Patel, 2020	COM				X	X	
20	Moufad y Jawab, 2020	OPE, SPU			X	X	X	X
21	Silvestri et al., 2021	SPU, OPE					X	
22	Amir Zidi et al., 2014	TRA		X				
23	Low et al., 2020	SPU, SPR, CF	X	X			X	
24	Domínguez Sarabia, A. 2013	COM, SPU, TRA	X		X	X		
25	Ducet y González-Feliu, 2016	OPE, SPU				X		
26	Comi et al., 2012	SPU, OPE		X	X	X		
27	Nuzzolo et al., 2020	TRA		X	X	X	X	
28	Aditjandra et al., 2016	SPU, SPR, CF			X	X	X	
29	Martínez Flores, S.F., 2019	COM, SPU, TRA			X			
30	Ojeda y Tovar, 2016	OPE, SPU		X		X		
31	Betanzo-Quezada, E., 2011	SPU, OPE		X		X		
32	Ambrosini et al., 2008	TRA	X		X	X		
33	Russo y Comi, 2004	SPU, SPR, CF	X					
34	Cano-Torres y Rodríguez-Durán, 2018	COM, SPU, TRA			X	X		
35	Parrado Cardona, M. C., 2014	OPE, SPU		X	X	X	X	
36	Antún, J. P., 2013	SPU, OPE	X		X	X	X	
37	Wolpert y Reuter, 2012	TRA			X	X	X	X
38	Lindholm y Blinge, 2014	SPU, SPR, CF		X		X		

Fuente: Elaboración propia.

Nota: En la tabla anterior se pueden apreciar 3 enfoques de análisis principales (Social, económico y ambiental) orientados al estudio del transporte de carga, dichos enfoques a su vez se dividen en áreas más específicas, las cuales dependerán del grupo de interés al que este considerando el estudio.

** Entre los grupos de interés que podemos encontrar en la tabla anterior se pueden mencionar a los siguientes:*

SPU: Sector Público

SPR: Sector Privado

COM: Comerciantes

TRA: Transportistas

OPE: Operadores de Logística

CF: Consumidor Final

A partir de los casos de estudio analizados se identifican diferentes enfoques y/o barreras que presenta el TCP y que los diferentes actores involucrados pretenden resolver o mitigar.

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

Principalmente se busca disminuir la congestión vial y la contaminación perteneciente a los TCP que ingresan en el área urbana (Cuevas et al., 2013). También resalta que una de las tensiones más comunes en los servicios del TCP es operar a bajo costo aun con altos niveles de servicio, esto se traduce en un desafío ya que atienden una mayor cantidad de clientes con un periodo de entrega ajustado (Taniguchi et al., 2001).

Por otro lado, la accesibilidad del transporte de carga a las instalaciones en zonas urbanas es un factor clave para realizar las actividades económicas que necesitan del traslado de bienes y mercancías (Lindholm, M. y Behrends, S., 2012). A causa de la congestión vehicular, los plazos de tiempo de entrega aumentan y se vuelven poco confiables, causando impactos económicos negativos (Verlinde, 2015). En esta misma línea, la falta de espacios para carga y descarga de los puntos comerciales en zonas urbanas genera problemas en la operación, produciendo obstrucción de tráfico vehicular (Lindholm, M. y Behrends, S., 2012). El estacionamiento de doble fila de los vehículos de carga en vialidades urbanas es una problemática que sucede a menudo en las ciudades, lo que provoca inseguridad vial (Browne et al. 2012; Gao y Ozbay 2016).

Finalmente, en años recientes el aumento de compras en línea por parte de los usuarios ha generado un impacto en el aumento de vehículos de carga que transitan por arterias y caminos locales para satisfacer las demandas de los consumidores, provocando que se lleven a cabo estudios para este tipo de transporte de mercancías (McDonald, N., et al., 2019).

A partir de lo anterior se identifica que la habitabilidad y funcionalidad de las ciudades depende del transporte de mercancías, sin embargo, al mismo tiempo la población considera los TCP como un factor negativo para la sostenibilidad de las ciudades (Lindholm, M. y Behrends, S. 2012). Esto debido a los impactos negativos de los movimientos de vehículos, el almacenamiento, las operaciones del centro de distribución y las actividades de entrega y

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

recolección (Allen, et al., 2000). Todo esto afecta considerablemente de forma negativa la sostenibilidad de las ciudades a largo plazo (Mckinnon et al., 2012).

Medidas Implementadas y Resultados Obtenidos

Los intentos de las autoridades locales por mejorar la seguridad vial, reducir la congestión vehicular, y proteger la infraestructura urbana se basan en restricciones para los operadores de vehículos de mercancías, tratando de reducir los inconvenientes que este tipo de vehículos generan y mejorar la calidad de vida para los residentes de la zona. Kant, G., et al., 2016 indican que, para evitar inconvenientes a los ciudadanos durante el día, se han creado ventanas horarias que restringen a los transportes de mercancía el acceso a ciertas zonas. En esta misma línea, Lindholm, M. y Behrends, S. (2012) indican que algunas medidas que se han implementado en varias ciudades son las restricciones de peso o tiempo para el TCP, buscando amortiguar los impactos negativos del movimiento de mercancías, pero a largo plazo, la mayoría de estas medidas no han tenido éxito. Una de las razones es debido a que las restricciones provocan que los operadores opten por camiones de menor tamaño, pero manteniendo un mismo volumen de entrega, lo que se traduce en un impacto negativo en la accesibilidad de las ciudades y en los costos logísticos (Kant, G., et al. 2016). Incluso Zunder e Ibáñez (2004) presentan resultados arrojados de una encuesta enviada a las ciudades en el proyecto Best Urban Freight Solutions (BESTUFSs), señalando que el 50% de las ciudades que respondieron no tenían una autoridad responsable de los problemas provocados por los TCP.

Respecto a los operadores de los TCP, inicialmente se enfocaban en factores económicos, dejando de lado los problemas ambientales que actualmente afectan en mayor medida la calidad de vida de la población, por lo que las autoridades a nivel mundial se ven en la necesidad de implementar reglas y obligarlos a operar de forma más sostenible (Macharis et al., 2014). Resalta que en 2011 la Comisión Europea recomendó actuar en dos segmentos de tráfico vial urbano para lograr un transporte urbano libre de emisiones, dividiendo el transporte

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

de pasajeros y el de mercancías, con el objetivo es lograr un transporte urbano de carga libre de emisiones para el 2030 (Kant, G., et al. 2016). Por su parte Taefi, T. T., et al. (2016) llevaron a cabo un análisis multicriterio de las políticas en Alemania en cuanto a la adopción de vehículos eléctricos en el transporte urbano de mercancías, donde se identificaron diez medidas legales que ya se están implementando en países europeos que apoyan la integración de vehículos eléctricos de carga.

Ante estos escenarios, por parte de los operadores existen algunas propuestas para mejorar la sostenibilidad del transporte urbano de carga, como organización logística, mejoras técnicas en sus vehículos o sistemas de información y comunicaciones, consolidación de carga, aumento del factor de carga del vehículo, entregas fuera de horario, conducción ecológica, uso de fuentes de energía más limpias y sistemas de propulsión alternativos, y optimización de enrutamiento (Quack, 2012; Arvidsson et al., 2013; Oliveira & D'Agosto, 2017). Sin embargo, las propuestas de solución para los aspectos técnicos requieren inversiones por parte de los operadores de los TCP, por lo que es necesario incentivar estas inversiones a través de acuerdos donde se les otorguen algunas ventajas, como ventanas de tiempo más largas, la posibilidad de ingresar a una zona de bajas emisiones, etc. (Kant, G., et al. 2016).

En Russo, F. y Comi, A. (2010), se realizó una clasificación de las medidas logísticas en ciudades europeas para mitigar los efectos negativos del transporte de carga, ellos proponen cuatro clasificaciones; 1) Medidas de infraestructura material: este a su vez, se divide en lineales o superficiales, 2) Medidas inmateriales de infraestructura; en el cual se ve involucrada la Tecnología de la Información y la Comunicación (TIC), 3) Medidas del equipo: enfocado en el desarrollo de dispositivos compatibles con la sustentabilidad considerando factores como propulsión y manejo (punto de carga y descarga), y 4) Medidas de gobernanza: destacan las regulaciones, tarificación vial, incentivos y permisos por mencionar algunos.

Recientemente en un estudio (Sahu, P. K., 2022), clasificaron en cuatro categorías las soluciones de logística para abordar la problemática del transporte de carga dentro de las zonas urbanas, 1) Soluciones de infraestructura; mejorar la distribución de carga y la logística de última milla, combinación modal equilibrada, reducción de costos de inventario, eficiencia y productividad del transporte por carretera, 2) Soluciones tecnológicas: desarrollo de modelos de pronóstico de demanda, automatización de procesos de almacenamiento, implementación de información de datos de inventario, sistemas de inventario justo a tiempo, información en tiempo real y sistemas de transporte inteligente (ITS), 3) Intervenciones políticas; impuestos, incentivos financieros, digitalización de la cadena de suministro, zonificación para operaciones de carga, zonificación para la expansión logística, zonas de baja emisión, restricciones a los vehículos de reparto y 4) Soluciones impulsadas por el mercado: vehículos de carga eléctricos y autónomos, crowdshipping on transit (COT), iniciativas de planificación y cooperación.

Al comparar cómo ha evolucionado esta clasificación de medidas para contrarrestar los efectos adversos del transporte de carga en las ciudades, podemos notar como la investigación va avanzando, destacando que primeramente solo consideraban factores técnicos, de infraestructura y gobernanza, los cuales son fundamentales aun en la actualidad, sin embargo en los estudios más recientes también se abordan medidas involucradas con la tecnología, el medio ambiente, el involucramiento social y la sustentabilidad.

Modelación de Sistemas de Transporte

Complejidad en el Análisis de los Sistemas de Transporte

Un sistema de transporte se compone de una demanda de viajes, la oferta para satisfacerla, y la interacción entre ambos que resulta en los flujos vehiculares en las vialidades de la zona de estudio, niveles de congestión, contaminación, costos de viaje, etcétera. Sin embargo, la demanda de transporte es derivada, es decir, no existe por el simple deseo de

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

transportarse, y más bien, sus características están definidas en función de diversos componentes sociales y económicos del territorio donde el sistema de transporte se encuentra (Ortuzar & Willumsen, 2011).

En este punto, es importante resaltar que debido al crecimiento acelerado de las ciudades, de su población, de los vehículos automotores, de la utilización de la misma infraestructura de transporte para diversas actividades económicas, se han presentado congestionamientos viales particularmente en intersecciones que se acompañan de una serie de externalidades como lo son emisiones contaminantes, ruido, siniestros de tránsito e indirectamente afectaciones en la calidad de vida de los usuarios (Pérez et al., 2014; Bohorquez et al., 2016).

Para atender los problemas relacionados con la infraestructura vial, existen dos ramas de la Ingeniería Civil que se encargan de buscar darle solución a estas problemáticas, las cuales son: la Planeación del Transporte (PT) y la Ingeniería de Tránsito (IT). La IT es la encargada de buscar una solución a los problemas relacionados con la circulación de vehículos mediante la aplicación de ciencias físico – matemáticas, para la planeación de calles, carreteras y zonas anexas a ellas, que sean geométricamente y operativamente seguras y eficientes (González, 2001; Nieto y Cifuentes, 2018). Por otro lado, la PT consiste en la aplicación de procedimientos y técnicas de la IT, para lograr anticipar situaciones futuras y planear soluciones realizables y factibles. Aunado a esto, en relación con el desarrollo urbano, busca reducir y en la medida de lo posible evitar las consecuencias negativas que suele caracterizar la circulación tanto de vehículos como de peatones, logrando así obtener un sistema de tránsito eficiente (Mercado, 2012; Uni, 2018). Navarro (2008) concluyó en sus estudios que, dentro de la PT no hay un solo objetivo, sino que en general tiene varios objetivos a querer resolver, asimismo, involucra una gama considerable de variables del desarrollo urbano, por lo cual es parte importante del proceso continuo de planificación urbana general.

ANALISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

Diversos autores han hecho énfasis en lo difícil y compleja que es la relación entre la ciudad y los sistemas de transporte, por lo cual, es importante indicar entonces que, el desarrollo urbano y los transportes se han ido desarrollando en conjunto uno con el otro a tal punto de no distinguir cual es causa o efecto del otro (Suberviola.2017).

En este sentido, para analizar el sistema de transporte de un área determinada, además de caracterizar su demanda y oferta, es necesario considerar que estas interactúan intensamente con su sistema de actividades el cual representa el conjunto de comportamientos y relaciones individuales, sociales y económicas en el territorio (Cascetta, 2013). Aparte de esto, la propia oferta y demanda de transporte tienen particularidades que hacen que el fenómeno del transporte sea altamente complejo.

Por un lado, la demanda de transporte es una demanda derivada, es decir, no es un fin en sí misma y las personas viajan para satisfacer una necesidad (trabajo, educación, salud, consumo) realizando una actividad en un destino específico. Lo mismo aplica para el transporte de mercancías. Para comprender la demanda de transporte es importante analizar cómo están distribuidas las facilidades para satisfacer estas necesidades humanas e industriales, tanto en contextos urbanos como regionales (Islas et al., 2002).

Así mismo, la demanda de transporte es altamente cualitativa y diferenciada; existe una diversidad de demandas que se diferencian por hora, día, motivo de viajes, tipo de mercancía, etcétera. un servicio que carezca de las características que le permitan satisfacer esta necesidad diferenciada puede resultar completamente inútil. Otra característica de la demanda, es que esta tiene lugar en el espacio. La articulación espacial de la demanda frecuentemente provoca problemas de falta de coordinación del sistema, la cual puede influir de forma relevante en el nivel de servicio que brinda la oferta (Ortuzar & Willumsen, 2011).

Finalmente, la demanda es dinámica, ya que una buena parte de esta se concentra en unas pocas horas del día y en zonas específicas, donde se presentan congestionamientos en horarios pico. Puede ser que un sistema funcione adecuadamente bajo demanda promedio, pero colapse durante horarios punta (Islas et al., 2002).

Por otro lado, la oferta de transporte se compone de la infraestructura física (caminos, estacionamientos, vías férreas, etc.), las unidades móviles (vehículos, autobuses, taxis, trenes, etc.), los servicios (rutas de transporte, itinerarios, etc.), las regulaciones (velocidades de circulación, restricciones de estacionamiento, señalamientos en intersecciones, etc.) y costos (precio de boleto, peajes, costo de estacionamiento, etc.) que combinados, posibilitan el movimiento de personas y mercancías

Con el paso del tiempo se han efectuado avances en el área de movilidad y transporte a través de la creación de herramientas que permiten la elaboración de modelos, los cuales son de gran ayuda en el análisis del tráfico (Álvarez, 2017).

Toma de Decisiones y Uso de Modelos

Se entiende que un modelo es la representación de un objeto, sistema, o idea, de forma diferente. El modelo de un objeto puede ser una copia casi exacta de éste, o puede ser una representación de las propiedades claves del objeto para algún propósito (UAM, 2014). Es por esto que, los modelos enfocados en el área de transporte van ganando un mayor interés por las personas encargadas de resolver los problemas viales en zonas urbanas, y esto se debe a la capacidad demostrada para la solución de problemas de movilidad urbana complejos.

Llevar a cabo este tipo de modelos permiten realizar una simulación de puntos de conflicto o de interés; de una intersección o segmento vial que se desee analizar, para comprender el funcionamiento de ésta, y evaluar propuestas de solución a los problemas identificados, generalmente de eficiencia. La simulación del tráfico con el paso del tiempo ha adquirido un

ANALISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

creciente y entendible interés, esto debido al incremento de la movilidad y desplazamiento que experimentan las personas de las ciudades hoy en día (Pérez Pietro, 2005).

Como se mencionó anteriormente, la elaboración de modelos para el análisis del tránsito, es una tarea un tanto laboriosa y puede llegar a ser proceso costoso, es importante tener en cuenta que, el costo para realizar estos modelos dependerá del nivel de detalle que se le quiera invertir y el tipo de herramienta que se vaya a implementar.

Los modelos de transporte se utilizan comúnmente para predecir el comportamiento de viajes y condiciones que resultarán de la interacción entre la demanda de viajes de una zona de estudio y la operación del sistema de transporte u oferta. De manera general, las decisiones de los viajes, ya que dependen de las características de las diferentes alternativas de transporte, conforman un modelo de demanda, mientras que las características del sistema de transporte en términos de costo, frecuencia, capacidad, entre otros, conforman un modelo de oferta.

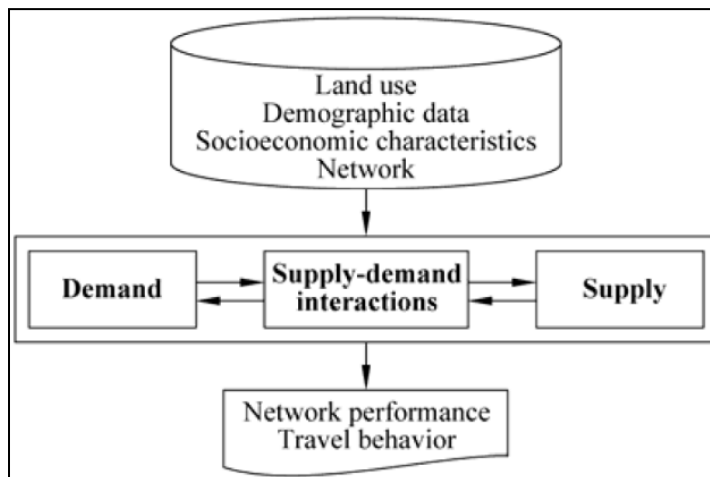
Los modelos de transporte se usan ampliamente para predecir patrones y condiciones de viaje que resultarán de la interacción entre la demanda de viajes y la operación o suministro del sistema de transporte (demanda) en el área de estudio. En general, las decisiones de viaje forman un modelo de demanda porque dependen de las características de las diferentes opciones de transporte, mientras que las características del sistema de transporte en términos de costo, frecuencia y capacidad forman un modelo de oferta.

De esta manera, un modelo de transporte representa la oferta y la demanda e incluye un mecanismo para representar los efectos de la interacción de los dos. Estos modelos determinan tanto el rendimiento de la red de transporte como la respuesta del usuario, lo que permite a los ingenieros y planeadores de transporte analizar posibles perturbaciones que alteran el tráfico del sistema de transporte y las condiciones de servicio. Ben-Akiva et al. (2007), representan estos

ANALISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

componentes generales de un modelo de transporte de acuerdo a las relaciones antes descritas, como se muestra en la siguiente figura (Figura 2).

Figura 2. Componentes generales de un modelo de transporte.



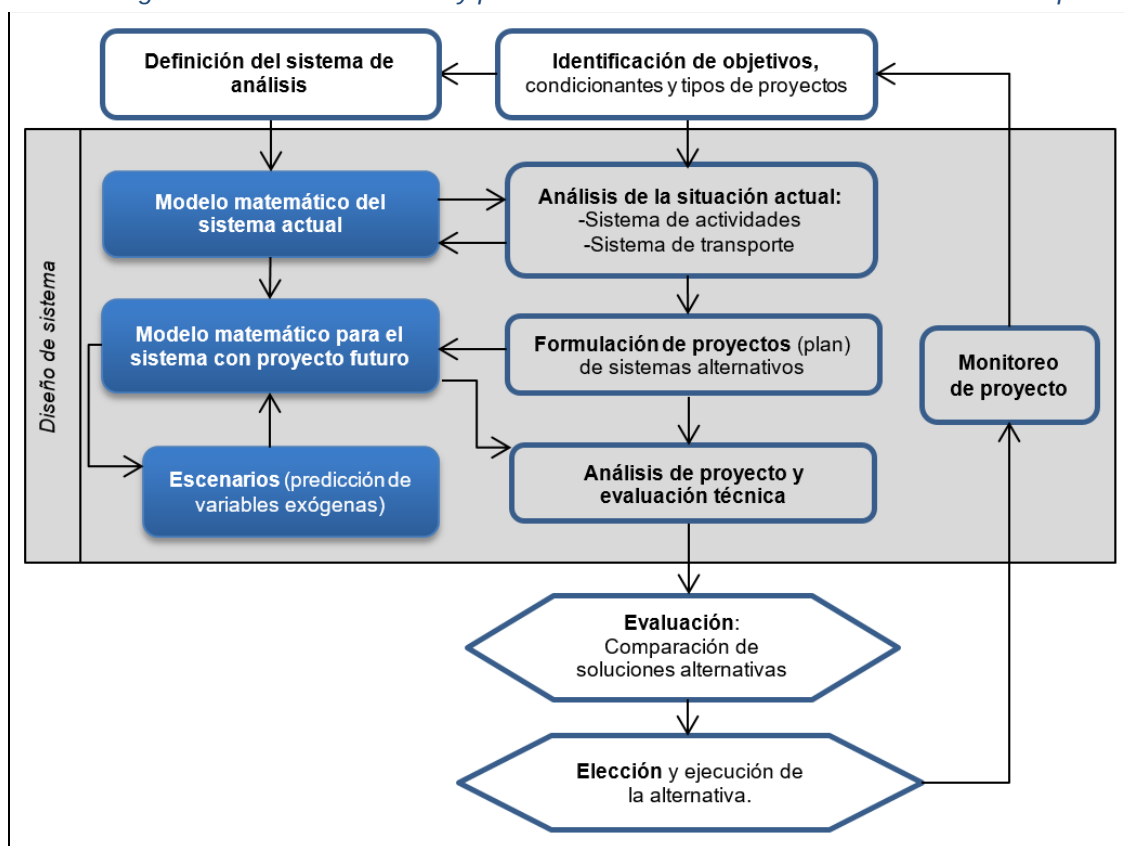
Fuente: Ben-Akiva et al. (2007),

Es importante señalar que la modelación del transporte es una herramienta utilizada en la toma de decisiones para actividades relacionadas con la planeación del transporte, en algunos casos puede tener un papel orientador, aunque impreciso.

Como explica Cascetta (2009), a lo largo de los años, el distinguir las diversas relaciones y su complejidad en la operación de los sistemas de transporte ha llevado a cambios en el proceso mismo de planeación, que ya no se percibe como una actividad que conduce a la preparación de un plan "maestro". El plan resume una serie de proyectos que se implementarán durante un período de tiempo, pero ahora el plan se considera un proceso en lugar de una acción. Como resultado de este proceso de planeación, se toman una serie de decisiones (programas o proyectos) en diferentes momentos, donde cada decisión no necesita estar predefinida, teniendo en cuenta la influencia de decisiones anteriores y factores externos.

En este sentido, las técnicas de modelado de transporte son más apropiadas para identificar y evaluar proyectos alternativos, ya que proporcionan una "razón dinámica" para todo el proceso. Esto se puede explicar en la Figura 3, que muestra el proceso ideal de diseño y planeación del sistema de transporte.

Figura 3. Proceso de diseño y planeación de un sistema de un sistema de transporte.



Fuente: Modificado de Cascetta (2009).

De acuerdo al esquema anterior, se observa que; la barra central contiene las diferentes fases del proceso de toma de decisiones, mientras que la sombra azul de la izquierda representa las etapas de la intervención de modelado para apoyar la toma de decisiones.

En una evaluación realista de los problemas de tránsito, es imposible tener en cuenta todos los factores que interactúan en un fenómeno tan complejo. Una alternativa es aislar o seleccionar los elementos más relevantes para el problema y luego agruparlos y sus relaciones

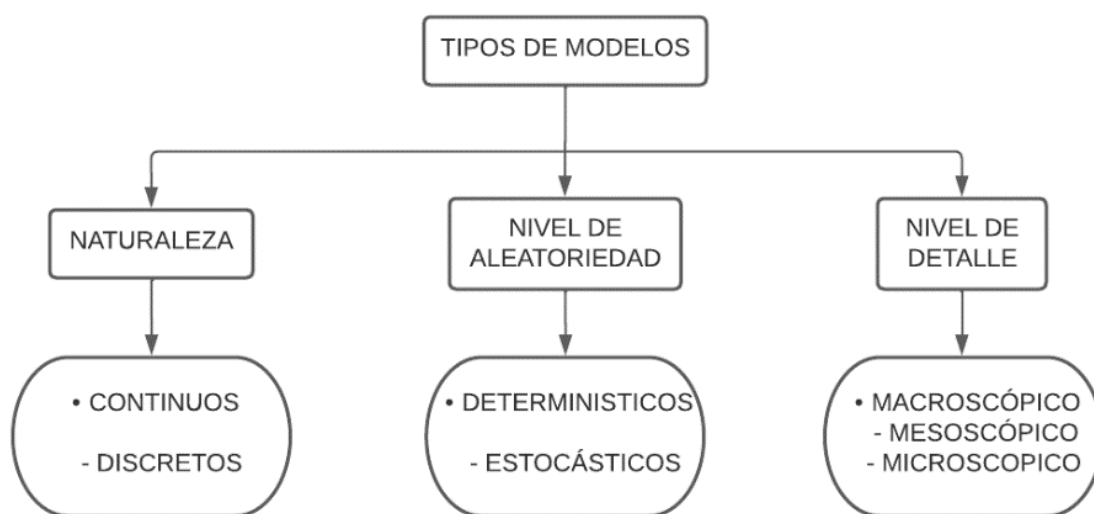
ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

en un sistema de análisis. Es decir, crear un modelo del sistema de interés. En este sentido, la modelización juega un papel central en el diseño y evaluación de los sistemas de transporte.

Tipo de Modelos

Existen diferentes modelos que se han empleado para el estudio de diferentes proyectos y se clasifican dependiendo del nivel de análisis y detalle que se quiere lograr (Figura 4).

Figura 4. Tipos de modelos.



Fuente: Elaboración propia.

- Modelos continuos

Son modelos que contienen ecuaciones diferenciales que relacionan la tasa de cambio de una variable o parámetro a lo largo del tiempo. Asimismo, las variables implementadas en el modelo cambian continuamente, las cuales pueden ser: el comportamiento del tráfico en las intersecciones, la velocidad de los vehículos, la longitud de las colas, etc. (Aguirre, 2015).

- Modelos discretos

Estos modelos se caracterizan por tener en cuenta cambios instantáneos en los parámetros de operación para cada período de tiempo (Carvalho, 2015). Por ejemplo, el número de vehículos a una determinada hora del día. El modelo considera el comportamiento del conductor en intervalos de tiempo. Ellos deciden cómo actuar en cada situación que se les presente (Arrieta, 2013).

- Modelos determinísticos

Son modelos cuyas soluciones son únicas y siempre iguales bajo ciertas condiciones, y asumen que los datos son conocidos de manera determinista, es decir, que toda la información necesaria está disponible en el análisis del modelo. Se basa en un trabajo analítico regido por ecuaciones matemáticas que no varían en relación al tiempo; es decir, no está sujeto a incertidumbre. Por lo tanto, los mismos datos de entrada producirán el mismo resultado en el análisis de elementos (Starfield, 2005).

- Modelos estocásticos

A diferencia de los modelos deterministas, los modelos probabilísticos representan la variabilidad de las respuestas obtenidas en función de los datos de entrada del proyecto y el tiempo de análisis. Aunque permiten resultados más cercanos a la verdad basados en datos de entrada con cierto grado de aleatoriedad, los modelos deterministas a veces producen resultados basados en ecuaciones matemáticas poco realistas porque producen una única respuesta (Abanto, 2020).

- Modelos Macroscópicos.

Este tipo de modelos se caracterizan por ser representaciones continuas del flujo de tránsito, se refieren a medidas generales como la relación entre flujo, velocidad y densidad

(Suárez, 2007). Estos modelos no diferencian entre los vehículos individuales, y por lo general no hacen distinción entre los diferentes tipos de vehículos. Son modelos que no presentan un gran nivel de detalle, pero son útiles al momento de querer tratar resolver grandes problemas.

- Modelos Mesoscópicos.

En este tipo de modelo el nivel de simulación corresponde a un nivel de detalle medio (comprende características de los modelos macroscópicos y microscópicos), en dicho modelo existen diferencias entre los diversos tipos de vehículos y estos se simulan utilizando funciones de probabilidad. De acuerdo con M. Silvera (2013): “La modelación mesoscópica, No simula el comportamiento individual de cada vehículo, pero trata a los vehículos como grupos”.

- Modelos microscópicos

Son modelos de simulación de tránsito que consideran el movimiento de cada vehículo y de cada peatón individualmente, son modelos muy complejos por lo cual es entendible que requieran una gran cantidad de datos y por consiguiente se entienda que, por su nivel de detalle, tengan un alto costo. Son modelos que ofrecen resultados muy detallados, por lo cual son muy útiles al momento de analizar estrategias de solución en la estructura de la red vial.

Uno de los modelos en que se basa la micro simulación, es el modelo de seguimiento vehicular, el cual describe el movimiento: aceleración, velocidad, posición, etc., en relación con los vehículos anteriores, en condiciones de tráfico congestionado (Ramos, 2017).

Fundamentos de los Modelos de Micro Simulación

Interacción de Vehículos

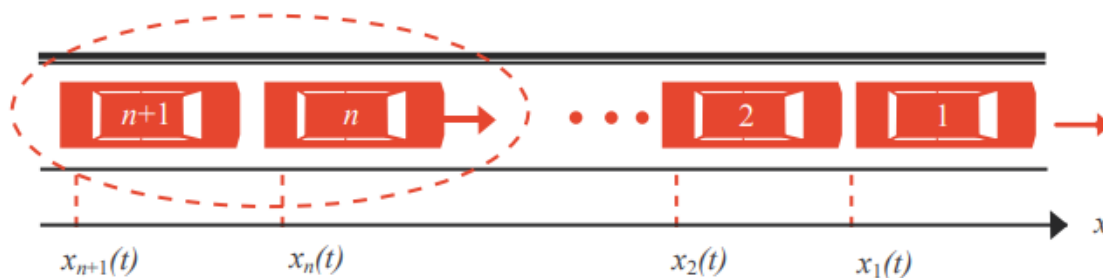
La relación existente de los vehículos, en la red de flujo vehicular, es una característica propia de los modelos con enfoque microscópico. Se realiza mediante los modelos de seguimiento vehicular y cambio de carril (Fellendorf & Vortisch, 2010).

En el modelo de seguimiento de vehículos se tienen en cuenta factores como la velocidad y la distancia de seguridad. La necesidad de realizar algún cambio es la acción que domina el modelo de cambio de carril. Tal necesidad puede surgir del deseo de adelantarse o del estilo de conducción del conductor. El comportamiento no basado en carriles, está basado en la posibilidad de adelantamiento en un mismo carril vehicular (PTV GROUP, 2016).

- Modelo de seguimiento vehicular (car following)

Este modelo se basa en la interacción entre el vehículo a la cabeza y el vehículo sucesor, donde el vehículo a la cabeza se considera el "líder" y al vehículo sucesor se considera el "seguidor". Para desarrollar esta teoría se consideraron varios modelos centrados en la interdependencia de dos vehículos. Algunos de estos modelos se enumeran a continuación: modelo General Motors, modelo Gipps (distancia de segura) y modelo Wiedemann. En la siguiente figura (Figura 5) se puede apreciar una representación de este modelo.

Figura 5. Sistema de análisis de la teoría del seguimiento vehicular.



Fuente: Adaptado de Fernández y Dextre, 2011.

La teoría detrás del modelo de seguimiento vehicular explica el comportamiento del vehículo $n+1$ (sucesor) en función de lo que haga el vehículo n (predecesor). Si la distancia entre los vehículos predecesor y sucesor es inferior a 100-125 metros, se supone que el comportamiento de estos vehículos está correlacionado (Fernández y Dextre, 2011).

- Modelo de la General Motors (GM)

El modelo GM se basa en un mecanismo formado por estímulos, sensibilidades y respuestas de los conductores móviles. Los estímulos se expresaron como la diferencia relativa entre la velocidad de un automóvil y la velocidad del automóvil siguiente. La sensibilidad se entiende como la conciencia o el tiempo de reacción de los vehículos que se aproximan, y el conductor del vehículo que se aproxima interpreta la respuesta como aceleración o desaceleración dependiendo de la sensibilidad y el estímulo (Procer, 2015). A continuación, se expresa su relación matemática la cual esta expresada por la siguiente expresión:

$$\text{Respuesta del seguidor}(t+T) = \text{Sensibilidad} \times \text{estimulo}(t)$$

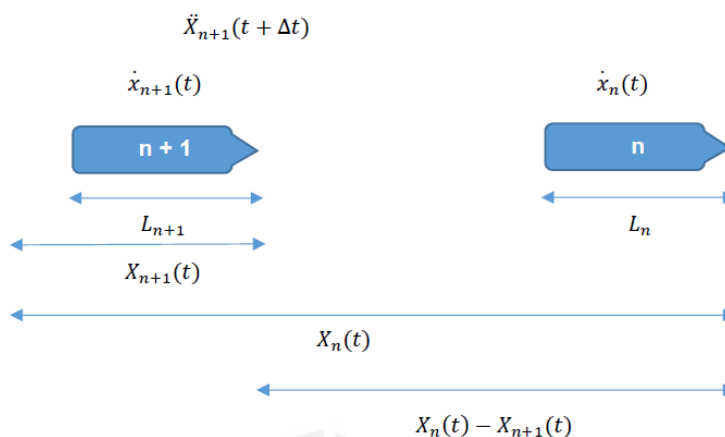
Donde:

- Respuesta del seguidor ($t+T$): aceleración del vehículo siguiente al finalizar el tiempo de percepción reacción (T).
- Sensibilidad: dependerá del conductor del vehículo siguiente.
- Estimulo: velocidad relativa de la interacción de un par de vehículos (líder y seguidor).

Figura 6. Modelo de seguimiento vehicular (General Motors).

Donde:

- n : Vehículo Líder
- $n+1$: Vehículo seguidor
- L_n : Medida del vehículo líder (pies)
- L_{n+1} : Medida del vehículo seguidor (pies)
- X_n : Posición del vehículo líder (pies)
- X_{n+1} : Posición del vehículo seguidor (pies)
- $\dot{X}_n$: Velocidad del vehículo líder (pies/seg)
- $\dot{X}_{n+1}$: Velocidad del vehículo seguidor (pies/seg)
- $\ddot{X}_{n+1}$: Aceleración/desaceleración del vehículo seguidor (pies/seg²)
- t : Variable que representa el tiempo
- $t + \Delta t$: Variación del tiempo en la interacción



Fuente: Adaptado de Alvarez, 2017.

- Modelo de la distancia segura (Gipps)

Este modelo propone relacionar la velocidad requerida para que dos vehículos interactúen con la distancia mínima de seguridad que se debe mantener entre ellos. El modelo de Gipps muestra que la velocidad del vehículo está sujeta a tres restricciones. Primero, la velocidad del vehículo no debe exceder la velocidad solicitada por el conductor. En segundo lugar, el automóvil acelera rápidamente hasta que se acerca a la velocidad deseada y luego la aceleración disminuye hasta un valor cercano a cero. La tercera restricción se considera cuando la distancia entre los vehículos es corta y determina el comportamiento de conducción del vehículo siguiente cuando reduce la velocidad (Papathanasopoulou & Antoniou, 2015). A continuación, se presentan las ecuaciones representativas del modelo. En la primera ecuación se puede observar el caso de conducción libre, en la segunda se puede ver el caso de seguimiento vehicular, y finalmente la tercera ecuación se aprecia el caso de la velocidad deseada final.

Ecuación 1. Caso de conducción libre.

$$u_n^a(t + \tau) = u_n(t) + 2.5a_n\tau \left(1 - \frac{u_n(t)}{U_n}\right) \sqrt{0.025 + \frac{u_n(t)}{U_n}}$$

Ecuación 2. Caso de seguimiento vehicular.

$$u_n^b(t + \tau) = b_n\tau + \sqrt{b_n^2\tau^2 - b_n \left[2[x_{n-1}(t) - s_{n-1} - x_n(t)] - u_n(t)\tau - \frac{u_{n-1}(t)^2}{\hat{b}}\right]}$$

Ecuación 3. Velocidad deseada final.

$$u_n(t + \tau) = \min\{u_n^a(t + \tau), u_n^b(t + \tau)\}$$

Fuente: Adaptado de Nerem, 2013.

Donde:

- U_n^a : aceleración máxima que el conductor del vehículo "n" está dispuesto a desarrollar.
- $U_n(t)$: es la velocidad del vehículo n en el tiempo t.
- T : es el tiempo de reacción, que es constante para todos los vehículos e igual al paso de simulación.
- U_n : es la velocidad deseada del vehículo n.
- U_n^b : es la desaceleración más brusca que el conductor del vehículo "n" desea emprender.
- b_n : es la más severa desaceleración del vehículo n-1 según lo estimado por el conductor de vehículo n.
- S_{n-1} : es el tamaño efectivo del vehículo n - 1. Esto incluye la longitud física de vehículo n - 1 y un margen de seguridad, en el que el conductor del vehículo n no está dispuesto a inmiscuirse incluso en reposo.
- $X_n(t)$: es la ubicación de la parte delantera del vehículo n en un instante t.

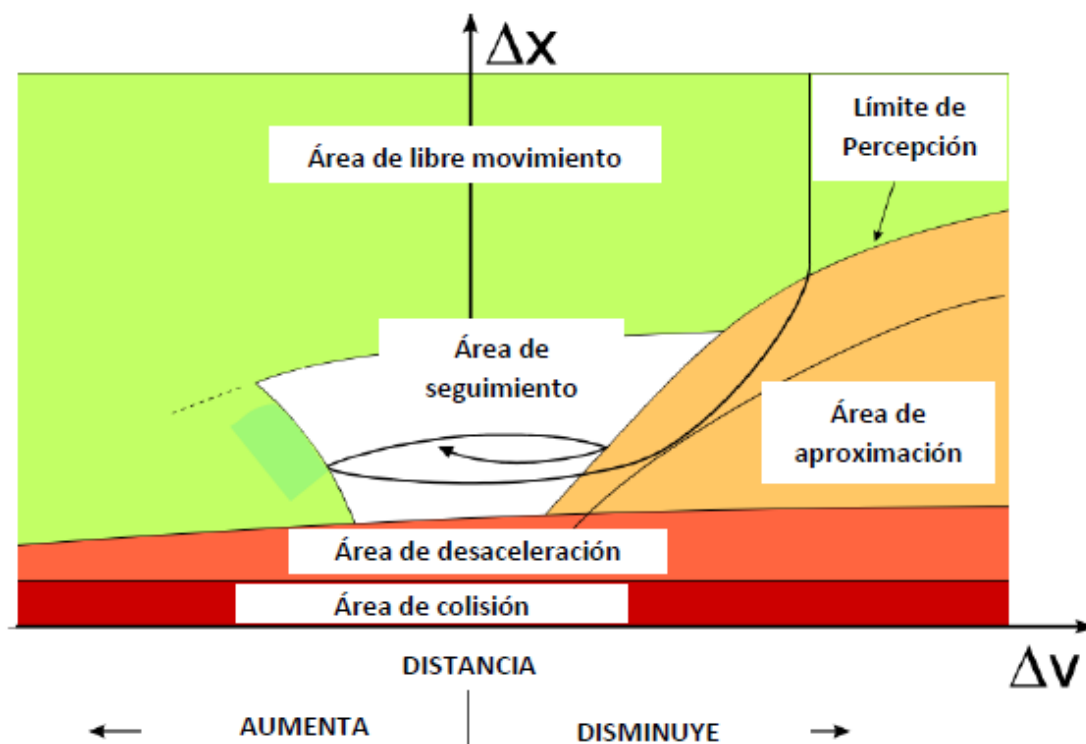
- Modelo de Wiedemann

El modelo de Wiedemann se basa en la reacción y percepción del conductor en diferentes situaciones de tráfico. Cada conductor está asignado a su vehículo, es decir, diseñado individualmente. Este modelo representa la percepción que tienen las personas de los vehículos, principalmente la percepción de las diferencias en distancia y velocidad. Da forma a la respuesta del conductor a la situación dada cambiando el comportamiento de conducción. El modelo de Wiedemann está respaldado por mediciones e investigaciones de la conducción humana (Arrieta, 2013). En este modelo se consideran 4 posibles situaciones (Áreas), las cuales se describen a continuación:

- Conducción libre: Se presenta un movimiento libre del vehículo, no se ve afectado por otros vehículos.
- Acercamiento: El conductor percibe un vehículo con una velocidad más baja pero no es influenciado por el vehículo de adelante.
- Seguimiento: Es un proceso de seguimiento inconsciente ya que se ve influenciado totalmente por el vehículo de menor velocidad.

- Frenado o desaceleración: El conductor tendrá que frenar al no contar con una distancia segura con respecto al otro vehículo.

Figura 7. Fases del modelo de Wiedemann.



Fuente: Adaptado de Manual de Vissim PTV América, 2008.

- Modelos de Cambio de Carril.

El modelo de cambio de carril se basa en las decisiones que toma cada conductor en un momento dado; evaluar si es adecuado permanecer en su carril o cambiar de carril para que pueda aumentar la velocidad, evitar obstáculos o posicionarse correctamente y girar al final del carril. (Moreno et. al, 2001). Este modelo distingue entre dos tipos de cambios de carril. El primero es un cambio de carril forzado o necesario y el segundo es un cambio de carril libre.

- **Cambio de carril necesario:** Este tipo de cambio de carril ocurre cuando los conductores están obligados o tienen la necesidad de seguir una ruta designada.
- **Cambio de carril libre:** Este tipo de cambio de carril se produce cuando el conductor quiere alcanzar la velocidad deseada. (Moreno et. al, 2001).

Conceptos Fundamentales

Cada micro simulación realizada, cuenta con conceptos fundamentales para lograr el objetivo, entre ellos está la aleatoriedad del modelo, el Warm up, la interacción vehicular, la calibración y la validación.

- Número de Semilla

El análisis de un modelo mediante la implementación de una simulación debe minimizar los errores de simulación fortuitos mediante el uso de números aleatorios generados a partir de valores iniciales únicos (semilla) en cada análisis. Esto se puede observar en los modelos de vehículos (automóvil, autobuses, camiones, etc.) en relación con el comportamiento del conductor (tranquilo, agresivo, etc.). Cada vez que este número, llamado "semilla", cambia, estos parámetros cambian, creando diferentes patrones de movimiento y de flujo vehicular.

- Número de corridas

Con un número de semilla asignado, el modelo microscópico se evalúa y analiza de tal manera que el número de semillas está directamente relacionado con el número de corridas, ya que esto asegura que cada corrida sea diferente de las demás. Para cada análisis de micro modelo, los resultados generalmente están en un rango cercano al promedio de las respuestas en tiempo de ejecución. Como cada ejecución es diferente, los resultados deben probarse con un número mínimo de ejecuciones.

La evaluación de cada micro modelo se basará en el número de semillas seleccionadas. Por lo general, cada análisis de micro simulación produce resultados cercanos a la media de la población actual. Sin embargo, cada evaluación será diferente. Por lo tanto, es necesario analizar cuántos viajes se necesitan para confirmar los resultados obtenidos. (Fellendorf, 2010).

- Longitud de Colas

La longitud de cola vehicular está fundamentada en la teoría de colas, la cual es un estudio de técnicas basadas en la investigación de operaciones para resolver problemas que se presenten en situaciones donde se forman turnos de espera o colas para atender o realizar algún trabajo (González & Sepúlveda, 2010). En este sentido la longitud de cola es la distancia en que un vehículo espera su turno para poder pasar por una intersección semaforizada.

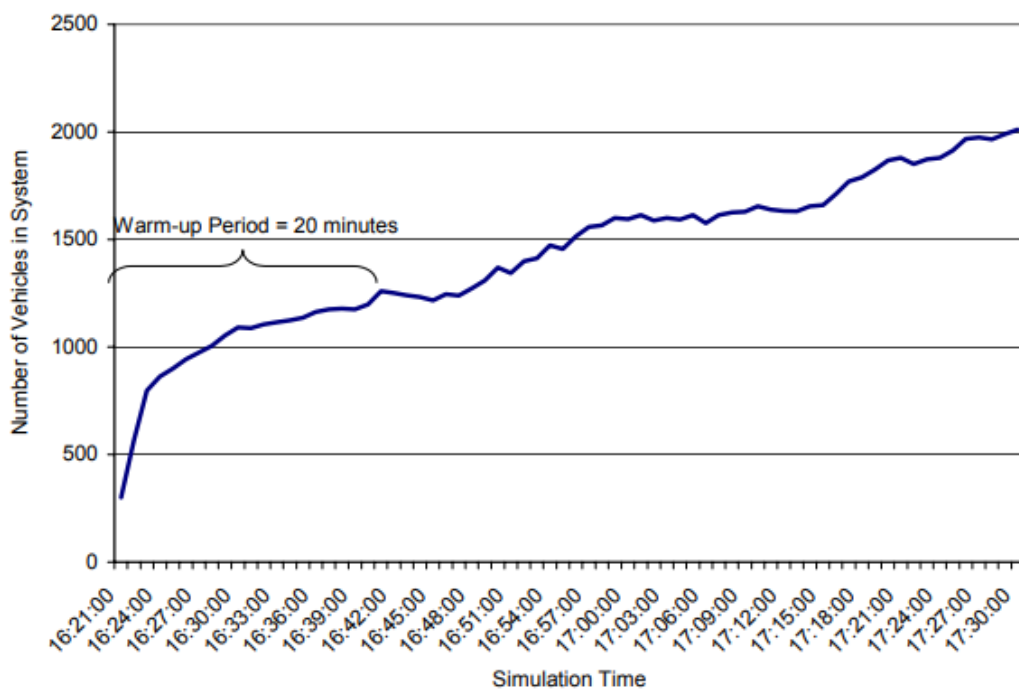
- Warm Up (tiempo de estabilidad)

Por lo general, no hay vehículos en la red de carreteras al comienzo de la simulación. Esto se debe a que con el tiempo el modelo comenzará a tener más vehículos. El tiempo que tarda el vehículo en alcanzar el equilibrio conoce como Warm up.

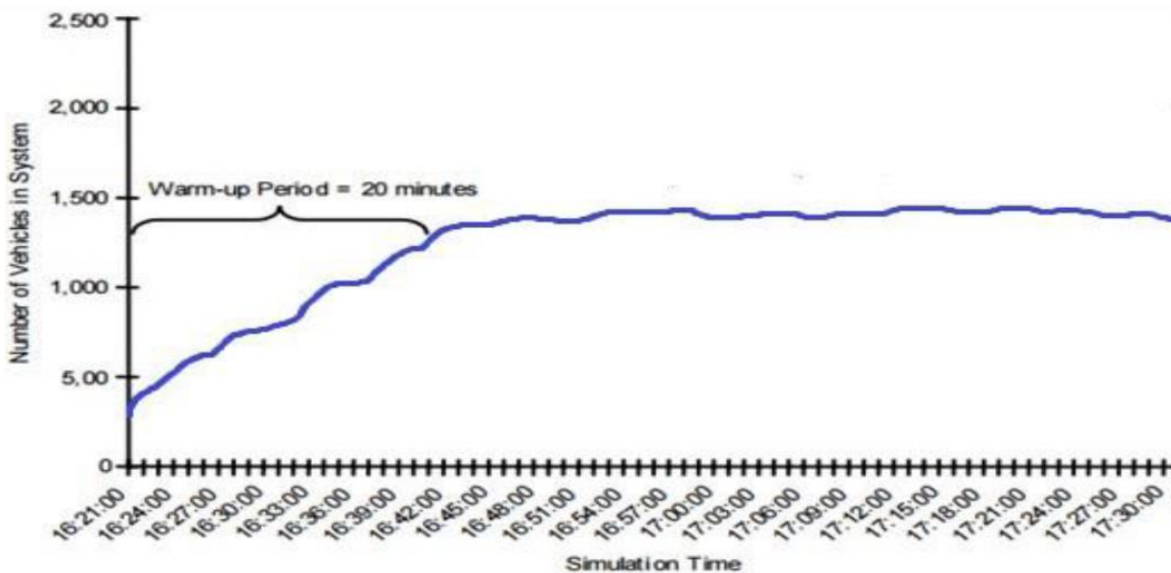
Una vez que se alcanza este equilibrio, será buen momento para empezar a recopilar la información estadística. Los resultados se analizan en función de parámetros de eficiencia tales como, el volumen vehicular, la longitud de colas y el tiempo de viaje (Dowling et al., 2004). Un estudio realizado por la Federal Highway Administration (FHWA) obtuvo el tiempo de estabilización para los modelos realizados (Warm up) como mínimo de 10 minutos de simulación.

A continuación, se pueden observar dos figuras, las cuales representan el modelo cuando no se alcanza la estabilidad (Figura 8) y cuando si se logra la estabilidad (Figura 9). Se puede apreciar que el tiempo que se necesitó (en este ejemplo) para que se alcanzara el Warm up fue de 20 minutos.

ANALISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

Figura 8. Representación de modelo cuando no se logra la estabilidad.

Fuente: Modificado de Dowling et al. (2004).

Figura 9. Representación de modelo cuando si se logra la estabilidad.

Fuente: Modificado de Dowling et al. (2004).

- Calibración del modelo

La calibración es un proceso iterativo en el que se cambian los parámetros del modelo para garantizar que la simulación sea precisa y refleje completamente la realidad del modelo (Siddharth & Gitakrishnan, 2013). La calibración se realiza mediante un análisis comparativo de los parámetros de rendimiento obtenidos por el software y los valores obtenidos en el campo. Los parámetros que se pueden calibrar incluyen la longitud de la cola, la velocidad y el tiempo de viaje (Dowling et al., 2004).

Normalmente un modelo de simulación vehicular debe estar calibrado simultáneamente para: volúmenes vehiculares y tiempos de recorrido.

Uno de los parámetros estadísticos utilizados para lograr una correcta calibración es un indicador creado por Geoffrey E. Havers, el cual compara el volumen horario obtenido en Campo (C) contra el volumen horario medido en el Modelo (M) para determinar el nivel de error. A continuación, se logra apreciar dicho indicador:

Ecuación 4. Indicador de calibración GEH.

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

Fuente: Modificado de Moreno et. al, 2014.

Donde:

- ✓ GEH= Indicador de calibración
- ✓ M= Volumen horario obtenido en el modelo
- ✓ C= Volumen horario obtenido en Campo

- Validación del modelo

El proceso de validación implica verificar que el modelo generado cumpla con los requisitos para que la evaluación resultante se considere válida. La corrección del modelo se logra ingresando nuevos datos de entrada (volumen y composición vehicular) de campo (Siddharth & Gitakrishnan, 2013). Finalmente, los valores entre el software y los resultados de campo deben ser similares para que el modelo se considere validado (Benekohal, 1991).

Capítulo 3. Antecedentes

Importancia del Transporte de Carga en México

El transporte de carga (TC) por carretera se define como el movimiento total de mercancías por transporte dentro de una red particular, y la métrica generalmente se expresa en millones de toneladas por kilómetro. El TC por carretera es el más utilizado en México ya que moviliza aproximadamente el 84% de las mercancías nacionales y el 83% del comercio exterior total (Transportes M., 2021).

El movimiento de carga de mercancías en México se ha convertido en un factor estratégico en la cadena de suministro. Su importancia radica en la prosperidad alcanzada en los últimos años, la cantidad de mercancías transportadas y, lo más importante, su alta posición en todos los sectores de la economía del país. Se trata de un gran sistema de transporte que opera dentro de un marco normativo definido, sobre una gran red vial de aproximadamente 400.000 km, rodeado de autoridades públicas, empresas públicas y privadas, cámaras de comercio y asociaciones, así como numerosos clientes y proveedores que conforman la cadena de suministro (Jiménez, 2019).

México cuenta con una extensa red de carreteras y conexiones internacionales que facilitan el transporte y la distribución rentable de mercancías hacia y desde América del Norte y Central. Es por esto que el transporte terrestre de carga se ha convertido en parte fundamental de cualquier estrategia de importación/exportación y por ello muchas empresas de diversas industrias han optado por incluir este tipo de transporte en sus cadenas logísticas para la entrega.

De acuerdo con el documento, Planeación estratégica y logística del autotransporte de carga (Jiménez, 2019), se menciona que:

Entre las instituciones encargadas de establecer la política pública en materia de los servicios de autotransporte de carga se encuentran, desde luego, las cámaras de

senadores y diputados que establecen la Ley de Vías Generales de Comunicación; la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), a través de la Subsecretaría de Transporte (ST) y la Dirección General de Autotransporte Federal (DGAF), encargadas de establecer las normas y reglamentos que deberán observar el autotransporte de carga sobre caminos y puentes de jurisdicción federal. Estas dependencias se complementan con la Secretaría de Economía, en lo referente al desarrollo de empresarial y comercial de los servicios; la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, en lo que se refiere al cumplimiento de sus obligaciones fiscales; la Comisión Federal de Competencia Económica (COFEC) que fiscaliza el cumplimiento de la libre competencia entre las empresas del sector; la Policía Federal, encargada de la seguridad y cumplimiento de la normatividad delineada para regular al autotransporte de carga, así como Transparencia que asegura sean aplicadas las leyes en este sector conforme a derecho; como las más importantes. (Jiménez, 2019, p 25).

Instituciones como la Cámara Nacional de Autotransporte de Carga (CANACAR), la Confederación Nacional de Transportistas Mexicanos, A.C. (CONATRAM), el consejo Mexicano de Transporte (CMET) y la Asociación Nacional de Transporte privado (ANTP) tienen como objetivo trabajar con los gobiernos para formular políticas de transporte público y desarrollar un sector industrial de manera saludable.

La CANACAR menciona que, el sector del autotransporte de carga atiende 71 ramas de la actividad económica y representa el 3.25% del PIB. Además, se estima que aproximadamente 6 millones de familias dependen directa o indirectamente de este sector. El transporte de carga registro un poco más de 8 millones de cruces por la frontera ubicada al norte del país. También es fundamental mencionar que, más del 60% del valor de las exportaciones nacionales fueron transportadas por carretera, lo cual se traduce de la siguiente manera: más de 250 mil millones

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

de dorales; mientras que las importaciones se encuentran aproximadamente en los 200 mil millones de dólares con casi el 50% del total (Jiménez, 2019).

Marco Normativo Aplicado al Transporte de Carga

Dentro de la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2017, “Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal” (SCT, 2017), que tiene por objeto establecer las especificaciones de peso, dimensiones y capacidad de los vehículos de autotransporte federal, establecen ciertas medidas y restricciones para regular las afectaciones causadas por el transporte de carga, haciendo énfasis en dos categorías:

1) Peso: La concentración de carga por eje no debe exceder lo establecido según el tipo de vehículo o configuración vehicular que corresponda, las configuraciones de tractocamión doblemente articulado podrán circular únicamente en caminos Tipo "ET" y "A", velocidad máxima de 80 km/h, o la que se indique en el señalamiento, cuando ésta sea menor, circular en el carril de la extrema derecha.

2) Dimensiones: altura máxima autorizada de 4,25 m. y ancho máximo de 2,60 m, el largo total máximo autorizado para la configuración tractocamión articulado (TS), según el tipo de camino por el que transitan, se indica en dicha norma, y cuando la longitud del semirremolque sea mayor que 14,63 m (48 pies) en las configuraciones vehiculares debe cumplir con requisitos adicionales, como longitud total máxima autorizada de 31,00 m y 28,50 m, para las configuraciones camión con remolque, no se permite el acoplamiento de semirremolques o remolques con longitudes mayores a 13,70 m (45 pies).

En cuanto a lo referente a la planeación, aplicación de las vialidades y de los modos de transporte para el área de estudio que es la zona urbana de la ciudad de Mexicali B.C., se identificaron los instrumentos normativos que rigen y que sirven de referencia. En términos de

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

instrumentación local, la movilidad y el transporte se ven incluidos en el orden estatal bajo el Plan Estatal de Desarrollo 2020-2024 (COPLADE BC, 2020) bajo la política pública Desarrollo Urbano y Ordenamiento del Territorio y; finalmente, en el ámbito municipal se encuentra el documento Plan Municipal de Desarrollo (COPLADE Mexicali, 2022).

De acuerdo a lo estipulado en el capítulo I de la Ley de Movilidad Sustentable y Transporte del Estado de Baja California (Congreso del Estado de Baja California, 2020), esta tiene por objeto establecer las bases y directrices generales para planificar, regular, controlar, vigilar, gestionar la movilidad, el transporte público y privado de personas y bienes en todas sus modalidades, garantizando las condiciones y derechos para el desplazamiento de las personas de manera segura, igualitaria, sustentable y eficiente. En la sección VI del servicio de carga en general, carga especializada y grúas, se establece que el Instituto de Movilidad podrá restringir y ajustar los horarios y las vialidades de circulación del transporte de carga con el fin de garantizar la seguridad y salud pública, así como la conservación de infraestructura estatal y municipal. Asimismo, en la sección VII del servicio de transporte de carga privado, establece que queda prohibida la circulación de vehículos en vías públicas urbanas cuya carga útil exceda de 3,500 kg. Y en el capítulo VII de la revocación de concesiones y cancelación de permisos y autorizaciones, aclara que el Instituto podrá revocar concesiones y permisos si se incumple con el reglamento, como ofrecer un servicio distinto al autorizado, cuando se preste el servicio fuera de la ruta autorizada o cuando el vehículo no sea sustituido por uno que si cumpla con los requisitos establecidos.

En la sección III del capítulo V del Reglamento del Transporte Público para el Municipio de Mexicali, Baja California (Ayuntamiento de Mexicali, 2002), que lleva por nombre: Disposiciones para el servicio público de transporte de carga y grúas; establecen que los vehículos de transporte de carga no deberán estacionarse en zonas residenciales, escolares y zonas en las que causen obstrucción, ruido y que afecte el interés público. El transporte de carga

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

deberá circular por el carril derecho cuidando que en el horario que circulen no entorpezcan o pongan en riesgo a los demás vehículos. Y los conductores de vehículos de transporte de carga podrán efectuar maniobras de carga y descarga en la vía pública únicamente durante los horarios, en las zonas y calles que determine Ingeniería de Tránsito, en coordinación con el Sistema Municipal de Transporte.

Conforme a lo establecido en el Reglamento del Tránsito para el Municipio de Mexicali, Baja California (Ayuntamiento de Mexicali, 2001), se menciona que este tiene por objeto establecer las normas a que deberá sujetarse el tránsito peatonal y vehicular en el Municipio de Mexicali, Baja California. En su sección segunda Normas generales de circulación en la vía pública, establece la prioridad en el uso de la vialidad mediante la siguiente jerarquía:

- I. Peatones
- II. Ciclistas
- III. Usuarios y prestadores del servicio de transporte de pasajeros masivo, colectivo o individual
- IV. Usuarios de transporte particular automotor
- V. Usuarios y prestadores del servicio de carga

En la sección III Disposiciones para el servicio público de transporte de carga y grúas, establecen que los vehículos de transporte de carga no deberán estacionarse en zonas residenciales, escolares y zonas en las que causen obstrucción, ruido y que afecte el interés público. El transporte de carga deberá circular por el carril derecho cuidando que en el horario que circulen no entorpezcan o pongan en riesgo a los demás vehículos. Y los conductores de vehículos de transporte de carga podrán efectuar maniobras de carga y descarga en la vía pública únicamente durante los horarios, en las zonas y calles que determine Ingeniería de Tránsito, en coordinación con el Sistema Municipal de Transporte.

Para este tipo de estudio, es importante el mencionar que características deben de tener los Transportes para poder ser considerado de “Carga Pesada”, independientemente de otros

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

lugares, países, reglamentos, definiciones, etc., en la mayor parte de México y en países con características parecidas (zonas urbanas de países en desarrollo), la descripción de un TCP es muy similar, pero como nuestra zona de estudio es en Mexicali, Baja California, se tomara como referencia los reglamentos y descripciones locales. Así de esta manera, el documento para apoyarnos para esta descripción, la encontraremos en el “Reglamento De Tránsito Para El Municipio De Mexicali, Baja California”, artículo 35, en el cual se menciona que los vehículos de carga pesada serán aquellos que cuenten con un peso bruto vehicular de más de 3.5 toneladas, entre los que se encuentran:

- A.- Minibuses.
- B.- Autobuses.
- C.- Camiones de dos o más ejes.
- D.- Tractores con semirremolque.
- E.- Camiones con remolque.
- F.- Equipo especial movable de la industria, del comercio, de la agricultura.
- G.- Vehículos con grúa.

Además, se incluirán a los vehículos de carga ligera, cuyas características de fabricación sean modificadas para aumentar su capacidad y rebasen con ello las 3.5 toneladas de peso bruto vehicular. (p. 12)

De acuerdo con el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras (MPGC), un vehículo es el medio que utiliza el usuario para circular por las diferentes vialidades con las que cuenta a su disposición para trasladarse, existen diferentes formas de clasificar las diferentes opciones con las que se puede disponer, como lo son: por tipo de vehículo, dimensión, peso y por sus características de operación (SCT, 2018).

Los vehículos se podrán clasificar dependiendo de los siguientes atributos (Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación vehicular por atributo.

Clasificación vehicular	
Atributo	Ejemplo
Función	Pasajeros o de carga
Peso	Ligeros o pesados
Régimen de propiedad	Particulares o comerciales
Configuración	Unitarios o articulados
Uso y tamaño	Autos(A), Autobuses(B) y Camiones(C)

Fuente: Modificado de MPGC, 2018.

Conforme al MPGC la letra C se reserva para identificar a los camiones unitarios. Para los camiones articulados se designa la primera letra del nombre de las unidades que lo conforman, por ejemplo: T para tracto camión, S para semirremolque o primera unidad de carga y R para remolque o segunda unidad de carga.

Además, es importante mencionar que en el MPGC (2018) se menciona lo siguiente:

A cada una de las letras mencionadas, C, T, S o R, se le agrega un dígito, que corresponde al número de ejes sencillos de que consta esa parte de la unidad. De esta manera, los vehículos más usuales en la red nacional de carreteras, puesto que cubren más del 99% del flujo de tránsito, son los denominados: A2, B3, C2, C3, T3S2 o T3S3 y T3S2R4, que coloquialmente se les denomina como automóvil, autobús, camión sencillo o camión rabón, tórton, tráiler y full tráiler, respectivamente. (p.7)

Antecedentes del Caso de Estudio (Instrumentos de Planeación)

La ciudad de Mexicali juega un papel importante en el desarrollo económico del noroeste del país. La Carretera Federal No. 2 hacia el Este funciona como conexión con el estado vecino

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

de Sonora y con el centro del país, al Oeste con los municipios fronterizos de Tecate y Tijuana. También cuenta con dos cruces fronterizos con el estado vecino de California, EE.UU., para operaciones terrestres de importación y exportación, y está conectado con el Valle de Mexicali por una red de carreteras nacionales. Esto es evidente en la combinación de flujos de vehículos regionales para el tráfico urbano local.

En el año 2011 fue publicado el Plan maestro de Vialidad y Transporte, el cual sirvió como instrumento de planeación para la ciudad, posteriormente pasó a ser remplazado en el 2022 por el Programa Integral de Movilidad Urbana Sustentable de la Ciudad de Mexicali (PIMUS) elaborado por el Instituto Municipal de Investigación y Planeación Urbana (IMIP), el cual tiene la función de ser un instrumento sectorial de movilidad, el cual solo cuenta con criterios para el mejoramiento del transporte público en términos generales y acciones que fomenten la actual dinámica de movilidad: excluyente y contaminante, dándole prioridad a la movilidad motorizada (IMIP, 2022).

De acuerdo con el PIMUS, hoy en día, el sector industrial juega un papel importante en la economía y el desarrollo de Mexicali. En las últimas décadas, la industria maquiladora ha aumentado a medida que las ciudades han crecido, y el proceso de planificación urbana necesario para mantenerse al día con el rápido crecimiento de la industria no ha podido seguir el ritmo. Esta falta de planificación ha llevado a cambios reactivos en las vías y el transporte, sin un abordaje sistemático de la movilidad urbana y la provisión de transporte, facetas que no son del todo coherentes con el mandato productivo actual de la ciudad. También se debe tener en cuenta que la ciudad actualmente no tiene distritos gubernamentales para controlar y regular este modo de transporte, lo que resulta en un uso desigual de las vías, lo que significa que las vías que no están diseñadas específicamente para soportar el peso, tendrán un tiempo de vida más corto (IMIP, 2022).

De acuerdo con lo anterior y respecto a lo indicado en el PIMUS:

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

Se ha propiciado que vehículos de carga pesada transiten en diversas vialidades dentro de la zona urbana de Mexicali con muy pocas restricciones. Las vialidades que se utilizan para este tipo de tránsito están en función de la ubicación de las distintas zonas industriales, así como del Puerto Fronterizo Calexico Este, el cual es el principal atractor de traslados de mercancías.

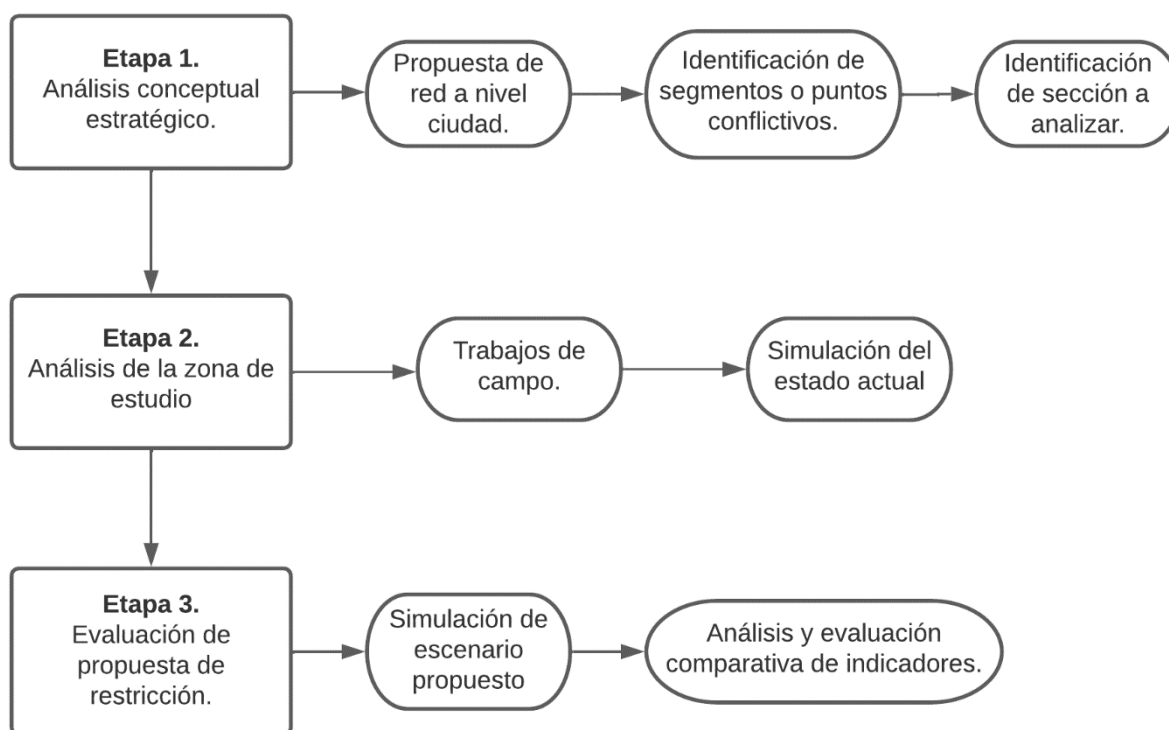
Por otro lado, no existen horarios definidos para la circulación del tránsito de carga pesada mismo, por lo que estos vehículos circulan en las vialidades más importantes de la ciudad en horarios de máxima demanda, provocando severos congestionamientos viales y afectaciones para los usuarios. Así mismo, al no existir actualmente rigurosos mecanismos de control, el transporte de carga en ocasiones también utiliza vialidades secundarias y terciarias que no son aptas debido a la capacidad estructural de sus pavimentos, a su capacidad vehicular y geometría, así como por la incompatibilidad con los usos del suelo, principalmente habitacionales. Lo anterior representa graves afectaciones para la movilidad urbana sustentable, entre las que destacan mayores congestionamientos vehiculares, contaminación ambiental y por ruido, así como el deterioro de las estructuras de pavimentos que obligan a una constante reinversión en trabajos de mantenimiento.

Capítulo 4. Metodología

En esta sección se explican los pasos a seguir para lograr alcanzar los objetivos propuestos en este trabajo de tesis, donde se presentará una vista general de cómo está conformada y distribuida la ciudad de Mexicali, Baja California, lugar donde se realiza el análisis del caso de estudio. Se mencionan los recorridos y análisis aplicados de manera general, los estudios de campo realizados y la manera en que se procesaron los datos recolectados, la zona seleccionada para realizar el modelo y el análisis microscópico correspondiente, así como la evaluación de la solución propuesta.

La metodología propuesta para esta investigación está dividida en 3 etapas, las cuales se muestran de manera resumida a continuación:

Figura 10. Metodología empleada para el estudio.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se describe detalladamente cada una de las etapas realizadas.

Análisis Conceptual Estratégico

En esta primera etapa se realizó una investigación para identificar cuáles eran los lugares que presentaban ser un foco atractor para los sistemas de transporte de carga, esto para identificar que zonas representaban un alto porcentaje de industrias y comercios, las cuales son las principales zonas generadoras del movimiento de este tipo de transportes. Se identificaron las vialidades utilizadas por los TCP y se realizaron recorridos de campo a través de toda la ciudad.

Es importante resaltar el tipo de ciudad que es Mexicali, la cual es una zona urbana con una alta presencia del sector industrial, aunado a esto mencionar que es una ciudad fronteriza por lo cual no es de sorprender que, por esta alta presencia de industrias y su conexión que tiene con California (EEUU), estas zonas industriales se encuentren distribuidas a lo largo y ancho de toda la ciudad.

Como se mencionó en el capítulo 3 (Antecedentes), se ha permitido que los vehículos de carga transiten dentro de la zona urbana de Mexicali sin algún tipo de restricción. Las vialidades que se utilizan para este tipo de tránsito están en función de la ubicación de las distintas zonas industriales, así como del Puerto Fronterizo Calexico Este, el cual es el principal atractor de traslados de mercancías (IMIP, 2022).

Para identificar las zonas generadoras del movimiento del transporte de carga, así como las principales vialidades utilizadas, se realizaron recorridos de campo en toda la ciudad. Además, se identificaron los puntos de acceso a la zona urbana de Mexicali, ya que representan las zonas de origen o destino del modelo de transporte de carga a escala mesoscópica (toda la ciudad).

Una vez realizados los recorridos de campo se identificaron qué intersecciones y segmentos viales son candidatos para realizar una modificación y optimizar el flujo vehicular, es

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

decir, que puntos requerían un análisis detallado mediante simulación microscópica para evaluar el impacto que tendría la restricción total del TCP en dicha zona.

De todas las vialidades por las que circulan los transportes de carga pesada, se analizaron cuales vialidades logran soportar la alta demanda de este tipo de transporte o que simplemente no se les puede asignar ningún tipo de restricción, esto debido a la alta presencia del sector industrial en la zona. Después se identificaron que vialidades no son aptas y/o no soportan la circulación de los transportes de carga, para con esto identificar nuestra zona de estudio a analizar.

Análisis de la Zona de Estudio

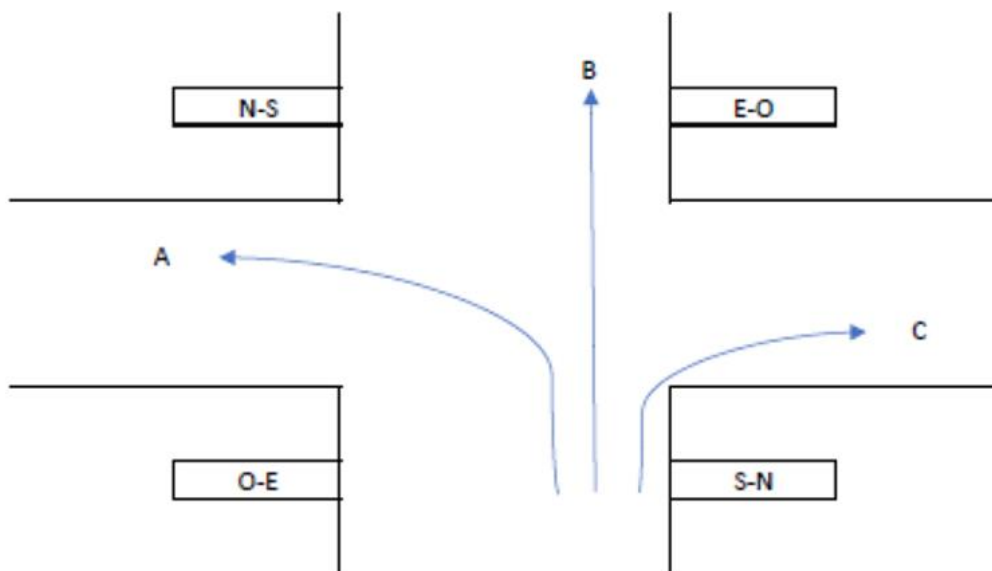
Como parte del análisis de la zona de estudio, se requirió la recolección de datos a partir de trabajos de campo.

Para caracterizar la oferta, se realizaron levantamientos detallando las características físicas de la zona como son la geometría general de las intersecciones y de los segmentos viales, cantidad de carriles y sus anchos promedio para cada uno de los movimientos (vuelta derecha, continuar recto, vuelta izquierda), límites de velocidad, ciclos semafóricos, etcétera.

Por otro lado, para caracterizar la demanda se llevaron a cabo aforos direccionales en las intersecciones semaforizadas de la zona de estudio. Para cada sentido de circulación se analizaron las tres opciones relevantes para el estudio (A, B, C), es decir, los posibles movimientos para cada aproximación a la intersección. Para este análisis se omite el registro del movimiento de los vehículos que realizan vuelta en “U” en las intersecciones semafóricas. Los movimientos relevantes se pueden apreciar de mejor manera en la siguiente imagen, donde se observa, por ejemplo; si nos situáramos en el sentido de análisis de Sur a Norte los vehículos tendrán la opción de: dar vuelta a la izquierda(A), seguir de frente(B) o dar vuelta a la derecha(C).

Así mismo, a través de los aforos direccionales se identifica la proporción de vehículos particulares, de transporte público y de carga en cada una de las intersecciones analizadas.

Figura 11. Esquema para analiza los sentidos de circulación de una intersección.



Fuente: Elaboración propia.

El conteo de vehículos se realizó en días entre semana (lunes a viernes), en intervalos de tiempo durante horas pico. Para este estudio se analizaron los 4 sentidos de cada intersección (en las que aplique) en intervalos de 15 minutos para cada sentido. Posteriormente se realizó el ajuste de datos para indicar los valores obtenidos por 1 hora de análisis, dichos ajustes constan de realizar el cálculo necesario para obtener el volumen de flujo promedio de vehículos que transitan por el punto de interés, para lo cual se consideran las siguientes variables; el flujo vehicular (q), la cantidad de vehículos que pasan por el punto de interés (N) durante un periodo de tiempo específico (T). Lo anterior se resume en la siguiente expresión:

Ecuación 5. Taza de flujo y Volumen

$$q = \frac{N}{T}$$

Fuente: Modificado de Fernández & Dextre, 2008.

Donde;

- ✓ q = La tasa de flujo vehicular (Veh. / Hora).
- ✓ N = Numero de vehículos (Veh.).
- ✓ T = Periodo de tiempo (Hora).

Para realizar los aforos direccionales se optó por realizar un formato que facilitara el conteo de los vehículos en general, pero haciendo énfasis en identificar y contabilizar los vehículos destinados para el transporte de carga pesada. Dicho formato utilizado se puede apreciar a continuación (Figura 12), en el cual se logra recabar la siguiente información:

- Los datos de la intersección donde se realizó el aforo vehicular
- El día y fecha en que se realizó el conteo.
- Los sentidos analizados.
- La hora del conteo.
- Una clasificación de los diferentes tipos de transportes analizados.
- Un conteo total por hora de cada sentido y
- Un conteo total de los sentidos presentes en la intersección por una hora.

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

Figura 12. Formato utilizado para aforo vehicular.

FORMATO PARA AFORO VEHICULAR															
INTERSECCION:				SENTIDOS:		N-S E-O									
FECHA:															
AFORADOR:															
HORA INICIO:															
HORA FINAL:															
TIPO DE VEHICULO															
A		B		C2		C3		T3S2		T3S3		T3S2R4		OTRO	
AUTOMOVIL		AUTOBUS		CAMION UNITARIO (2 EJES)		CAMION UNITARIO (3 EJES)		TRACTOCAMION DE 3 EJES CON SEMIRREMOLQUE DE 2 EJES		TRACTOCAMION DE 3 EJES CON SEMIRREMOLQUE DE 3 EJES		TRACTOCAMION DE 3 EJES CON SEMIRREMOLQUE DE 2 EJES Y REMOLQUE DE 4 EJES			
TIEMPO DE AFORO (15 MIN)		A B C		A B C		A B C		A B C		A B C		A B C		A B C	
HORA:															
SENTIDO:															
MOVIMIENTO:															
HORA:															
SENTIDO:															
MOVIMIENTO:															
HORA:															
SENTIDO:															
MOVIMIENTO:															
HORA:															
SENTIDO:															
MOVIMIENTO:															
OBSERVACIONES:															

Fuente: Elaboración propia.

El formato anterior permitió recabar información necesaria para realizar un procesamiento de datos y análisis del flujo vehicular que interactúa en la zona de estudio. De los datos a resaltar en el formato se puede apreciar que se realizó una clasificación vehicular de acuerdo a las necesidades de este estudio, en el cual se está clasificando principalmente en 2 tipos; los automóviles particulares incluyendo cualquier tipo de vehículo ligero (sedan, pick up, camionetas, etc.), y los vehículos de carga pesada que a su vez están separados en los autobuses utilizados para el transporte público y privado, y por ultimo con un nivel más específico de detalle los camiones destinados para el transporte de cargas. Esta distinción entre los vehículos ligeros y vehículos pesados es parte fundamental en el análisis y procesamiento de los datos ya que, en el software utilizado para analizar el área de estudio es importante indicar el porcentaje de cada tipo de vehículo presente en cada segmento vial a analizar. Aunado a esto, y teniendo la tasa de

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

flujo vehicular determinada para cada sentido de circulación dentro de la zona de estudio, es más fácil y veraz la construcción del modelo en el software utilizado, siendo entonces lo más acertado a la realidad posible.

Teniendo los datos antes mencionados se procedió a la construcción del modelo en el software de micro simulación PTV VISSIM 10, el cual permite modelar el flujo vehicular de la zona de estudio a escala microscópica, así como evaluar posibles modificaciones en la oferta de transporte, como puede ser, la restricción de algún tipo de vehículos.

Algunos de los datos que se necesitaron para la construcción de este modelo, fueron: la cantidad de vehículos que circulan por sentido en cada intersección, que porcentaje da vuelta a la izquierda, que porcentaje sigue de frente y cuantos giran a la derecha. Así mismo, se necesita hacer la distinción de que porcentaje pertenece a automóviles, a autobuses, el porcentaje de vehículos de carga pesada y el tiempo de los ciclos de los semáforos.

Para que un modelo de transporte de este tipo sea confiable, es necesario evaluar y realizar una calibración del modelo. Esto se realiza mediante el cálculo del indicador GEH, el cual es un indicador estadístico que revisa y hace una comparación entre los parámetros obtenidos de los aforos vehiculares realizados y parámetros obtenidos mediante la aplicación del software.

Así, se buscó conseguir en general, un GEH por debajo de 5, lo cual indica un buen ajuste entre los vehículos observados y simulados, y un GEH entre 5 y 10 indica un ajuste moderado. La calibración de un modelo en una zona urbana se acepta si se cumplen las siguientes condiciones:

- 85% del total de los GEH calculados < 5.00
- 90% del total de los GEH calculados < 7.5
- 95% del total de los GEH calculados < 10

Además, el Manual Británico de Diseño de Carreteras establece que se logra una buena calibración si al menos el 85% de los valores de GEH obtenidos son menores a 5, mientras que la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) de México recomienda que la calibración sea de al menos 60% de los GEH inferior a 5, el 95 % de GEH debe ser inferior a 10 y el 100 % de GEH debe ser inferior a 12 (Gómez & Rivas, 2020). Por lo anterior, se logra resumir tales parámetros de la siguiente manera (Tabla 3):

Tabla 3. Parámetros del Indicador GEH.

Indicador GEH	
0 a 5	Adecuada correspondencia entre vehículos observados y simulados.
5 a 10	Ajuste moderado.
> 10	Alta probabilidad de tener problemas en el punto de toma de información o representación del modelo.

Fuente: adaptado de Al-Qadi et. al, 2008.

Los pasos a seguir para la simulación del escenario de la situación actual de la zona en PTV Vissim fueron:

1. Ubicar la zona a analizar.
2. Diseñar los carriles de circulación.
3. Indicar los vehículos para la simulación, configurar la demanda vehicular por sentido de circulación de la intersección y designar límites de velocidad para cada tipo de vehículo.
4. Configurar los tiempos de semáforo para cada sentido de circulación, así como también el ciclo completo de la intersección.

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

5. Indicar las áreas de reducción de velocidad.
6. Detalles de diseño más específicos.
7. Calibración y validación del modelo.

Una de las partes más importantes del análisis es la correcta validación del modelo, la cual será el reflejo de que tan bien está construido el modelo en el software y nos permitirá saber si los resultados obtenidos son realmente válidos. Para esto, una vez construido y calibrado el modelo a partir de los datos ingresados de los aforos realizados (indicador GEH) en un horario cualquiera, se remplazan los datos de entrada por valores obtenidos de los aforos realizados en horario pico, ya que en este periodo de tiempo es donde se presenta un mayor flujo vehicular de los transportes en general.

Con ayuda de estos pasos se consiguió la correcta representación de la zona a evaluar y se logró una correcta revisión de los resultados que arrojará el software de micro simulación vehicular.

Evaluación de la Zona de Estudio

En este apartado se contempla la evaluación de la propuesta de solución que se va a implementar, ya sea alguna restricción a algún tipo de vehículo, una modificación en la geometría de la zona de estudio, cambios en la configuración de los tiempos de semáforo, etc.

Así, una vez calibrado y validado el modelo de la situación actual en Vissim 10, la propuesta de solución es incorporada en el mismo modelo como un nuevo escenario. Para el caso de estudio, la alternativa evaluada es restringir totalmente la circulación de transporte de carga pesada en la sección de interés de la Calzada Independencia, con lo cual se espera se reduzcan los tiempos de viaje de los demás usuarios y disminuyan las longitudes de cola vehiculares, esto de acuerdo a lo establecido en el capítulo 1. En este sentido, para el nuevo

ANALISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

escenario en Vissim 10, la proporción de vehículos TCP con movimientos en dirección hacia la Calzada Independencia se ajustan a 0.

Para lograr evaluar las variables antes mencionadas, el software de micro simulación vehicular cuenta con herramientas de análisis que permitirán su correcta revisión.

Por un lado, para valorar el impacto de la propuesta en las longitudes de cola se emplea el comando “Nodos”, el cual a partir de la delimitación de polígonos de análisis por intersección permite la evaluación de las longitudes de cola, máxima y promedio, volumen vehicular promedio, y el nivel de servicio de los movimientos en las intersecciones. Así, se aplica el análisis por “Nodos” en el escenario actual y propuesto, y se contrastan ambos resultados.

Por otro lado, para medir el impacto en los tiempos de recorrido, se identifica el tiempo promedio que le toma a un vehículo desplazarse una cierta distancia, en este caso, el tiempo que le toma recorrer la distancia de una intersección a otra con y sin vehículos de carga pesada, y se contrastan ambos resultados.

Capítulo 5. Resultados

Con el fin de cumplir los objetivos propuestos en el capítulo 1, en este apartado se pueden apreciar los resultados obtenidos, consecuencia de la metodología y pasos empleados en el capítulo 4.

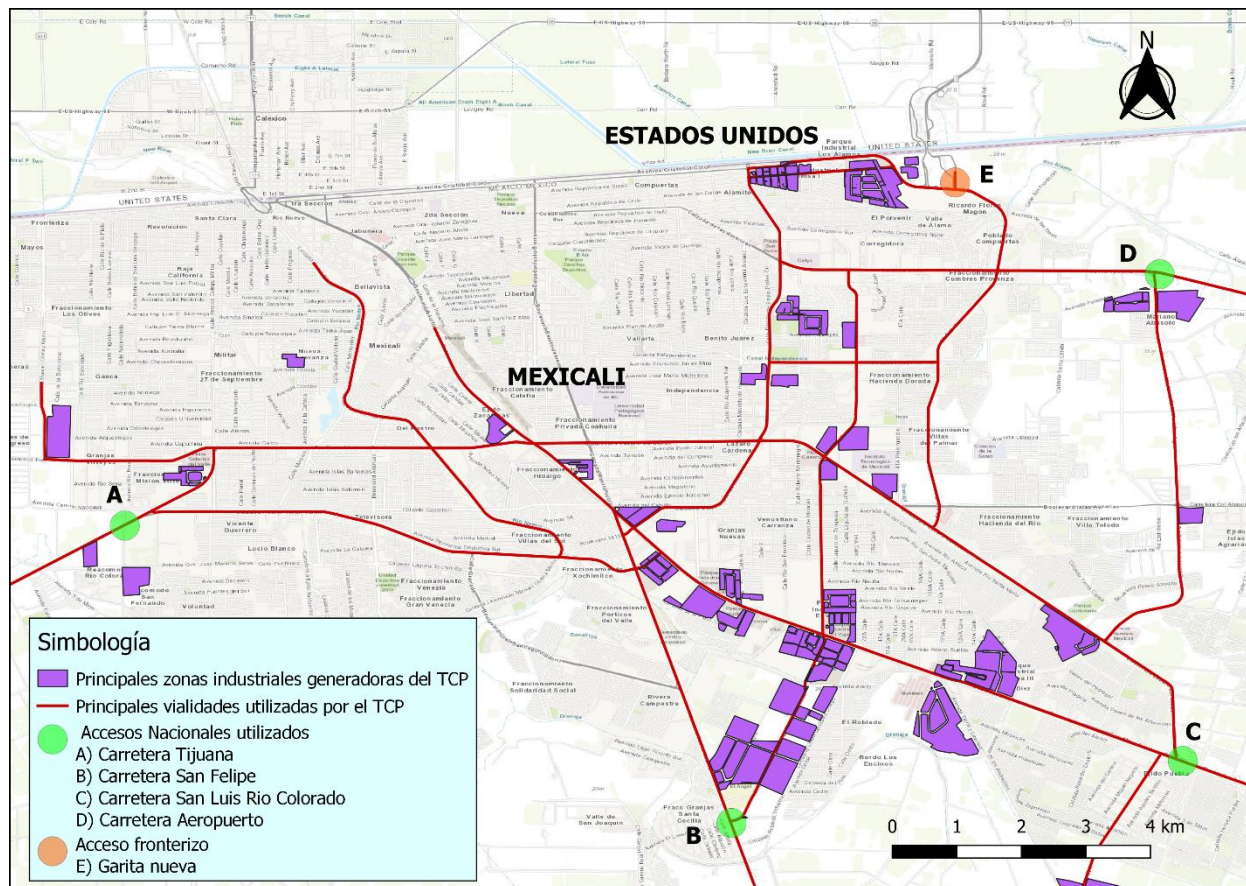
Análisis Conceptual Estratégico

La Zona urbana de la ciudad de Mexicali presenta en la actualidad una alta presencia del sector industrial y por consiguiente una alta circulación del Transporte de Carga Pesada, este tipo de transporte circula a través de toda la ciudad sin ningún tipo de restricción o limitación. Por lo cual, en ocasiones sus viajes se realizan por vialidades que no son aptas para su circulación diaria. A partir de los recorridos que se realizaron a través de la zona urbana de Mexicali, se identificaron las principales zonas que son foco de atracción y que son generadoras del movimiento de los transportes de carga pesada, se observó que estas zonas están conformadas principalmente por áreas industriales y comercios.

Otra de las variables a considerar para este análisis, fue identificar cuáles son los puntos de acceso de entrada y salida de la ciudad del TCP, dando como resultado 5 accesos principales; 4 carreteras nacionales, de las cuales dos de ellas conectan con municipios cercanos, una conecta con un estado vecino y la última conecta con varios poblados y se ramifica en varios caminos, y por último un acceso comercial fronterizo, el cual, es el conector principal de la ciudad con Estados Unidos.

Así, teniendo ubicadas las zonas de mayor generación de TCP, las vialidades que mayormente utilizan los TCP para transitar y los puntos de acceso y salida de la ciudad, se pueden realizar análisis para identificar que vialidades realmente se necesitan para el movimiento de este tipo de transportes, lo cual se puede observar en la siguiente figura (Figura 13).

Figura 13. Principales zonas industriales y vialidades utilizadas por los transportes de carga pesada en la zona urbana de Mexicali.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura se puede observar que los puntos generadores de TCP se ubican principalmente en la zona Este y Sur-Este de la mancha urbana. Se puede observar que muchos de los viajes van hacia la garita ubicada en la parte Noreste de la ciudad (punto E), también algunos transportes requieren desplazarse hacia el otro extremo de la mancha urbana para ir a la zona costa (punto A). Para los desplazamientos en dirección Este-Oeste son muchas las alternativas de vialidades, pero para los movimientos norte-sur en el cuadrante este de la ciudad, se utilizan diversas vialidades, por lo que podría restringirse la circulación en alguna de estas.

La información que se muestra en la figura 13, se logró reunir mediante estudios previos realizados que hacen referencia al movimiento del transporte de carga en la ciudad de Mexicali,

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

y a partir de los recorridos de campo que se realizaron dentro de la zona urbana de la ciudad, los cuales se pueden apreciar a continuación (Figura 14):

Figura 14. Recorridos de campo, evidencia fotográfica.

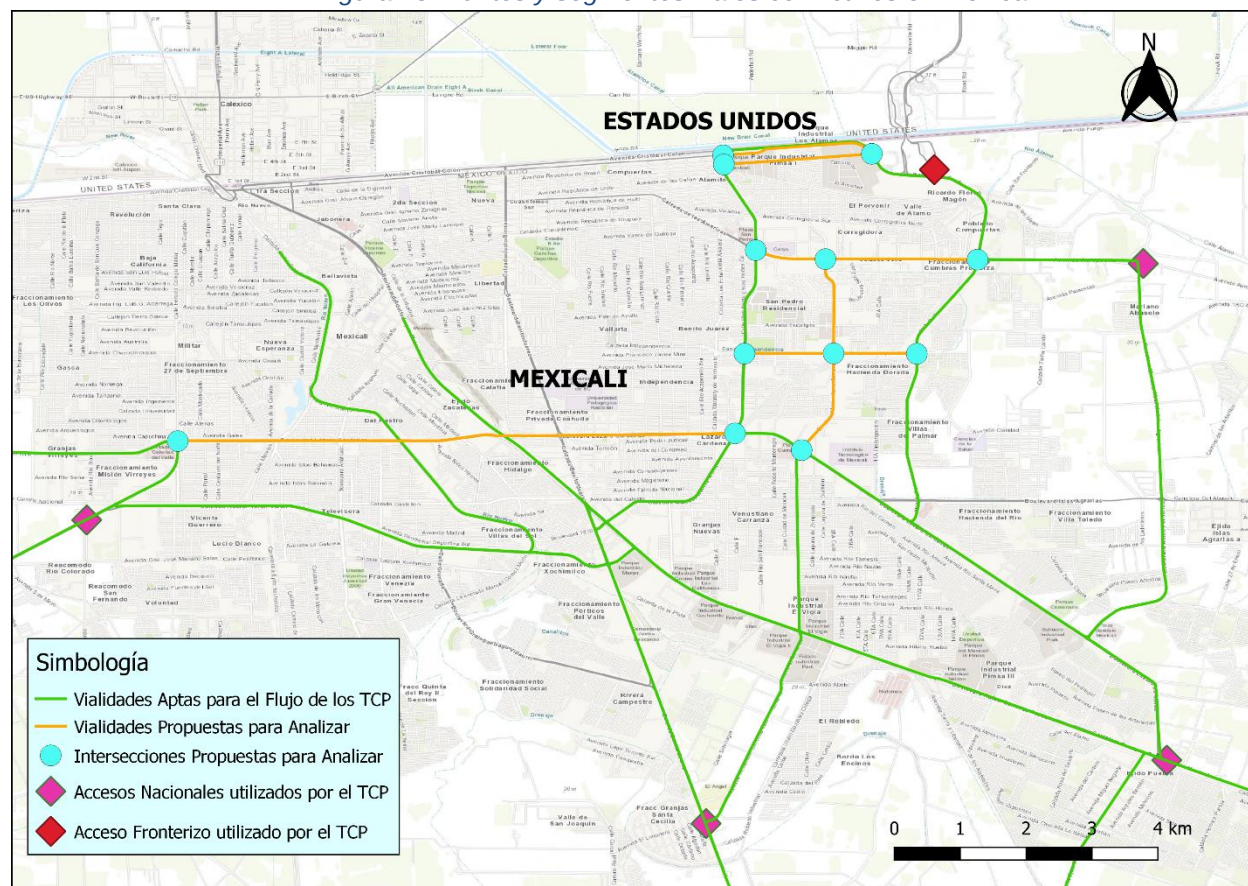


Fuente: Fotografías tomadas a partir de recorridos de campo.

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

Para la zona urbana de la ciudad de Mexicali se identificaron varios posibles puntos de interés para realizar un análisis más detallado (Figura 15).

Figura 15. Puntos y segmentos viales conflictivos en Mexicali.



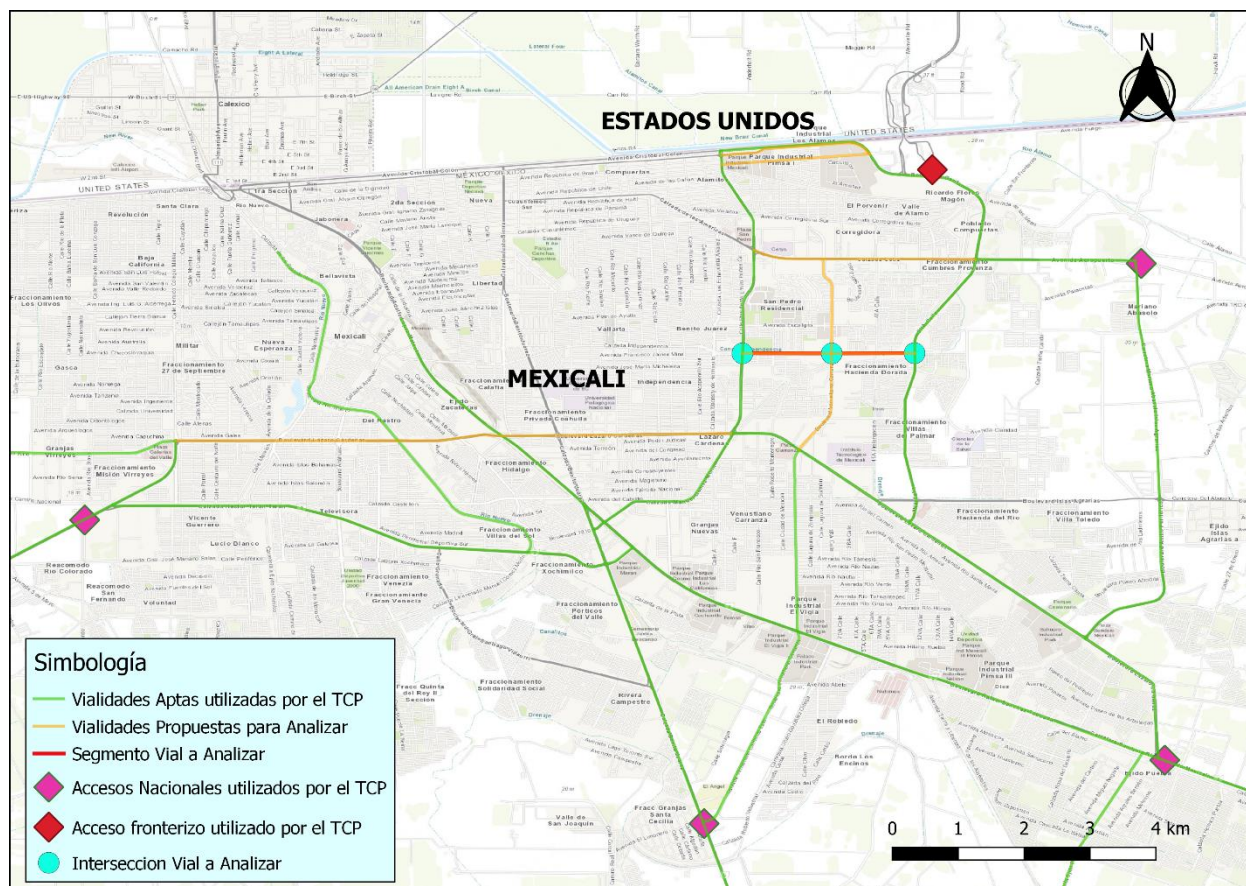
Fuente: Elaboración propia.

De todas las vialidades por las que circulan los transportes de carga pesada, se analizaron cuales tienen la capacidad para atender la alta demanda de este tipo de transporte o que simplemente no se les puede asignar ningún tipo de restricción, esto debido a la alta presencia del sector industrial en la zona. Se realizaron recorridos de campo para buscar algún tipo de limitación, restricción o afectación significativa que obligara a realizarse un análisis más detallado. Dicho recorrido dio como resultado que, la Calz. Independencia (entre Calz. Manuel Gómez Morin y C. Novena) presenta un alto número de vehículos de carga pesada que transitan

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

por la vialidad, además se observó que en dicho segmento si existe la presencia de señalamiento restrictivo de vehículos pesados, además se observó que existen deformaciones significativas en la carpeta asfáltica.

Figura 16. Zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a lo anterior, se determina que la zona de estudio a analizar será: Calz. Independencia comprendida por 3 intersecciones semafóricas, Independencia con; Calz. Manuel Gómez Morin (MGM), Blvr. Venustiano Carranza (VC) y C. Novena (9NA).

Análisis de la Zona de Estudio

En este punto se realizaron los trabajos de campo necesarios: levantamiento geométrico, aforos vehiculares direccionales y medición de ciclos semafóricos, esto para lograr la construcción del modelo microscópico del estado actual de la zona de estudio.

De acuerdo a la primera etapa de la metodología el segmento vial que se identificó como zona de conflicto es la Calz independencia, debiéndose analizar 3 intersecciones semaforizadas (Manuel Gómez Morin, Venustiano Carranza y Novena). Después de los trabajos de campo realizados en el área de estudio se recolectó la siguiente información.

Tabla 4. Características de las vialidades a analizar.

Tipo de Vialidad	Nombre de la vialidad	Cantidad de Sentidos	Número de Carriles por Sentido	Ancho de carril (m) promedio	Elemento de Estudio
Calzada	Independencia	2	3	3.5	Calz. Manuel Gómez Morin - C. Novena
	Manuel Gómez Morín	2	3		Intersección con Calz. Independencia
Boulevard	Venustiano Carranza	2	2		
Calle	Novena	2	3		

Fuente: Elaboración propia.

El concentrado de los valores obtenidos de los aforos realizados se muestra a continuación (Tabla 5), los resultados detallados se pueden observar en el apartado Anexos.

Tabla 5. Concentrado de aforos realizados en campo.

Segmento Vial	Sentido de circulación desde lado:	Intersección con:		
		Manuel Gómez Morín	Venustiano Carranza	Novena
		Cantidad total de vehículos (1 hora)		
Independencia	Sur	1736	1266	1612
	Este	1376	1052	-
	Norte	1368	960	1452
	Oeste	1456	1554	588
Total de vehículos =		5936	4832	3652

Fuente: Elaboración propia.

Algunas de las características de la zona de estudio se describen a continuación:

Desde la primera intersección hacia la segunda (MGM-VC) se tiene una longitud total de desplazamiento aproximado de 1.4km y de la segunda intersección hacia la tercera (VC-N) se tiene una longitud aproximada de 1.3km, dando una longitud total de desplazamiento aproximada de 2.7km.

Se identificaron diferentes vehículos utilizados para el transporte de carga pesada transitando por el área de estudio, entre los cuales se detectó al T3-S2-R4 el cual es uno de los principales vehículos utilizados para el transporte de carga en todo México.

Construcción del Modelo de Oferta

Se localiza la zona de estudio para este análisis, la cual como se mencionó anteriormente en el documento es la Calz. Independencia, analizando principalmente 3 intersecciones, las cuales son, Independencia con: Calz. Manuel Gómez Morín, Blvr. Venustiano Carranza y C. Novena.

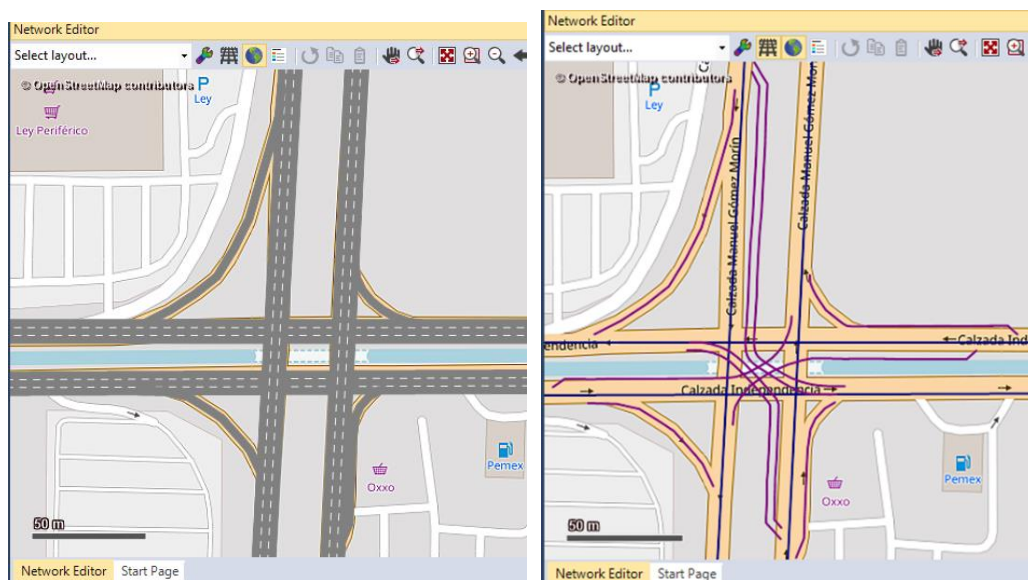
Figura 17. Identificación de Zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez ubicada la zona de análisis con la que se va a trabajar se diseñan los carriles para cada sentido de circulación de las intersecciones. Posteriormente, se indicaron las conexiones (Conectores) existentes entre las diferentes vialidades, que carril(es) de la vialidad 1 conectan con la vialidad 2 (vuelta a la derecha) y con el carril 3 (vuelta izquierda), esto claro si es que las condiciones de la intersección lo permitían. Lo anterior se puede apreciar en el siguiente ejemplo donde se aprecia la intersección de Calz. Independencia con Calz. Manuel Gómez Morin (Figuras 18).

Figura 18. Diseño de carriles y conectores por sentido de circulación.



Fuente: Elaboración propia en Vissim.

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

Una vez realizado el diseño de los carriles de todas las intersecciones, se prosiguió con el análisis de los tiempos de semáforo para cada sentido de circulación, lo cual se ve representado en la siguiente tabla.

Tabla 6. Duración de tiempos de semáforo en cada intersección.

Intersección		Independencia		
		Manuel Gómez Morín	Venustiano Carranza	Novena
Sentido	Dirección	Tiempo de duración en el ciclo de la intersección semafórica (Segundos).		
Sur - Oeste		23	20	45
Sur - Norte		35	46	45
Norte - Este		21	16	-
Norte - Sur		33	40	40
Oeste - Norte		20	18	45
Oeste - Este		37	35	-
Este - Oeste		35	35	-
Este - Sur		18	18	-
Duración total del ciclo		110	115	130

Fuente: Elaboración propia a partir de procesamiento de aforos direccionales.

Modelación de la Demanda y Asignación

Una vez que se realizó el concentrado de la cantidad de vehículos que circulaban por cada intersección, se realizó la distinción de que porcentaje pertenecía a que tipo de vehículo, manejándose 3 tipos principalmente: los automóviles, en su mayoría tipo sedan (A), los autobuses, sin importar si fueran para transporte de personal o para transporte público (B) y finalmente los transportes de carga pesada (TCP), lo que se ve resumido en la siguiente tabla (Tabla 7).

Tabla 7. Resumen de clasificación vehicular por vialidad.

RESUMEN DE CLASIFICACION VEHICULAR						
VIALIDAD	Porcentaje (%)			Decimal		
	A	B	TCP	A	B	TCP
INDEPENDENCIA	90.9	0.0	9.1	0.909	0.000	0.091
MANUEL GÓMEZ MORÍN	93.3	0.7	6.0	0.933	0.007	0.060
VENUSTIANO CARRANZA	93.9	0.4	5.7	0.939	0.004	0.057
NOVENA	94.4	0.3	5.3	0.944	0.003	0.053

Fuente: Elaboración propia a partir de procesamiento de aforos direccionales.

Después de clasificar los vehículos en 3 principales tipos, se amplió un poco más la clasificación, enfocando dicha agrupación en los diferentes tipos de transportes de carga que transitan por la zona de estudio, dando como resultado la siguiente información:

Figura 19. Composición vehicular obtenida en campo.

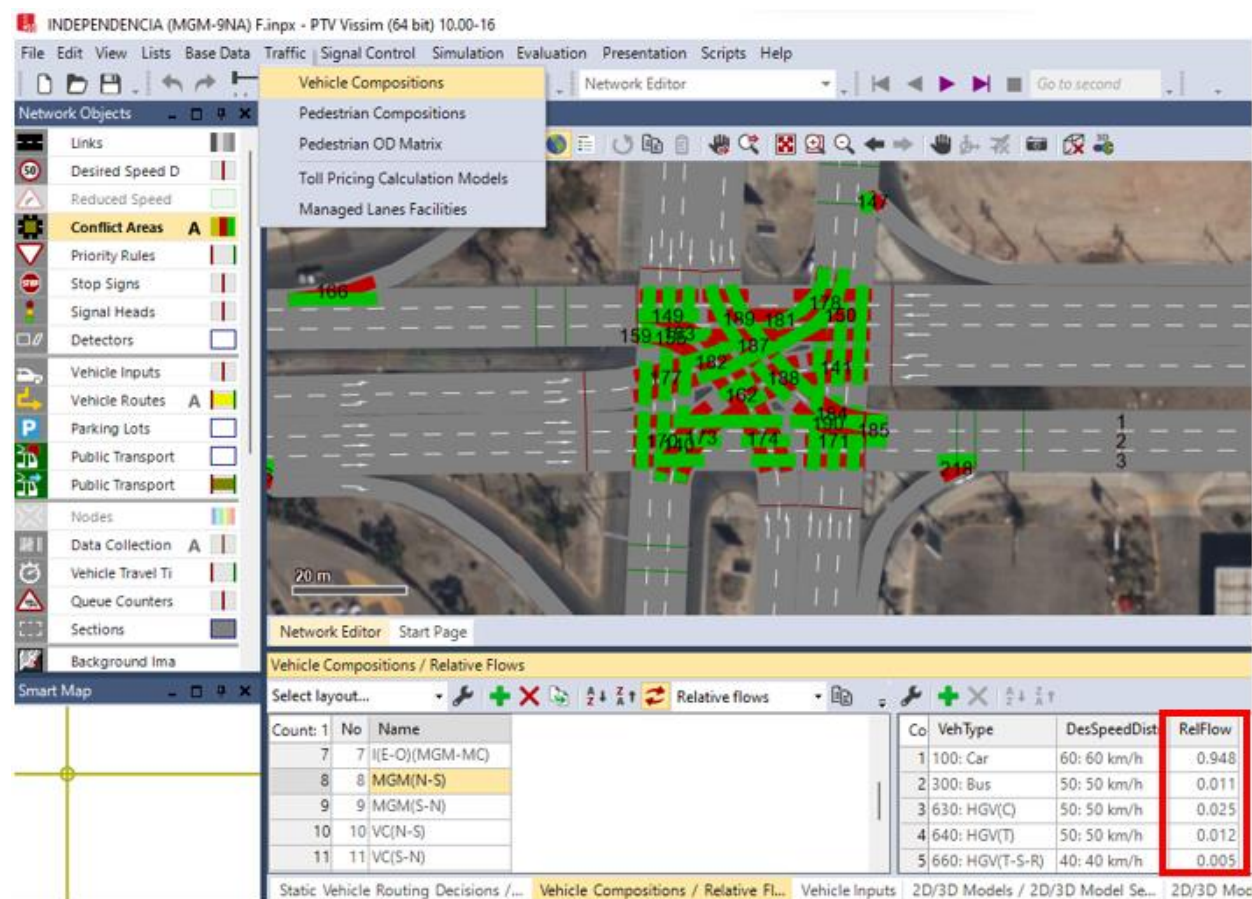
A: Automóvil			INDEPENDENCIA						MANUEL GÓMEZ MORÍN					
B: Autobus	Vehículo		A	B	C	T	TS	TSR	A	B	C	T	TS	TSR
C: Camión de carga	Sentido	N - S							0.948	0.011	0.025	0.012	0.000	0.005
T: Tractocamión		S - N							0.919	0.003	0.027	0.047	0.004	0.000
TS: Tractocamión con Semirremolque		O - E	0.969	0.000	0.018	0.003	0.000	0.010						
TSR: Tractocamión con Semirremolque y Remolque		E - O	0.950	0.000	0.016	0.024	0.000	0.011						
	Prom. Decimal		0.959	0.000	0.017	0.013	0.000	0.011	0.933	0.007	0.026	0.030	0.002	0.003
	Promedio (%)		95.9	0.0	1.7	1.3	0.0	1.1	93.3	0.7	2.6	3.0	0.2	0.3

Fuente: Elaboración propia en Excel.

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

Se creó la configuración vehicular, es decir, se indicó qué porcentaje de la cantidad de vehículos aforados pertenecen a automóviles, autobuses, transportes de carga, etc. (Figura 20). De igual manera se indicaron las velocidades máximas para cada tipo de vehículo registrado y la composición vehicular antes mencionada, lo cual se refleja en el software de la siguiente manera (Figura 21):

Figura 20. Composición vehicular y límites de velocidad en Vissim.



Fuente: Elaboración propia en Vissim

Para lograr una correcta configuración de los tiempos de semáforo para cada sentido de circulación, así como también el ciclo completo de la intersección, es necesario diseñar e indicar en cada cabeza semafórica el tiempo de ciclo que le corresponde, indicar el tiempo de verde, de amarillo y de rojo en el diseño del modelo. Para lograr esto, primero se crearon las señales de

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

control para cada intersección (3 en total), lo que se puede apreciar en la siguiente imagen (Figura 21):

Figura 21. Creación de señales de control para cada intersección a analizar.

Signal Controllers / Signal Groups										
Count: 3	No	Name	Type	CycTm	CycTmIsVar	SupplyFile1	Count: 8	No	Name	Type
1	1	MGM	Fixed time	0	☐	vissig.config	1	1	IND - MGM (O - N)	Normal
2	2	VC	Fixed time	0	☐	vissig.config	2	2	IND (O - E)	Normal
3	3	9NA	Fixed time	0	☐	vissig.config	3	3	MGM - IND (S - O)	Normal
							4	4	MGM (S - N)	Normal
							5	5	IND - MGM (E - S)	Normal
							6	6	IND (E - O)	Normal
							7	7	MGM - IND (N - E)	Normal
							8	8	MGM (N - S)	Normal

Fuente: Elaboración propia en PTV VISSIM.

Posteriormente dentro de cada señal de control, se crearon y configuraron las diferentes fases de semáforo para cada intersección (Signal groups). En la siguiente imagen se logra apreciar dicho proceso realizado en la intersección de análisis de Calz. Independencia con Blvr. Manuel Gómez Morín (Figura 22).

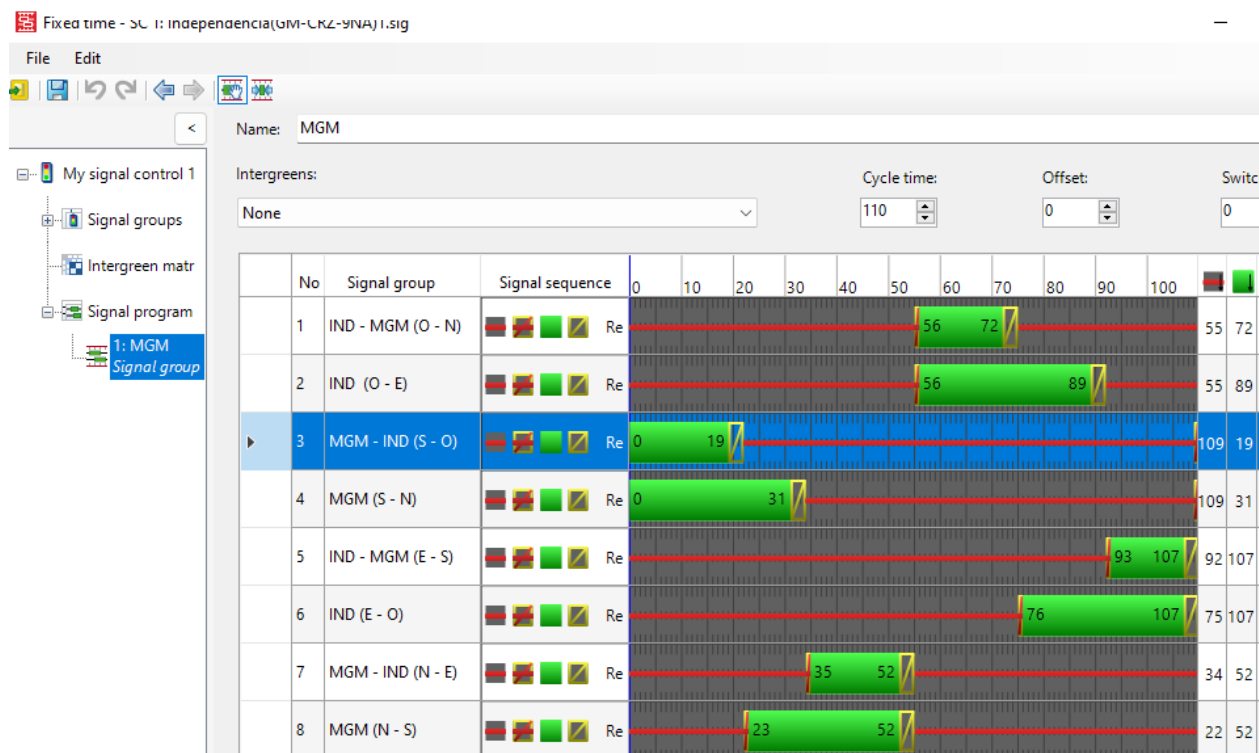
Figura 22. Grupo de señales semafóricas (independencia-MGM).

No	Name
1	IND - MGM (O - N)
2	IND (O - E)
3	MGM - IND (S - O)
4	MGM (S - N)
5	IND - MGM (E - S)
6	IND (E - O)
7	MGM - IND (N - E)
8	MGM (N - S)

Fuente: Elaboración propia en PTV VISSIM.

De igual manera a continuación se muestra el proceso para programar las señales para cada ciclo semafórico, en el ejemplo se observa que es la intersección independencia – Manuel Gómez Morín (Figura 23).

Figura 23. Programa de señales para ciclo semafórico.



Fuente: Elaboración propia en Vissim.

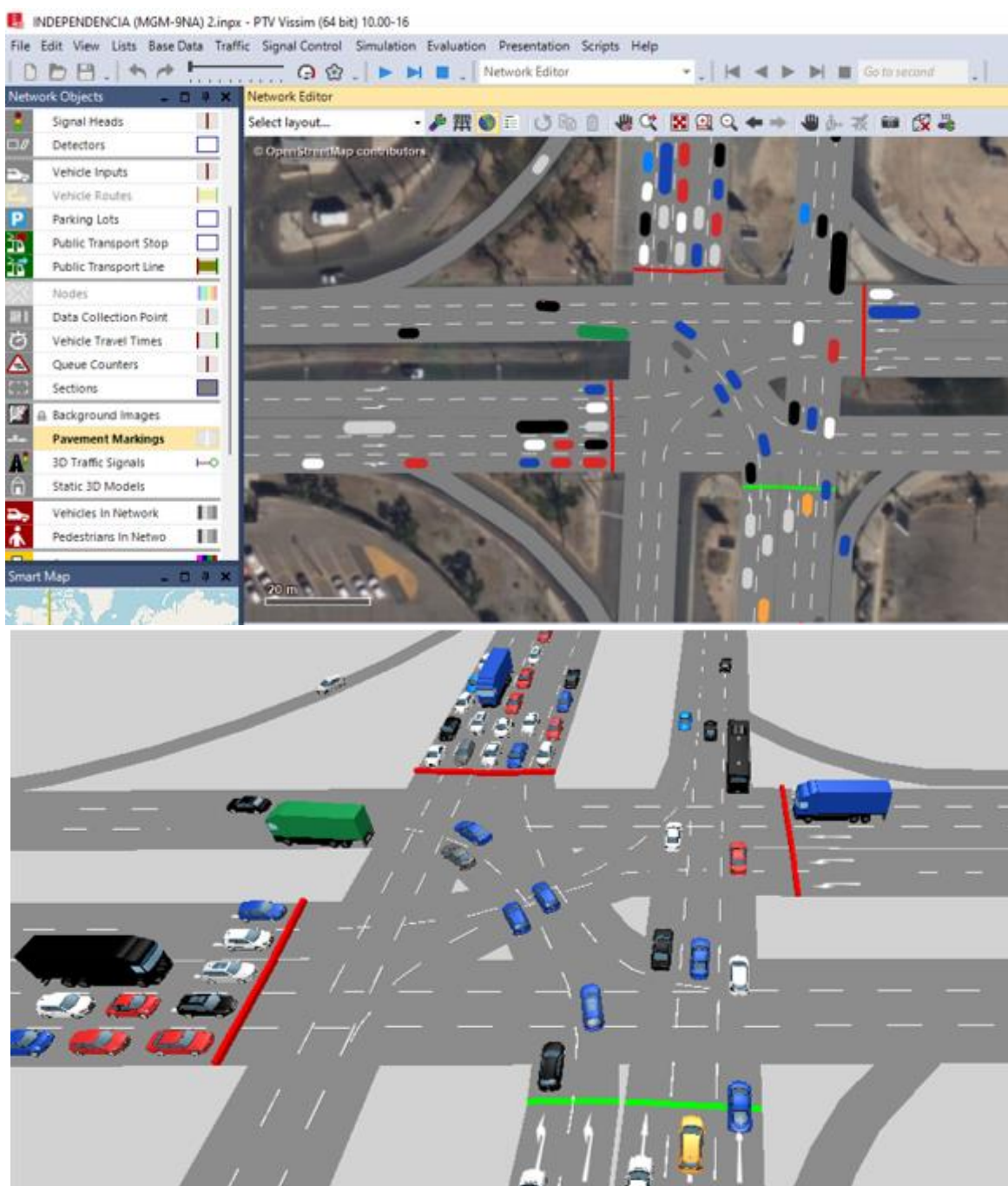
Nota: En la figura anterior se pueden observar las diferentes opciones en uno de los sentidos del flujo que puede tener un vehículo al entrar en contacto con una de las intersecciones de análisis (Calz. Independencia con Blvr. Manuel Gómez Morín), en este programa solo se contemplan las opciones que son afectadas en su totalidad por el ciclo del semáforo, se excluyen las vueltas libres por no depender de un semáforo como tal, sino del flujo vehicular presente en la vía a la que quieran incorporarse.

Posterior a la programación de señales para cada ciclo semafórico se puede realizar una primera corrida del modelo para ir revisando cómo se comporta el modelo en general, además se podrá analizar visualmente en la simulación si hay algún dato a corregir y que no exista algún comportamiento extraño entre los diferentes involucrados en el modelo. Al momento de "correr" por primera vez en el modelo podremos ver como empieza a interactuar el escenario construido con los volúmenes de vehículos ingresados al modelo, lo cual inicialmente se podrá visualizar en

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

2D, la cual ayuda a que el software realice los cálculos necesarios de una forma más óptima y rápida. En el caso de que necesitemos una mejor visualización del modelo se puede optar por una vista en 3D, la cual es una mejor opción visual, dichas vistas se pueden apreciar a continuación:

Figura 24. Visualización inicial de la corrida del modelo (Vista 2D y 3D).



Fuente: Elaboración propia en Vissim.

Evaluación del Modelo del Estado Actual: Análisis de Calibración y Validación

Para evaluar la correcta calibración del modelo se realizó el cálculo de los GEH correspondientes dentro del modelo, lo que arrojó la siguiente información:

Figura 25. Indicadores GEH obtenidos en Vissim.

Data Collection Measurements							
Select layout... <Single List>							
Count: 11	No	Name	DataCollectionPoints	Vol_Campo	Vehs(42,Last,All)	Vehs(Current,Last,All)	GEH_
1	1	IND(O-E)(MGM-VC)	1,2,3	1592	1577	1577	0.38
2	2	MGM (S-N)	4,5,6	1376	1092	1092	8.08
3	3	IND(E-O)(MGM-MC)	7,8,9	1428	1099	1099	9.26
4	4	MGM(N-S)	10,11,12	1540	1374	1374	4.35
5	5	IND(O-E)(VC-9NA)	13,14,15	1156	1050	1050	3.19
6	6	VC(S-N)	16,17	556	459	459	4.31
7	7	IND(E-O)(VC-MGM)	18,19,20	1096	860	860	7.55
8	8	VC(N-S)	21,22	1420	1438	1438	0.48
9	9	9NA(S-N)	23,24,25	1408	1450	1450	1.11
10	10	IND(E-O)(9NA-VC)	26,27,28	920	731	731	6.58
11	11	9NA(N-S)	29,30,31	1324	1427	1427	2.78

Fuente: Elaboración propia en PTV VISSIM.

Tabla 8. Indicadores GEH obtenidos en Excel.

DATA COLLECTION MEASUREMENT: NO	NAME	DATA COLLECTION POINTS	Vol_Campo	Vol_Vehs_Vissim	GEH
1	IND(O-E) (MGM-VC)	1,2,3	1592	1577	0.38
2	MGM (S-N)	4,5,6	1376	1092	8.08
3	IND(E-O) (MGM-MC)	7,8,9	1428	1099	9.26
4	MGM(N-S)	10,11,12	1540	1374	4.35
5	IND(O-E) (VC-9NA)	13,14,15	1156	1050	3.19
6	VC(S-N)	16,17	556	459	4.31
7	IND(E-O) (VC-MGM)	18,19,20	1096	860	7.55
8	VC(N-S)	21,22	1420	1438	0.48
9	9NA(S-N)	23,24,25	1408	1450	1.11
10	IND(E-O) (9NA-VC)	26,27,28	920	731	6.58
11	9NA(N-S)	29,30,31	1324	1427	2.78

Fuente: Elaboración propia en Excel.

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

Tabla 9. Resumen de valores GEH obtenidos.

Secretaría de Comunicaciones y Transporte de México				
GEH	Cantidad obtenida	Porcentaje del total (%)		Cumple (Sí/No)
		Requerido	Obtenido	
< 5	7	60	64	Sí
< 10	11	95	100	Sí
< 12	11	100	100	Sí

Fuente: Elaboración propia en Excel.

Nota: Lo anterior muestra que cumple con lo establecido por la secretaria de Comunicaciones y Transporte de México, esto quiere decir que; el modelo se encuentra calibrado satisfactoriamente, ya que más del 60% de los GEH son menores a 5, más del 95% son menores a 10 y el 100% están por debajo de 12.

La intersección Independencia-Gómez Morin fue el cruce vial que presentó la mayor demanda vehicular, registrándose un volumen promedio de 7385 vehículos por hora, en un horario de 5pm a 6pm. Por lo cual, para validar los datos del programa, se eligió dicho intervalo de tiempo para volver a correr el programa y verificar que corriera satisfactoriamente.

Evaluación de la Propuesta de Solución

Evaluando la propuesta de retirar en su totalidad al transporte de carga pesada de la zona de estudio, se obtiene el siguiente resultado:

Si se restringe la circulación del TCP, se obtiene una reducción promedio del 22% en la longitud de colas en cada intersección que se analizó, consiguiendo una mejora considerable en el flujo general de todo el segmento vial.

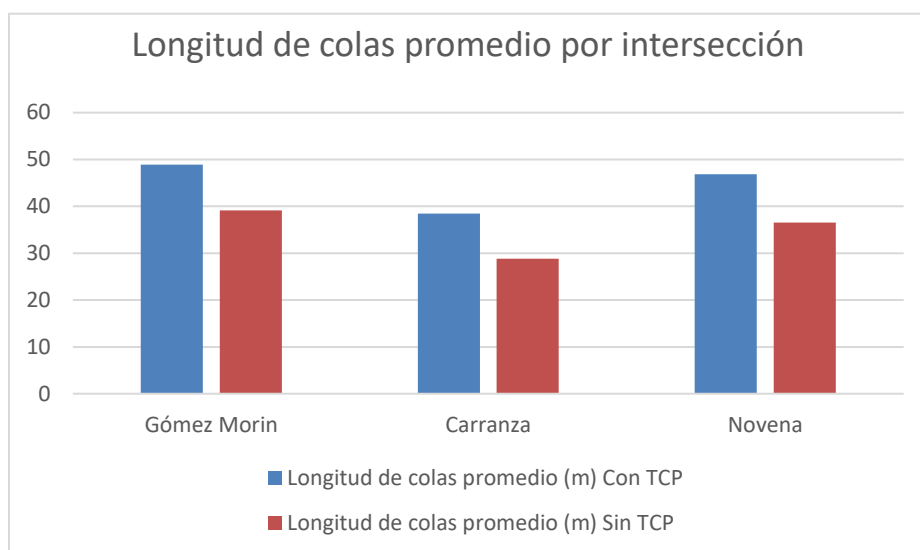
Tabla 10. Longitud de cola promedio en la zona de estudio.

Intersección	Longitud de colas promedio (m)		Reducción de colas (%)
	Con TCP	Sin TCP	
Gómez Morin	48.89	39.11	20.00
Carranza	38.46	28.85	25.00
Novena	46.85	36.54	22.00
Promedio =	44.73	34.83	22.33

Fuente: Elaboración propia en Excel.

Lo anterior se puede representar visualmente de la siguiente manera (Figura 27):

ANALISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

Figura 26. Longitud de colas promedio en cada intersección.*Fuente: Elaboración propia.*

Para la evaluación de resultados se optó por utilizar los valores del día y hora con más volumen vehicular en total de las 3 intersecciones a analizar. Dicho análisis dio como resultado que el día miércoles de las 16:00 a las 17:00 es el intervalo de tiempo que se presenta una mayor demanda vehicular en general en el segmento vial que se analizó (Para mayor detalle revisar anexos).

Un análisis realizado en los tiempos de viaje de los vehículos ligeros con la presencia de los transportes de carga demostró un tiempo de viaje promedio de 303 segundos (un poco más de 5 minutos) desde Manuel Gómez Morin, hasta calle Novena (Sentido Oeste-Este). Y un tiempo de viaje promedio de 226 segundos (Un poco más de 3 minutos y medio) desde Novena, hasta Manuel Gómez Morín (Tabla 10).

Tabla 11. Tiempo de viaje promedio con presencia del TCP.

Tiempo de viaje promedio con Transporte de carga			
De	Hacia	Tiempo (seg)	T acum (seg)
Gómez Morin	Carranza	149.54	149.54
Carranza	Novena	153.49	303.03
Novena	Carranza	118.87	118.87
Carranza	Gómez Morin	107.66	226.53

Fuente: Elaboración propia en Excel

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

Posteriormente se realizó el análisis de los tiempos de viaje de los vehículos ligeros, pero esta vez sin la presencia de los transportes de carga pesada, logrando realizar el mismo viaje antes mencionado (Sentido O-E), pero esta vez consiguiendo una disminución en el tiempo de traslado promedio del 12%.

Tabla 12. Tiempo de viaje promedio sin presencia del TCP.

Tiempo de viaje promedio sin Transporte de carga			
De	Hacia	Tiempo (seg)	T acum (seg)
Gómez Morin	Carranza	131.61	131.61
Carranza	Novena	135.07	266.68
Novena	Carranza	102.23	102.23
Carranza	Gómez Morin	94.69	196.92

Fuente: Elaboración propia en Excel.

De acuerdo al IMT (Hernández et al., 2022) se puede estimar el valor del tiempo de viaje por hora de los usuarios del caso de estudio, el cual dependerá del motivo de viaje ya sea si es por trabajo (\$327 en promedio) o si es por placer (\$197 aproximadamente).

Tabla 13. Beneficio económico de viajes considerando el valor del tiempo (1 Hora).

Beneficio económico de viajes considerando el valor del tiempo en México								
Sentido	Vialidad		Ahorro de tiempo (seg)	Vehículos por hora	Tiempo por demanda (Seg)	Tiempo por demanda (Hora)	Valor de Tiempo de Viaje (\$)	
	De	Hacia					Trabajo*	Placer**
O - E	Gómez Morin	Carranza	17.93	1646	29513	8.20	535	321
	Carranza	Novena	18.42	1196	22030	6.12	330	198
E - O	Novena	Carranza	16.64	1236	20567	5.71	256	154
	Carranza	Gómez Morin	12.97	952	12347	3.43	188	113

Fuente: Elaboración propia en Excel.

Nota: En la tabla anterior se puede observar una representación del beneficio de ahorro de tiempo en el escenario propuesto y como esto puede ser transformado a un valor económico el cual se puede apreciar en las últimas dos columnas; en las cuales se puede observar que el valor del tiempo de viaje se puede clasificar de dos maneras; viajes por trabajo y viajes por placer.

ANALISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

*El valor del tiempo por viaje de trabajo es 65.31 pesos por hora.

**El valor del tiempo por viaje de placer es 39.19 pesos por hora.

Los datos anteriores fueron obtenidos de acuerdo a los cálculos realizados por Hernández et al. (2022).

Posteriormente se realizó la evaluación del beneficio económico de viaje por trabajo y por placer, pero en este caso se hizo el cálculo del beneficio por día, por semana y finalmente por año, dando como resultado la siguiente información (Tabla 14).

Tabla 14. Beneficio económico de viajes considerando el valor del tiempo.

Sentido	Vialidad		Valor de tiempo de viaje (1 Hora)		Valor de tiempo de viaje					
	De	Hacia	Trabajo	Placer	Trabajo	Placer	Trabajo	Placer	Trabajo	Placer
O - E	Gómez Morin	Carranza	535	321	7,643	4,586	38,215	22,930	1,987,180	1,192,360
	Carranza	Novena	330	198	4,714	2,829	23,570	14,145	1,225,640	735,540
E - O	Novena	Carranza	256	154	3,657	2,200	18,285	11,000	950,820	572,000
	Carranza	Gómez Morín	188	113	2,687	1,614	13,435	8,070	698,620	419,640
	Promedio=		327	197	Día		Semana		Año	

Fuente: Elaboración propia en Excel.

Nota: Para obtener el beneficio por día se identificó la proporción de la demanda diaria a partir de la hora de máxima demanda, de acuerdo a los resultados obtenidos; se tiene que el dato de la hora modelada de máxima demanda representa el 7% de los viajes diarios, es entonces que para el beneficio por día se dividió el valor del tiempo de viaje por hora entre el porcentaje mencionado, dicho resultado representa el valor de viaje por día. Posteriormente para calcular el valor de viaje por semana solo se contemplaron los días de lunes a viernes por lo cual solo se requiere multiplicar por 5 para conseguir el valor semanal. Finalmente, lo obtenido se multiplica por 52 semanas que tiene un año promedio y se logra conseguir las ultimas columnas correspondientes al valor de viaje por año.

Capítulo 6. Conclusiones y Recomendaciones

Con esta investigación se logró medir, mediante micro simulación, el impacto que tiene el transporte de carga pesada en el flujo vehicular de un segmento vial que tiene una alta concentración de este tipo de transporte, para validar una propuesta de red a nivel de área urbana.

Una vez obtenidos los resultados de la investigación, es posible confirmar la hipótesis inicial en donde se establece que la restricción del transporte de carga en un segmento vial estratégico para la movilidad urbana de una ciudad fronteriza, permite reducir significativamente las longitudes de cola y los tiempos de los desplazamientos, lo cual se confirma con la comparación de los resultados de la micro simulación en el estado actual y propuesto.

Así mismo, es posible obtener conclusiones relacionadas con la metodología propuesta, así como particulares del caso de estudio.

Conclusiones Metodológicas

El tipo de metodología que se empleó en este trabajo puede funcionar como base para futuras investigaciones que estén enfocadas en el uso de micro simulación para evaluar propuestas de intervención al sistema de transporte.

Respecto al proceso de recopilación de datos, los trabajos de campo como levantamientos y aforos permitieron construir adecuadamente el modelo de oferta del estado actual, sin embargo, demandaron recursos considerables en términos de tiempo, y así mismo, representan un cierto nivel de riesgo al estar expuesto en las intersecciones viales para realizar los aforos direccionales y levantamientos. En este sentido, la recopilación de datos, particularmente los aforos, podrían optimizarse haciendo uso de nuevas tecnologías como lo son el uso de vehículos aéreos no tripulados para los conteos y clasificaciones vehiculares. Así

ANALISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

mismo, se recomienda obtener los ciclos semafóricos del organismo oficial encargado de la administración del tránsito en la ciudad.

Por otro lado, si bien el método empleado permitió evaluar el impacto de la propuesta en la sección vial de interés, es importante mencionar que retirar los vehículos de carga pesada de la sección vial propuesta, hará que estos circulen por alguna vialidad alterna, por lo cual pueden generarse problemas en las zonas aledañas. Por lo tanto, un área de oportunidad que se identifica para el método implementado es el desarrollo de una micro simulación dinámica (evaluación de cambios de ruta) de un área geográfica más extensa, la cual contemple la sección vial de interés y así mismo, las vialidades que los vehículos de carga probablemente utilizarán una vez restringida la circulación en la sección de análisis. De esta forma, sería posible identificar el impacto en las vialidades contiguas que los transportes de carga puedan provocar.

Conclusiones particulares del caso de Estudio

De acuerdo a los resultados obtenidos, al restringir la circulación de vehículos de carga pesada en la sección vial de interés, el resto de usuarios experimentarían una reducción del tiempo de viaje del orden del 12%. Esto puede llegar a representar un ahorro en tiempo de viaje de 335 horas diarias considerando la demanda total, es decir, \$ 18700 diarios considerando el valor del tiempo de viaje por motivo trabajo, es decir, más de 4.8 millones de pesos al año. Por lo tanto, se espera que los resultados de esta investigación constituyan una base técnica que sirvan a los tomadores de decisiones en la administración municipal, para justificar la implementación de estas medidas de restricción de vehículos TCP en la zona de análisis.

Para lograr el impacto deseado de las propuestas es necesario que su implementación venga acompañada de un fortalecimiento de los mecanismos de regulación y control, es decir, tránsito, multas, aplicar el reglamento, etc.

Por otro lado, es importante mencionar que los resultados permiten identificar una reducción de tiempo de 12% al transitar la sección vial de interés, sin embargo, muchos de los vehículos que transitan en dicha sección tienen orígenes y/o destinos en otras zonas, por lo que la reducción en sus tiempos de viaje puede llegar a representar aún mayores beneficios

Aporte de la investigación

A partir de la revisión del estado del arte se identificó que el área de investigación abordada en este trabajo ha sido poco explorada y analizada en México; apenas va poco más de una década que empezaron a llevarse a cabo investigaciones que hacen referencia al modelado del transporte de carga de forma general y más puntualmente empleándose como herramienta para realizar análisis de la demanda vehicular en escenarios microscópicos. En este sentido, la presente investigación aporta a la construcción del estado del arte en materia de implementación de modelos de micro simulación para la gestión del transporte de carga en zonas urbanas de ciudades mexicanas. Así, los resultados puntuales obtenidos, como lo son una reducción de colas en el orden del 22% y una disminución promedio de 12% del tiempo de viaje en una sección de vial de 2.7 km (4.4% de reducción por kilómetro), constituyen datos de referencia para estimar los impactos de este tipo de medidas de restricción en otras áreas urbanas de ciudades con vocación industrial, sobre todo, aquellas en la franja fronteriza de México.

Por otro lado, la revisión del estado del arte permitió identificar que, en América central, lugares como Brasil, Colombia, Perú, etc., existe cierto desarrollo y avance de investigaciones analizando el transporte de carga en escenarios microscópicos. Así, se identificaron zonas urbanas de países en vías de desarrollo en donde se han realizado análisis para gestionar el transporte de carga, contando con resultados aceptables. Es aquí donde esta investigación gana valor, ya que no solo se analizaron los problemas locales de la zona sino que se identificaron los problemas por los que ya pasaron diferentes usuarios involucrados en el transporte de carga en

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

otras zonas urbanas como lo son: la falta de rutas que permitan el fácil acceso a los transportes de carga, la falta de monitoreo en las rutas utilizadas, como los transportes de carga afectan a los demás usuarios de las zonas a las que ingresan, tiempos de entrega muy largos etc. Asimismo, se identificaron las medidas que implementaron los demás involucrados en el tema y las soluciones que obtuvieron, partiendo de eso se puede identificar que acciones podríamos replicar y cuáles podrían o deberían funcionar más concretamente. Entre las medidas a implementar se puede mencionar el monitoreo y control de las unidades transportistas de carga, ya que muchas veces al ingresar a una zona urbana se disponen a circular por vialidades que no son aptas para este tipo de vehículos ocasionando afectaciones negativas a los demás usuarios presentes en la zona, otra de las acciones a implementar podría ser la asignación de ventanas de tiempo para entregas en horarios que se presente una baja circulación vehicular.

Futuras Líneas de Investigación

Como ya se mencionó anteriormente, el análisis e implementación de este tipo de herramientas de evaluación son hasta cierto punto nuevas en México. Por lo cual este trabajo funciona como apoyo para futuros investigadores que estén interesados en desarrollar análisis y evaluaciones de escenarios propuestos de solución para eliminar o en su defecto mitigar alguna problemática respecto a los sistemas de transporte de carga.

En esta investigación se evaluó el impacto de la restricción de vehículos de carga en el resto de usuarios de un segmento vial, por lo que la evaluación indica que los impactos son positivos. Sin embargo, otra línea de investigación que valdría la pena desarrollar es analizar el impacto de estas medidas en el sector industrial y transportista, es decir, estas restricciones como impactan en términos económicos a la industria al sector privado que requiere del TCP.

Por otro lado, una línea de investigación que es pertinente desarrollar, consiste en el aprovechamiento del “big data” para la construcción de modelos de micro simulación de toda el

ANALISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

área urbana de una localidad, en donde se contemplen lo vehículos de carga pesada como un subsistema, y que permita así evaluar el impacto de distintas medidas de administración del TCP en todo el sistema de movilidad de la ciudad.

Bibliografía

Abanto Pérez, K. I. (2020). Microsimulación de los desplazamientos peatonales y vehiculares utilizando los softwares vissim 9.0 y viswalk 9.0 en la plazuela Bolognesi de la ciudad de Cajamarca.

Aditjandra, P. T., Galatioto, F., Bell, M. C., & Zunder, T. H. (2016). Evaluating the impacts of urban freight traffic: application of micro-simulation at a large establishment. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 16(1).

Aditjandra, P. T., Galatioto, F., Bell, M. C., & Zunder, T. H. (2016). Evaluating the impacts of urban freight traffic: application of micro-simulation at a large establishment. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*.

Aguirre, M. (2015). Sistemas, modelos y simulación. Obtenido de <http://arantxa.ii.uam.es/~aguirre/OS/sms.pdf>

Allen, J., Anderson, S., Browne, M., & Jones, P. (2000). A framework for considering policies to encourage sustainable urban freight traffic and goods/service flows: summary report.

Al-Qadi, I. L., Sayed, T., Alnuaimi, N., & Masad, E. (Eds.). (2008). *Efficient Transportation and Pavement Systems: Characterization, Mechanisms, Simulation, and Modeling*. CRC Press.

Álvarez Vargas, J. W. (2017). Micro-simulación intermodal en la ciudad del Cusco empleando los softwares Vissim 8 y Viswalk 8.

Ambrosini, C., Routhier, J. L., Sonntag, H., & Meimbresse, B. (2008). Urban freight modelling: a review. *Innovations in City Logistics*, Nova Science Publishers, New York, 197-211.

Amir, Z. I. D. I., Bouhana, A., Fekih, A., & Mourad, A. B. E. D. (2014). Personalization of itineraries search using ontology and rules to avoid congestion in urban areas. *IFAC Proceedings Volumes*, 47(3), 4196-4200.

Anderson, S., Allen, J., & Browne, M. (2005). Urban logistics—how can it meet policy makers' sustainability objectives. *Journal of transport geography*, 13(1), 71-81.

Antún, J. P. (2013). Distribución urbana de mercancías: Estrategias con centros logísticos.

Arvidsson, N., Woxenius, J., & Lamngård, C. (2013). Review of road hauliers' measures for increasing transport efficiency and sustainability in urban freight distribution. *Transport Reviews*, 33(1), 107-127.

Ayuntamiento de Mexicali. (2001) Reglamento de Tránsito para el Municipio de Mexicali, Baja

California. (2002). Periódico Oficial del Estado de Baja California.

<http://www.mexicali.gob.mx/transparencia/normatividad/reglamentos/pdf/Reglamento%20de%20Tran sito.pdf>

Ayuntamiento de Mexicali. (2002) Reglamento de Transporte Público para el Municipio de Mexicali, Baja California. (2002). Periódico Oficial del Estado de Baja California.

<https://www.mexicali.gob.mx/transparencia/normatividad/reglamentos/pdf/transportePublico.pdf>

Bandeira, R. A., D'Agosto, M. A., Ribeiro, S. K., Bandeira, A. P., & Goes, G. V. (2018). A fuzzy multi-criteria model for evaluating sustainable urban freight transportation operations. *Journal of cleaner production*, 184, 727-739.

Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport policy*, 15(2), 73-80.

Benekohal, R. F. (1991). A procedure for validation of microscopic traffic flow simulation models. In *Freeway operations, highway capacity, and traffic flow* (pp. 190-202). Transportation Research Board.

Betanzo-Quezada, E. (2011). Una aproximación metodológica al estudio integrado del transporte urbano de carga: el caso de la Zona Metropolitana de Querétaro en México. *EURE (Santiago)*, 37(112), 63-87.

Betanzo-Quezada, E., Romero-Navarrete, J. A., & Obregón-Biosca, S. (2013). Un referencial para evaluar la gestión pública en transporte urbano de carga. *Gestión y política pública*, 22(2), 313-354.

Bohorquez, M., Martinez, D., Moreno, Y., Villamizar, N., & Sanchez, K. (2016). Principales causas del congestionamiento vehicular en algunos sectores del perímetro urbano de la ciudad Cúcuta. *Editorial Contenido*.

Browne, Michael, et al. "Reducing social and environmental impacts of urban freight transport: A review of some major cities." *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 39 (2012): 19-33. Cal, R., & Cárdenas, J. (2018). *Ingeniería de tránsito: fundamentos y aplicaciones*. Alpha Editorial.

Cano-Torres, A. E., & Rodríguez-Durán, S. (2018). Influencia de los vehículos de carga pesada en la congestión vial de la ciudad de Bogotá DC, Colombia.

Cascetta, E. (2009). *Transportation systems analysis: models and applications* (Vol. 29). Springer Science & Business Media.

Cascetta, E. (2013). *Transportation systems engineering: theory and methods* (Vol. 49). Springer Science & Business Media.

Castaño, L. A. S., & Andrea, L. (2007). *Análisis y evaluación operacional de intersecciones urbanas mediante microsimulación* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).

Comi, A., Delle Site, P., Filippi, F. y Nuzzolo, A. (2012). *Modelización de la demanda del transporte urbano de mercancías: un estado del arte*.

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

- Congreso del Estado de Baja California. (2020) Ley de Movilidad Sustentable y Transporte del Estado de Baja California. Periódico Oficial No. 17, Sección II, Tomo CXXVII
https://www.congresobc.gob.mx/Documentos/ProcesoParlamentario/Leyes/TOMO_VII/20200327_LEYMOVILIDAD.PDF
- COPLADE BC (2020). Plan Estatal de Desarrollo de Baja California 2020-2024.
https://www.bajacalifornia.gob.mx/Documentos/coplade/planeacion/programas/Plan_Estatal_de_Development_de_Baja_California_2020-2024.pdf
- COPLADE Mexicali (2022). Plan Municipal de Desarrollo 2022-2024.
<https://www.mexicali.gob.mx/transparencia/administracion/2022/PMD-MXL.pdf>
- Cuevas, A., Giesen, R., & Muñoz, J. C. (2013). Revisión crítica a políticas de logística urbana sustentable. *Estudios de Transporte*, 17(2).
- Cui, J., Dodson, J., & Hall, P. V. (2015). Planning for urban freight transport: An overview. *Transport Reviews*, 35(5), 583-598.
- Dablanc, L. (2007). Goods transport in large European cities: Difficult to organize, difficult to modernize. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(3), 280-285.
- Dablanc, L., Giuliano, G., Holliday, K., & O'Brien, T. (2013). Best practices in urban freight management: Lessons from an international survey. *Transportation Research Record*, 2379(1), 29-38.
- de Dios Ortúzar, J., & Willumsen, L. G. (2011). *Modelling transport*. John Wiley & sons.
- de Mexicali, X. A. (2011). Plan maestro de vialidad y transporte de Mexicali. BC Diagnóstico, Mexicali.
- de Oliveira, L. K., Leite Nascimento, C. D. O., de Sousa, P. R., de Resende, P. T. V., & Ferreira da Silva, F. G. (2019). Transport service provider perception of barriers and urban freight policies in Brazil. *Sustainability*, 11(24), 6890.
- Docherty, I. (2004). Transport and regional economic competitiveness in the global economy. *Journal of Transport Geography*, 4(12), 341-342.
- Domínguez Sarabia, A. (2013). Modelización del comportamiento de los comerciantes ante nuevas políticas de reparto urbano de mercancías. [Tesis doctoral, Universidad de Cantabria de España].
<https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/3090>.
- dorf, M., & Vortisch, P. (2010). Microscopic traffic flow simulator VISSIM. In *Fundamentals of traffic simulation* (pp. 63-93). Springer, New York, NY.

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

Dowling, R., Skabardonis, A., & Alexiadis, V. (2004). Traffic analysis toolbox, volume III: Guidelines for applying traffic microsimulation modeling software (No. FHWA-HRT-04-040). United States. Federal Highway Administration. Office of Operations.

Ducret, R., & González-Feliu, J. (2016). Connecting demand estimation and spatial category models for urban freight: First attempt and research implications. *Transportation research procedia*, 12, 142-156.

E. Taniguchi, D. Tamagada "Evaluating city logistics measures considering the behavior of several stakeholders" *J. East. Asia Soc. Transport. Stud.*, 6 (2005), pp. 3062-3076

European Commission, 2011. White Paper: Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a Competitive and Resource Efficient Transport System, Brussels. C.

Fernández, R., & Dextre Quijandría, J. C. (2008). Elementos de la teoría del tráfico vehicular.

Fernández, R., & Dextre Quijandría, J. C. (2011). Elementos de la teoría del tráfico vehicular. Pontificia Universidad Católica del Perú. Fondo Editorial.

Gao, Jingqin, and Kaan Ozbay. "Modeling double parking impacts on urban street." *Transportation Research Board 95th Annual Meeting*. Vol. 12. 2016.

GBN, Grupo Banco Mundial. (2020, abril 20). Desarrollo Urbano. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/topic/urbandevelopment/overview#1>

Giuliano, Genevieve. Synthesis of freight research in urban transportation planning. Vol. 23. *Transportation Research Board*, 2013.

Gómez Osorio, V., & Rivas Giraldo, J. D. (2020). Planteamiento de una alternativa para la mejora del acceso vehicular al municipio de Rionegro en el sector la galería de la comuna 1 Liborio Mejía.

González Restrepo, M., & Sepúlveda Abalo, E. J. (2010). Aplicación de teoría de colas en los semáforos para mejorar la movilidad en la carrera 7 entre calles 15 y 20 de la ciudad de Pereira.

Hadavi, S., Verlinde, S., Verbeke, W., Macharis, C., & Guns, T. (2018). Monitoring urban-freight transport based on GPS trajectories of heavy-goods vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(10), 3747-3758.

Hernandez, S., Cruz, G., Alvarado, G., y Arroyo, J. (enero de 2022). Estimación del valor del tiempo de los ocupantes de los vehículos que circulan por la red carretera de México, 2022. Instituto Mexicano del Transporte, Publicación bimestral de divulgación externa. <https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=549&IdBoletin=196>

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

Holguín-Veras, J. (2016, November). Freight demand modeling: state of the art and practice. In adapting freight models and traditional freight data programs for performance measurement Workshop, Washington, DC Available: <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/conferences/2013/Freight/Holguin-Veras.pdf>. Accessed (Vol. 10).

I.M.I.P. (2022) "Programa Integral De Movilidad Urbana Sustentable Para La Ciudad De Mexicali." Mexicali: Gobierno de México.

Islas Rivera, V. M., Rivera Trujillo, C., & Torres Vargas, G. (2002). Estudio de la demanda de transporte. Publicación técnica, (213).

Jiménez Sanchez, J. E. (2019). Planeación Estratégica y Logística del Autotransporte de Carga. Publicación técnica, (565).

Kant, G., Quak, H., Peeters, R. y Woensel, TV (2016). Transporte urbano de carga: desafíos, fracasos y éxitos. En Logística e Innovación en la Cadena de Suministro (pp. 127-139). Springer, Cham.

Leonardi, J., Browne, M., Allen, J., Cherrett, T., & Cullinane, S. (2009). WM3: Data management and data collection techniques for sustainable distribution, data needs and data review for Green Logistics research.

Lindholm, M. E., & Blinge, M. (2014). Assessing knowledge and awareness of the sustainable urban freight transport among Swedish local authority policy planners. *Transport policy*, 32, 124-131.

Lindholm, M. E., & Blinge, M. (2014). Assessing knowledge and awareness of the sustainable urban freight transport among Swedish local authority policy planners. *Transport policy*, 32, 124-131.

Lindholm, M., & Behrends, S. (2012). Challenges in urban freight transport planning—a review in the Baltic Sea Region. *Journal of Transport Geography*, 22, 129-136.

Low, R., Tekler, Z. D., & Cheah, L. (2020). Predicting Commercial Vehicle Parking Duration using Generative Adversarial Multiple Imputation Networks. *Transportation Research Record*, 2674(9), 820-831.

Macharis The importance of stakeholder analysis in freight transport *Eur. Transp.* (2005), pp. 114-126

Macharis, C., & Kin, B. (2017). The 4 A's of sustainable city distribution: Innovative solutions and challenges ahead. *International Journal of Sustainable Transportation*, 11(2), 59-71.

Macharis, C., Melo, S., Woxenius, J., & Van Lier, T. (Eds.). (2014). Sustainable logistics. Emerald Group Publishing.

SCT. (2018). Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Manual de proyecto geométrico de carreteras 2018.

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

<https://comunicaciones.edomex.gob.mx/sites/comunicaciones.edomex.gob.mx/files/files/SCT%20-%20Manual%20Proyecto%20Geometrico%20Carreteras%202018.pdf>

Martínez Flores, S. F. (2019). Estudio técnico para el diseño de rutas y determinación de horarios para la circulación de transporte de carga pesada en el área urbana del cantón Duran (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).

McDonald, N., Yuan, Q. y Naumann, R. (2019). Mercancías urbanas y seguridad vial en la era del comercio electrónico. *Prevención de lesiones de tráfico*, 20 (7), 764-770.

McKinnon, A., Browne, M., Whiteing, A., & Piecyk, M. (Eds.). (2015). *Green logistics: Improving the environmental sustainability of logistics*. Kogan Page Publishers.

Mepparambath, R. M., Cheah, L., & Courcoubetis, C. (2021). A theoretical framework to evaluate the traffic impact of urban freight consolidation centres. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 145, 102134.

Meri, T. (2021) *Transportes de Carga Terrestres Carreteros, Nacionales o Internacionales en México*, Transportes. Available at: <https://transportesmeri.com/transportes-de-carga-terrestres-carreteros-nacionales-o-internacionales-en-mexico/> (Accessed: November 10, 2022).

Mihaiu, D. M., Opreana, A., & Cristescu, M. P. (2010). Efficiency, effectiveness and performance of the public sector. *Romanian journal of economic forecasting*, 4(1), 132-147.

Moreno Quintero, E., Rico Galeana, O., Bustos Rosales, A., Martner Peyrelongue, C., & Montoya Zamora, R. (2014). Reparto modal óptimo del transporte terrestre de carga en México: segunda etapa. *Publicación técnica*, (435).

Moreno, J. R., Ortiz, J. D. C., Gracia, J. R. S., Canelada, F. J., & Sanz, J. M. (2001, September). Modelo de cambio de carril para un simulador microscópico de tráfico urbano. In *IV Congreso de Ingeniería de Organización*.

Nerem, S. (2013). *Vehicle Weight in Gipps' Car-Following Model* (Master's thesis, Institutt for bygg, anlegg og transport).

Nuzzolo, A., Comi, A., & Polimeni, A. (2020). Urban Freight Vehicle Flows: An Analysis of Freight Delivery Patterns through Floating Car Data. *Transportation Research Procedia*, 47, 409-416.

Ojeda Toche, L., & Tovar Plata, L. (2016, June). El análisis espacial como una herramienta para el estudio del transporte de carga urbano. In *XII Congreso de ingeniería del transporte*. 7, 8 y 9 de Junio, Valencia (España) (pp. 710-723). Editorial Universitat Politècnica de València.

Oliveira, C., & D'agosto, M. (2017). *Reference Guide on Sustainability*. Instituto Brasileiro de Transporte Sustentável.

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

ONU, Organización de las Naciones Unidas. (2018, mayo 16). Las ciudades seguirán creciendo, sobre todo en los países en desarrollo. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html> [Último acceso 22 03 2020].

Paddeu, D., Parkhurst, G., Fancello, G., Fadda, P., & Ricci, M. (2018). Multi-stakeholder collaboration in urban freight consolidation schemes: Drivers and barriers to implementation. *Transport*, 33(4), 913-929.

Parrado Cardona, M. C. (2014). Análisis y Diseño de Metodologías para Reducir el Impacto de Vehículos de Distribución en la Movilidad de Bogotá.

Pérez, F., Bautista, A., Salazar, M., & Macias, A. (2014). Analysis of vehicular traffic flow using a macroscopic model. *Dyna*, 81(184), 36-40.

PTV VISSIM 10 User Manual. (2018). Germany: PTV Group.
<https://usermanual.wiki/Document/Vissim20102020Manual.1098038624.pdf>.

Quak, H. (2008). Sustainability of urban freight transport: Retail distribution and local regulations in cities (No. EPS-2008-124-LIS).

Quak, H. J. (2012). Improving urban freight transport sustainability by carriers—Best practices from The Netherlands and the EU project CityLog. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 39, 158-171.

Rai, H. B., Van Lier, T., Meers, D., & Macharis, C. (2017). Improving urban freight transport sustainability: Policy assessment framework and case study. *Research in Transportation Economics*, 64, 26-35.

Ramos Ferrer, C. (2017). Simulación de un modelo microscópico de seguimiento de vehículos.

Russo, F., & Comi, A. (2004, May). A state of the art on urban freight distribution at European scale. In *Proceedings of the European Conference on Mobility Management*.

Russo, F., & Comi, A. (2010). A classification of city logistics measures and connected impacts. *Procedia-Social and behavioral sciences*, 2(3), 6355-6365.

Russo, F., & Comi, A. (2011). Measures for sustainable freight transportation at urban scale: expected goals and tested results in Europe. *Journal of Urban Planning and Development*, 137(2), 142-152.

Russo, F., & Comi, A. (2016). Urban freight transport planning towards green goals: Synthetic environmental evidence from tested results. *Sustainability*, 8(4), 381.

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

Sahu, P. K., Pani, A., & Santos, G. (2022). Freight Traffic Impacts and Logistics Inefficiencies in India: Policy Interventions and Solution Concepts for Sustainable City Logistics. *Transportation in Developing Economies*, 8(2), 1-20.

Seco Emárcora, F. (2022). Análisis de Metodologías para la estimación de Tránsito Futuro en Carreteras (aplicado a la Provincia de Santa Fe).

Siddharth, S. P., & Ramadurai, G. (2013). Calibration of VISSIM for Indian heterogeneous traffic conditions. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 104, 380-389.

Starfield, T. (2005). Discussion: Deterministic or stochastic. Vermont, United States of America. Obtenido de [http://www. uvm. edu/~ tdonovan/modeling/module5/05_Deterministicstochastic_transcript. pdf](http://www.uvm.edu/~tdonovan/modeling/module5/05_Deterministicstochastic_transcript.pdf).

Stathopoulos, A., Valeri, E., & Marcucci, E. (2012). Stakeholder reactions to urban freight policy innovation. *Journal of Transport Geography*, 22, 34-45.

Suberviola, E. V. (2017). Ciudad y transporte: transformación urbanística e impacto ambiental. *Biblio3W Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*.

Suksri, J., Raicu, R., Yue, W.L., 2012. Towards sustainable urban freight distribution – a proposed evaluation framework. In: *Australasian Transport Research Forum 2012 Proceedings*.

Taefi, T. T., Kreutzfeldt, J., Held, T., & Fink, A. (2016). Supporting the adoption of electric vehicles in urban road freight transport—A multi-criteria analysis of policy measures in Germany. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 91, 61-79.

Tanco, M. y Escuder, M. (2021). Un análisis de múltiples perspectivas para una mejor comprensión de los desafíos y oportunidades del transporte urbano de carga en Montevideo. *Estudios de casos sobre política de transporte*, 9 (2), 405-417.

Taniguchi, E. (2001). City logistics. *Infrastructure Planning Review*, 18, 1-16.

Toilier, F., Serouge, M., Routhier, J. L., Patier, D., & Gardrat, M. (2016). How can urban goods movements be surveyed in a megacity? The case of the Paris region. *Transportation Research Procedia*, 12, 570-583.

Verlinde, S. (2015). Promising but challenging urban freight transport solutions: freight flow consolidation and off-hour deliveries (Doctoral dissertation, Ghent University).

Wolfram, M., & Consult, R. (2004). Expert working group on sustainable urban transport plans. Final Report, (Deliverable D4), Cologne, Germany: Rupprecht Consult. Dec, 17.

ANALISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

Wolpert, S., & Reuter, C. (2012). Status quo of city logistics in scientific literature: systematic review. *Transportation Research Record*, 2269(1), 110-116.

Zunder, T. H., & Nicolás, I. J. (2004). Urban freight logistics in the European Union. *European Transport\Trasporti Europei*.

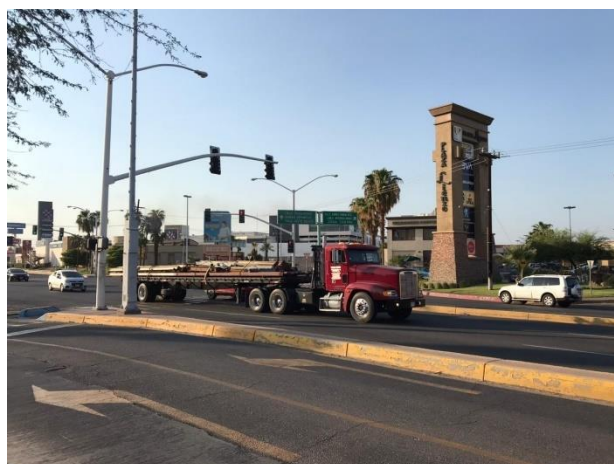
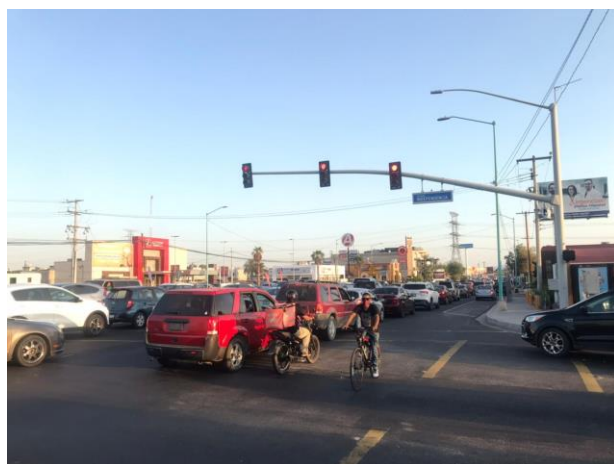
ANALISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

ANEXOS

1.1. Recorridos de campo



ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS



RESUMEN DE AFOROS																									
INTERSECCION:		CALZ. INDEPENDENCIA - CALZ. MANUEL GÓMEZ MORIN																							
DIA:		MARTES																							
FECHA:		23-nov-21																							
SENTIDO	Hora de aforo	Automóvil			Autobus			C2			C3			T3S2			T3S3			T3S2R4			TRACTOCAMION		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
S - N	01:00 01:15	126	216	65	0	2	0	1	4	2	0	1	2	0	3	10	0	0	1	0	0	0	0	1	0
E - O	01:15 01:30	109	168	47	0	0	0	1	3	0	2	1	0	5	0	0	4	0	0	0	0	0	4	0	0
N - S	01:30 01:45	86	173	57	0	3	1	2	4	0	0	6	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
O - E	01:45 02:00	70	223	60	0	0	0	0	5	1	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	TOTAL	391	780	229	0	5	1	4	16	3	2	8	3	5	12	10	4	0	1	0	0	0	4	4	2
	PROM.	98	195	57	0	1.3	0.3	1	4	0.8	0.5	2	0.8	1.3	3	2.5	1	0	0.3	0	0	0	1	1	0.5
SENTIDO	VEH. P/15MIN	VEH./HORA /SENTIDO	TOTAL DE VEH. POR INTERSECCION																						
S - N	434	1736	5936.00																						
E - O	344	1376																							
N - S	342	1368																							
O - E	364	1456																							

RESUMEN DE AFOROS												N-S			E-O										
INTERSECCION:		CALZ. INDEPENDENCIA - BLVR. VENUSTIANO CARRANZA																							
DIA:		MIERCOLES																							
FECHA:		24-nov-21										O-E			S-N										
SENTIDO	Hora de aforo	Automóvil			Autobus			C2			C3			T3S2			T3S3			T3S2R4			TRACTOCAMION		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
S - N	01:00																								
	01:15	100	102	65	0	1	0	1	3	1	0	0	3	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	2
E - O	01:15																								
	01:30	40	144	25	0	0	0	0	1	1	2	4	0	16	3	0	1	2	0	0	0	0	1	1	0
N - S	01:30																								
	01:45	31	138	42	0	2	0	1	3	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
O - E	01:45																								
	02:00	31	159	135	0	0	0	0	3	13	1	0	1	0	7	1	0	1	0	0	1	0	0	3	0
	TOTAL	202	543	267	0	3	0	2	10	15	3	5	4	16	11	13	1	3	0	0	1	1	1	4	2
	PROM.	51	136	67	0	0.8	0	0.5	2.5	3.8	0.8	1.3	1	4	2.8	3.3	0.3	0.8	0	0	0.3	0.3	0.3	1	0.5
SENTIDO		VEH. P/15MIN	VEH./HORA /SENTIDO	TOTAL DE VEH. POR INTERSECCION																					
S - N		290	1160	4428																					
E - O		241	964																						
N - S		220	880																						
O - F		356	1424																						

ANALISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

RESUMEN DE AFOROS																									N-S					
INTERSECCION:		CALZ. INDEPENDENCIA - C. NOVENA																												
DIA:		JUEVES																												
FECHA:		25-nov-21																						O-E			S-N			
SENTIDO	Hora de aforo	Automóvil			Autobus			C2			C3			T3S2			T3S3			T3S2R4			TRACTOCAMION							
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C					
N - S	01:00 01:15		268	75		0	1		5	6		0	1		3	2		0	1		0	0		0	1					
S - N	01:15 01:30	141	249		0	0		2	6		0	2		0	2		0	0		0	1		0	0						
O - E	01:30 01:45	78		50	0		0	5		5	2		0	3		0	1		0	2		0	1		0					
	TOTAL	219	517	125	0	0	1	7	11	11	2	2	1	3	5	2	1	0	1	2	1	0	1	0	1					
	PROM.	55	129	31	0	0	0.3	1.8	2.8	2.8	0.5	0.5	0.3	0.8	1.3	0.5	0.3	0	0.3	0.5	0.25	0	0.25	0	0.25					
SENTIDO	VEH. P/15MIN	VEH./HORA /SENTIDO	TOTAL DE VEH. POR INTERSECCION																											
N - S	363	1452	4565.00																											
S - N	403	1612																												
O - E	147	588																												

1.3. Clasificación de la demanda vehicular.

Tabla 15. Resumen de intersección (Independencia - Manuel Gómez Morín).

Vialidad 1	Vialidad 2	Dirección	Cant. de Veh. (1hr)	Cant. Total de Veh.	Clasificación Vehicular		
					Veh. Ligero	Autobús	Veh. Pesado
Manuel Gómez Morín	Independencia	Sur - Oeste	508	1736	99	0	1
Manuel Gómez Morín		Sur - Norte	908		95	0	5
Manuel Gómez Morín	Independencia	Sur - Este	320		80	0	20
Independencia	Manuel Gómez Morín	Este - Sur	500	1376	87	0	13
Independencia		Este - Oeste	688		98	0	2
Independencia	Manuel Gómez Morín	Este - Norte	188		100	0	0
Manuel Gómez Morín	Independencia	Norte - Este	352	1368	98	0	2
Manuel Gómez Morín		Norte - Sur	784		88	0	12
Manuel Gómez Morín	Independencia	Norte - Oeste	232		98	0	2
Independencia	Manuel Gómez Morín	Oeste - Norte	280	1456	100	0	0
Independencia		Oeste - Este	920		97	0	3
Independencia	Manuel Gómez Morín	Oeste - Sur	256		94	0	6

Fuente: Elaboración propia en Excel

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

Tabla 17. Resumen de intersección (Independencia - Venustiano Carranza).

Vialidad 1	Vialidad 2	Dirección	Cant. de Veh. (1hr)	Cant. Total de Veh.	Clasificación Vehicular		
					Veh. Ligero	Autobús	Veh. Pesado
Venustiano Carranza	Independencia	Sur - Oeste	404	1160	99	0	1
Venustiano Carranza		Sur - Norte	424		96	1	3
Venustiano Carranza	Independencia	Sur - Este	332		78	0	22
Independencia	Venustiano Carranza	Este - Sur	240	964	67	0	33
Independencia		Este - Oeste	620		93	0	7
Independencia	Venustiano Carranza	Este - Norte	104		96	0	4
Venustiano Carranza	Independencia	Norte - Este	128	880	97	0	3
Venustiano Carranza		Norte - Sur	580		95	1.5	3.5
Venustiano Carranza	Independencia	Norte - Oeste	172		98	0	2
Independencia	Venustiano Carranza	Oeste - Norte	128	1424	97	0	3
Independencia		Oeste - Este	696		91	0	9
Independencia	Venustiano Carranza	Oeste - Sur	600		90	0	10

Fuente: Elaboración propia en Excel.

Tabla 16. Resumen de intersección (Independencia - Novena).

Vialidad 1	Vialidad 2	Dirección	Cant. de Veh. (1hr)	Cant. Total de Veh.	Clasificación Vehicular (%)		
					Veh. Ligero	Autobús	Veh. Pesados
Novena	Independencia	Sur - Oeste	572	1612	99	0	1
Novena		Sur - Norte	1040		96	0	4
Independencia	Novena	Oeste - Norte	368	588	85	0	15
Independencia	Novena	Oeste - Sur	220		91	0	9
Novena		Norte - Sur	1104	1452	97	0	3
Novena	Independencia	Norte - Oeste	348		86	0	14

Fuente: Elaboración propia en Excel.

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

1.4. Configuración direccional de la demanda vehicular.*Tabla 18. Porcentaje de decisión de los vehículos presentes en la primera intersección.*

Vialidad 1	Vialidad 2	Dirección	Cant. Total de Veh.	Movimiento	Cant. de Veh. (1hr)	Porcentaje del Total (%)
Manuel Gómez Morín	Independencia	Sur - Oeste	1736	Izquierda	508	23
Manuel Gómez Morín		Sur - Norte		De Frente	908	40
Manuel Gómez Morín	Independencia	Sur - Este		Derecha	320	14
Independencia	Manuel Gómez Morín	Este - Sur	1376	Izquierda	500	28
Independencia		Este - Oeste		De Frente	688	38
Independencia	Manuel Gómez Morín	Este - Norte		Derecha	188	10
Manuel Gómez Morín	Independencia	Norte - Este	1368	Izquierda	352	20
Manuel Gómez Morín		Norte - Sur		De Frente	784	43
Manuel Gómez Morín	Independencia	Norte - Oeste		Derecha	232	13
Independencia	Manuel Gómez Morín	Oeste - Norte	1456	Izquierda	280	15
Independencia		Oeste - Este		De Frente	920	48
Independencia	Manuel Gómez Morín	Oeste - Sur		Derecha	256	13

Fuente: Elaboración propia en Excel.

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

Tabla 19. Porcentaje de decisión de los vehículos presentes en la segunda intersección.

Vialidad 1	Vialidad 2	Dirección	Cant. Total de Veh.	Dirección	Cant. de Veh. (1hr)	Porcentaje del Total (%)
Venustiano Carranza	Independencia	Sur - Oeste	1160	Izquierda	404	35
Venustiano Carranza		Sur - Norte		De Frente	424	37
Venustiano Carranza	Independencia	Sur - Este		Derecha	332	28
Independencia	Venustiano Carranza	Este - Sur	964	Izquierda	240	25
Independencia		Este - Oeste		De Frente	620	64
Independencia	Venustiano Carranza	Este - Norte		Derecha	104	11
Venustiano Carranza	Independencia	Norte - Este	880	Izquierda	128	15
Venustiano Carranza		Norte - Sur		De Frente	580	66
Venustiano Carranza	Independencia	Norte - Oeste		Derecha	172	19
Independencia	Venustiano Carranza	Oeste - Norte	1424	Izquierda	128	9
Independencia		Oeste - Este		De Frente	696	49
Independencia	Venustiano Carranza	Oeste - Sur		Derecha	600	42

Fuente: Elaboración propia en Excel.

Tabla 20. Porcentaje de decisión de los vehículos presentes en la tercera intersección.

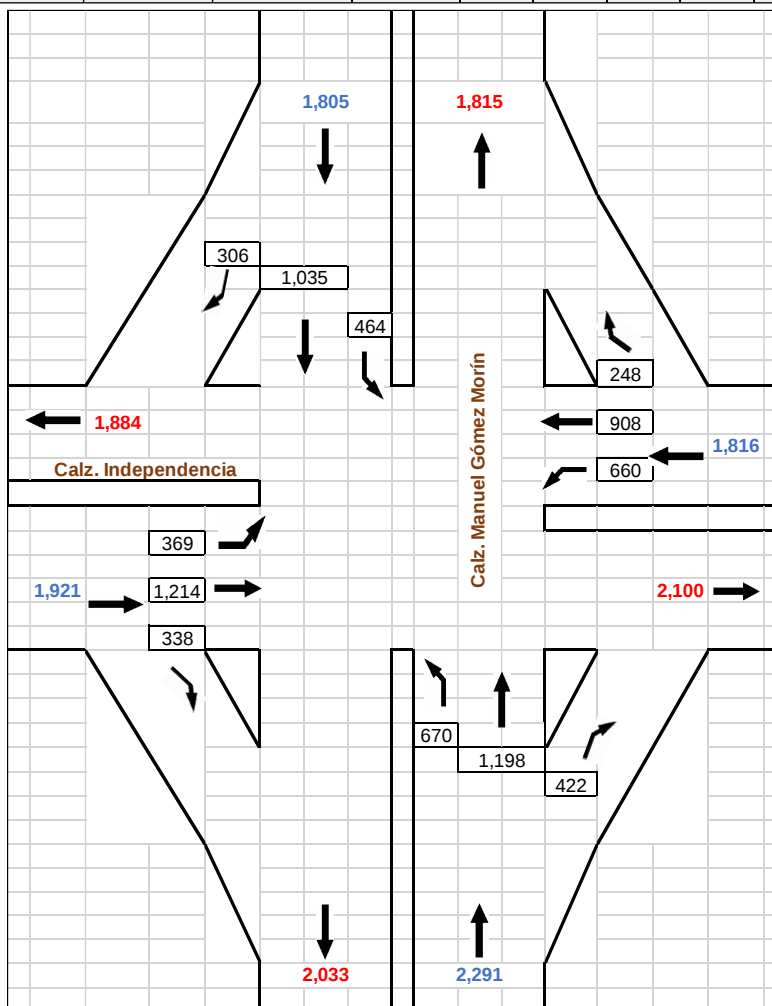
Vialidad 1	Vialidad 2	Dirección	Cant. Total de Veh.	Dirección	Cant. de Veh. (1hr)	Porcentaje del Total (%)
Novena	Independencia	Sur - Oeste	1612	Izquierda	572	35
Novena		Sur - Norte		De Frente	1040	65
Independencia	Novena	Oeste - Norte	588	Izquierda	368	63
Independencia	Novena	Oeste - Sur		Derecha	220	37
Novena		Norte - Sur	1452	De Frente	1104	76
Novena	Independencia	Norte - Oeste		Derecha	348	24

Fuente: Elaboración propia en Excel.

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

Tabla 21. Resumen de la composición vehicular presente en la primera intersección.

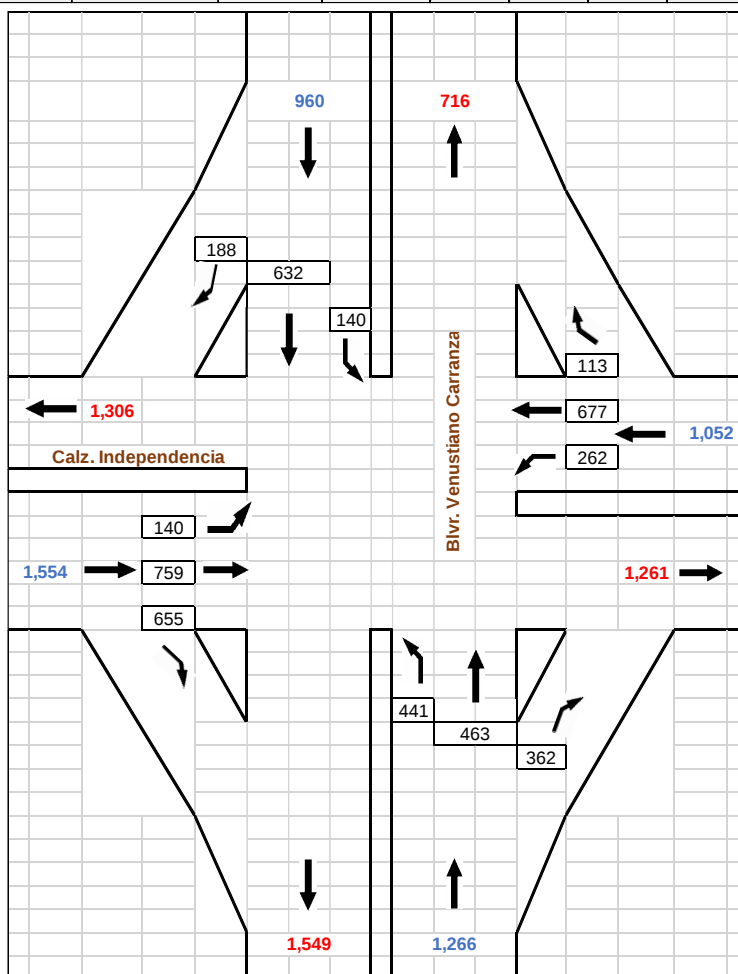
Vialidad 1	Vialidad 2	Dirección	Cant. de Veh. (1hr)	Cant. Total de Veh.	CLASIFICACIÓN VEHICULAR (%)						
					A	B	C	T	T-S	T-S-R	TOTAL
Manuel Gómez Morín	Independencia	Sur - Oeste	671	2291	99.2	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	100.0
Manuel Gómez Morín		Sur - Norte	1198		95.2	0.9	2.2	0.4	1.3	0.0	100.0
Manuel Gómez Morín	Independencia	Sur - Este	422		81.3	0.0	5.0	13.8	0.0	0.0	100.0
Independencia	Manuel Gómez Morín	Este - Sur	660	1816	87.2	0.0	2.4	7.2	0.0	3.2	100.0
Independencia		Este - Oeste	908		97.7	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	100.0
Independencia	Manuel Gómez Morín	Este - Norte	248		100	0	0	0	0	0	100.0
Manuel Gómez Morín	Independencia	Norte - Este	464	1805	97.7	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	100.0
Manuel Gómez Morín		Norte - Sur	1035		88.3	1.5	5.1	3.6	0.0	1.5	100.0
Manuel Gómez Morín	Independencia	Norte - Oeste	306		98.3	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
Independencia	Manuel Gómez Morín	Oeste - Norte	369	1921	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
Independencia		Oeste - Este	1214		97.0	0.0	2.2	0.9	0.0	0.0	100.0
Independencia	Manuel Gómez Morín	Oeste - Sur	338		93.8	0.0	3.1	0.0	0.0	3.1	100.0



ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

Tabla 22. Resumen de la composición vehicular presente en la segunda intersección.

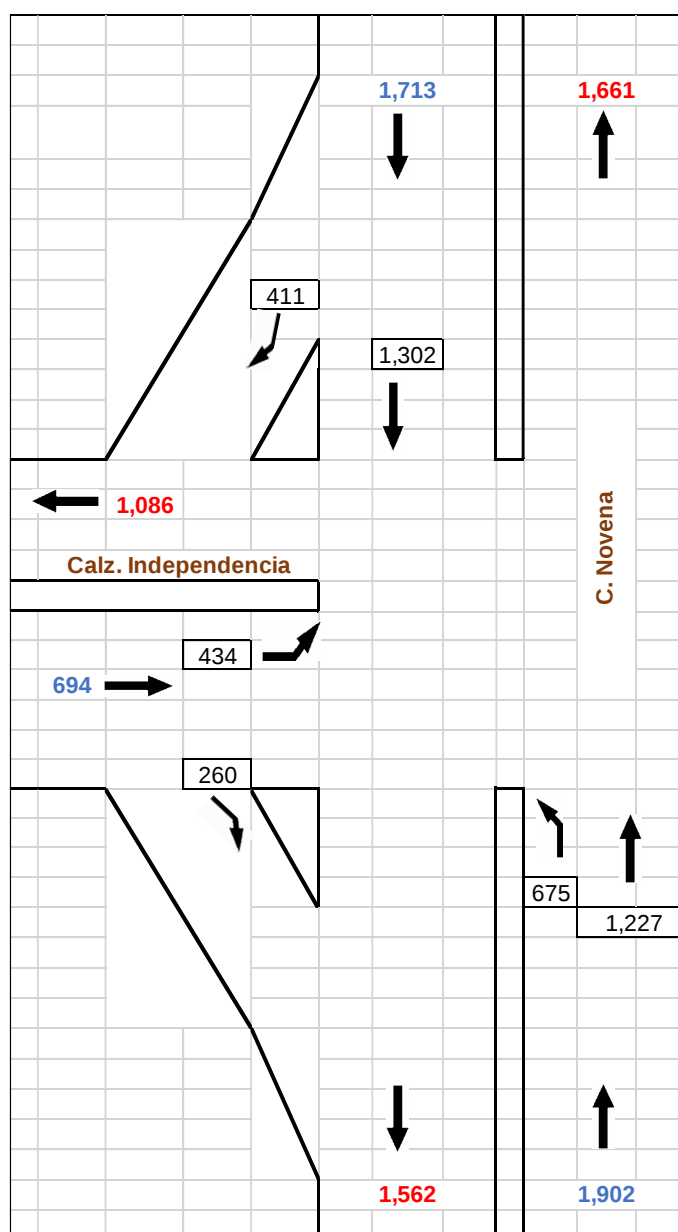
Vialidad 1	Vialidad 2	Dirección	Cant. de Veh. (1hr)	Cant. Total de Veh.	CLASIFICACIÓN VEHICULAR (%)						
					A	b	C	T	T-S	T-S-R	TOTAL
Venustiano Carranza	Independencia	Sur - Oeste	441	1266	99.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	100.0
Venustiano Carranza		Sur - Norte	463		96.2	0.9	2.8	0.0	0.0	0.0	100.0
Venustiano Carranza	Independencia	Sur - Este	362		78.3	0.0	4.8	2.4	14.5	0.0	100.0
Independencia	Venustiano Carranza	Este - Sur	262	1052	66.7	0.0	3.3	1.7	28.3	0.0	100.0
Independencia		Este - Oeste	677		92.9	0.0	3.2	0.6	3.2	0.0	100.0
Independencia	Venustiano Carranza	Este - Norte	113		96.2	0.0	3.9	0.0	0.0	0.0	100.0
Venustiano Carranza	Independencia	Norte - Este	140	960	96.9	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	100.0
Venustiano Carranza		Norte - Sur	632		95.2	1.4	2.8	0.0	0.7	0.0	100.0
Venustiano Carranza	Independencia	Norte - Oeste	188		97.7	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	100.0
Independencia	Venustiano Carranza	Oeste - Norte	140	1554	96.9	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	100.0
Independencia		Oeste - Este	759		91.4	0.0	1.7	1.7	4.6	0.6	100.0
Independencia	Venustiano Carranza	Oeste - Sur	655		90.0	0.0	9.3	0.0	0.7	0.0	100.0



ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

Tabla 23. Resumen de la composición vehicular presente en la tercera intersección.

Vialidad 1	Vialidad 2	Dirección	Cant. de Veh. (1hr)	Cant. Total de Veh.	CLASIFICACIÓN VEHICULAR (%)						
					A	b	C	T	T-S	T-S-R	TOTAL
Novena	Independencia	Sur - Oeste	675	1902	98.6	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	100
Novena		Sur - Norte	1227		95.8	0.0	3.1	0.0	0.8	0.4	100
Independencia	Novena	Oeste - Norte	434	694	84.8	0.0	7.6	1.1	4.4	2.2	100
Independencia	Novena	Oeste - Sur	260		90.9	0.0	9.1	0.0	0.0	0.0	100
Novena		Norte - Sur	1302	1713	97.1	0.0	1.8	0.0	1.1	0.0	100
Novena	Independencia	Norte - Oeste	411		86.2	1.2	8.1	1.2	3.5	0.0	100



ANALISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

Tabla 24. Concentrado de aforo vehicular por semana en la primera intersección.

CRUCERO		CALZADA INDEPENDENCIA Y BLVR. MANUEL GOMEZ MORIN																		TOTAL DE VEH. POR DIA	
DIA DE LA SEMANA	TIPO DE VEHICULO	AFOROS POR HORA																		CANT.	%
		06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00			
LUNES	A	3,364	4,742	4,920	4,430	4,485	4,453	3,374	5,781	5,711	6,089	5,916	6,470	6,527	6,187	5,892	4,953	4,375	87,668	87.76	
	B	14	15	17	18	23	19	14	30	35	39	35	31	47	33	23	15	6	412	0.41	
	C	58	88	131	126	139	133	88	142	161	159	149	144	118	130	121	102	82	2,071	2.07	
	T3	18	27	38	37	43	40	29	49	59	59	58	57	57	52	46	36	24	729	0.73	
	T3-S2	114	238	241	245	330	295	327	561	746	760	902	873	1,079	838	682	518	227	8,974	8.98	
	T3-S2-R4	0	0	1	1	1	1	1	2	4	4	3	4	5	3	3	2	1	35	0.04	
TOTAL Veh/h =		3,568	5,110	5,348	4,857	5,021	4,941	3,833	6,565	6,714	7,109	7,062	7,579	7,833	7,242	6,766	5,626	4,715	99,890	100.00	
% de Veh/h =		3.57	5.12	5.35	4.86	5.03	4.95	3.84	6.57	6.72	7.12	7.07	7.59	7.84	7.25	6.77	5.63	4.72	100.00		
MARTES	A	3,979	4,541	5,006	3,821	4,746	4,606	5,469	5,592	5,457	5,576	6,181	6,660	6,535	6,039	5,605	4,598	4,088	88,560	92.37	
	B	23	21	23	14	21	20	27	24	28	30	34	36	31	24	17	13	4	388	0.41	
	C	84	108	122	132	124	137	141	141	148	146	162	143	138	126	114	90	68	2,124	2.22	
	T3	30	39	43	40	39	41	42	40	44	44	48	46	45	39	35	26	17	658	0.69	
	T3-S2	334	561	493	348	291	312	202	128	202	167	160	238	220	174	178	78	25	4,111	4.29	
	T3-S2-R4	1	2	2	1	1	1	2	1	2	2	2	3	3	2	3	1	0	29	0.03	
TOTAL Veh/h =		4,451	5,271	5,689	4,357	5,222	5,118	5,883	5,926	5,881	5,965	6,587	7,127	6,972	6,463	5,951	4,806	4,202	95,870	100.00	
% de Veh/h =		4.64	5.50	5.93	4.54	5.45	5.34	6.14	6.18	6.13	6.22	6.87	7.43	7.27	6.74	6.21	5.01	4.38	100.00		
MIÉRCOLES	A	3,190	5,018	5,443	4,742	4,750	5,010	5,498	5,486	5,929	5,968	6,531	6,706	6,376	6,039	5,818	4,791	3,940	91,233	89.82	
	B	14	18	15	17	17	28	28	31	31	23	23	32	32	16	14	10	4	353	0.35	
	C	58	107	129	135	144	136	156	150	31	153	151	135	125	118	102	91	63	1,984	1.95	
	T3	18	34	39	41	43	45	51	51	23	49	50	50	47	39	35	30	19	664	0.65	
	T3-S2	110	277	344	398	351	419	515	614	536	479	540	607	593	504	458	422	146	7,313	7.20	
	T3-S2-R4	0	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	3	3	1	2	1	1	26	0.03	
TOTAL Veh/h =		3,390	5,456	5,972	5,333	5,305	5,640	6,250	6,333	6,551	6,674	7,297	7,532	7,174	6,719	6,429	5,346	4,173	101,573	100.00	
% de Veh/h =		3.34	5.37	5.88	5.25	5.22	5.55	6.15	6.23	6.45	6.57	7.18	7.42	7.06	6.61	6.33	5.26	4.11	100.00		
JUEVES	A	3,145	4,873	5,396	4,565	4,695	4,867	5,543	5,730	5,769	5,724	6,132	6,433	6,382	5,849	5,560	5,228	4,061	89,948	89.12	
	B	14	20	19	14	18	19	22	25	26	26	27	35	35	17	23	11	6	358	0.35	
	C	53	102	130	138	142	138	150	150	153	140	155	133	135	119	118	85	79	2,120	2.10	
	T3	17	32	40	41	43	42	47	48	50	47	54	52	52	42	43	30	24	704	0.70	
	T3-S2	114	270	341	376	348	320	433	511	540	525	699	760	714	618	579	451	181	7,778	7.71	
	T3-S2-R4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	2	3	1	1	26	0.03	
TOTAL Veh/h =		3,343	5,298	5,927	5,136	5,246	5,387	6,196	6,465	6,539	6,464	7,069	7,416	7,321	6,646	6,324	5,805	4,352	100,934	100.00	
% de Veh/h =		3.31	5.25	5.87	5.09	5.20	5.34	6.14	6.41	6.48	6.40	7.00	7.35	7.25	6.58	6.27	5.75	4.31	100.00		
VIERNES	A	3,276	4,688	5,182	4,904	4,522	4,881	5,638	5,650	5,832	5,672	5,900	6,027	5,925	5,982	6,021	5,553	4,586	90,239	88.50	
	B	12	18	22	15	21	23	24	26	23	29	36	42	36	29	19	11	11	396	0.39	
	C	58	93	136	130	153	146	152	147	135	157	155	133	119	131	127	99	86	2,156	2.11	
	T3	18	29	41	38	45	44	50	49	48	57	59	56	52	47	43	34	28	738	0.72	
	T3-S2	92	252	291	312	320	277	561	554	685	788	777	813	809	618	483	437	327	8,396	8.23	
	T3-S2-R4	1	1	1	1	0	1	2	2	2	3	5	4	5	1	2	2	1	35	0.03	
TOTAL Veh/h =		3,456	5,081	5,675	5,400	5,061	5,371	6,427	6,428	6,725	6,707	6,932	7,076	6,947	6,807	6,694	6,135	5,037	101,960	100.00	
% de Veh/h =		3.39	4.98	5.57	5.30	4.96	5.27	6.30	6.30	6.60	6.58	6.80	6.94	6.81	6.68	6.57	6.02	4.94	100.00		

ANALISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

Tabla 25. Concentrado de aforo vehicular por semana en la segunda intersección.

CRUCERO		CALZADA INDEPENDENCIA Y BLVR. VENUSTIANO CARRANZA																		TOTAL DE VEH. POR DIA	
DIA DE LA SEMANA	TIPO DE VEHICULO	AFOROS POR HORA																		CANT.	%
		06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00			
LUNES	A	2,714	3,527	3,393	3,775	3,624	3,278	2,490	4,266	4,214	4,157	4,013	4,010	3,940	3,928	3,949	3,446	3,696	62,421	90.80	
	B	9	12	11	13	10	8	6	11	13	15	19	16	18	12	17	13	7	210	0.31	
	C	84	106	152	137	153	133	92	148	146	139	151	149	136	163	160	155	141	2,351	3.42	
	T3	15	19	26	24	27	22	16	27	32	73	33	32	32	31	32	29	22	493	0.72	
	T3-S2	72	122	107	123	139	101	94	161	214	249	331	285	313	249	238	199	95	3,090	4.49	
	T3-S2-R4	2	2	10	9	7	7	5	15	24	19	11	14	13	8	18	8	6	178	0.26	
TOTAL Veh/h =		2,897	3,787	3,699	4,081	3,965	3,549	2,702	4,629	4,644	4,652	4,558	4,506	4,452	4,391	4,414	3,850	3,967	68,742	100.00	
% de Veh/h =		4.21	5.51	5.38	5.94	5.77	5.16	3.93	6.73	6.76	6.77	6.63	6.56	6.48	6.39	6.42	5.60	5.77	100.00		
MARTES	A	3,210	3,377	3,452	3,257	3,834	3,391	4,036	4,127	4,027	3,807	4,193	4,128	3,945	3,872	3,757	3,199	3,454	63,066	92.79	
	B	15	17	16	10	9	8	10	9	11	12	18	19	12	9	12	12	5	203	0.30	
	C	122	130	142	144	142	136	147	147	134	139	165	148	159	157	150	137	116	2,416	3.55	
	T3	25	28	29	26	24	23	23	22	24	54	28	26	25	23	25	20	16	441	0.65	
	T3-S2	212	287	218	174	122	107	58	37	58	55	59	78	64	52	62	30	10	1,682	2.47	
	T3-S2-R4	10	9	24	7	7	7	11	6	11	8	8	8	9	7	18	4	3	158	0.23	
TOTAL Veh/h =		3,593	3,848	3,880	3,618	4,139	3,673	4,286	4,348	4,266	4,075	4,469	4,407	4,214	4,120	4,024	3,402	3,604	67,966	100.00	
% de Veh/h =		5.29	5.66	5.71	5.32	6.09	5.40	6.31	6.40	6.28	6.00	6.57	6.48	6.20	6.06	5.92	5.01	5.30	100.00		
MIÉRCOLES	A	2,573	3,732	3,753	4,041	3,838	3,689	4,057	4,048	4,375	4,075	4,430	4,156	3,849	3,835	3,900	3,333	3,329	65,012	91.91	
	B	9	14	10	13	7	12	11	12	12	9	12	17	12	6	10	9	5	180	0.25	
	C	84	130	150	146	164	136	163	156	134	138	153	140	144	148	135	138	108	2,367	3.35	
	T3	15	24	27	27	27	25	28	28	13	60	28	28	26	24	25	24	17	446	0.63	
	T3-S2	70	142	152	199	148	143	148	176	154	157	198	198	172	150	160	162	61	2,589	3.66	
	T3-S2-R4	2	7	14	6	6	8	10	8	11	10	10	10	7	4	12	5	8	137	0.19	
TOTAL Veh/h =		2,753	4,048	4,107	4,432	4,189	4,013	4,417	4,428	4,698	4,449	4,832	4,548	4,210	4,166	4,242	3,672	3,528	70,731	100.00	
% de Veh/h =		3.89	5.72	5.81	6.27	5.92	5.67	6.24	6.26	6.64	6.29	6.83	6.43	5.95	5.89	6.00	5.19	4.99	100.00		
JUEVES	A	2,537	3,624	3,720	3,891	3,793	3,583	4,090	4,228	4,257	3,908	4,159	3,987	3,852	3,713	3,726	3,637	3,431	64,138	91.53	
	B	9	16	13	10	8	8	8	10	10	10	14	18	13	7	17	9	7	189	0.27	
	C	77	123	150	151	163	138	156	157	132	126	157	137	156	149	155	130	136	2,393	3.41	
	T3	14	23	27	27	27	23	26	26	27	58	31	29	29	25	31	24	22	469	0.67	
	T3-S2	72	138	151	188	146	109	124	146	155	173	257	248	207	183	202	173	75	2,748	3.92	
	T3-S2-R4	4	5	11	6	5	8	10	7	8	9	9	10	8	6	16	5	9	134	0.19	
TOTAL Veh/h =		2,714	3,929	4,073	4,273	4,141	3,870	4,415	4,574	4,589	4,283	4,628	4,430	4,266	4,083	4,147	3,978	3,681	70,071	100.00	
% de Veh/h =		3.87	5.61	5.81	6.10	5.91	5.52	6.30	6.53	6.55	6.11	6.60	6.32	6.09	5.83	5.92	5.68	5.25	100.00		
VIERNES	A	2,642	3,487	3,573	4,179	3,654	3,594	4,160	4,169	4,304	3,873	4,002	3,735	3,576	3,798	4,036	3,864	3,875	64,522	91.18	
	B	8	14	15	11	9	10	9	10	9	11	19	22	14	11	14	10	13	208	0.29	
	C	84	112	158	141	175	145	159	153	116	141	158	138	137	164	167	150	147	2,447	3.46	
	T3	15	21	28	25	28	24	28	27	26	70	34	31	29	28	30	27	25	497	0.70	
	T3-S2	59	129	129	156	134	95	161	159	196	259	286	265	235	183	169	168	136	2,917	4.12	
	T3-S2-R4	5	3	13	5	2	7	14	13	14	17	19	15	14	4	15	9	5	173	0.24	
TOTAL Veh/h =		2,813	3,766	3,916	4,518	4,003	3,874	4,530	4,531	4,665	4,371	4,517	4,207	4,006	4,189	4,431	4,227	4,201	70,764	100.00	
% de Veh/h =		3.97	5.32	5.53	6.38	5.66	5.48	6.40	6.40	6.59	6.18	6.38	5.94	5.66	5.92	6.26	5.97	5.94	100.00		

ANALISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

Tabla 26. Concentrado de aforo vehicular por semana en la tercera intersección.

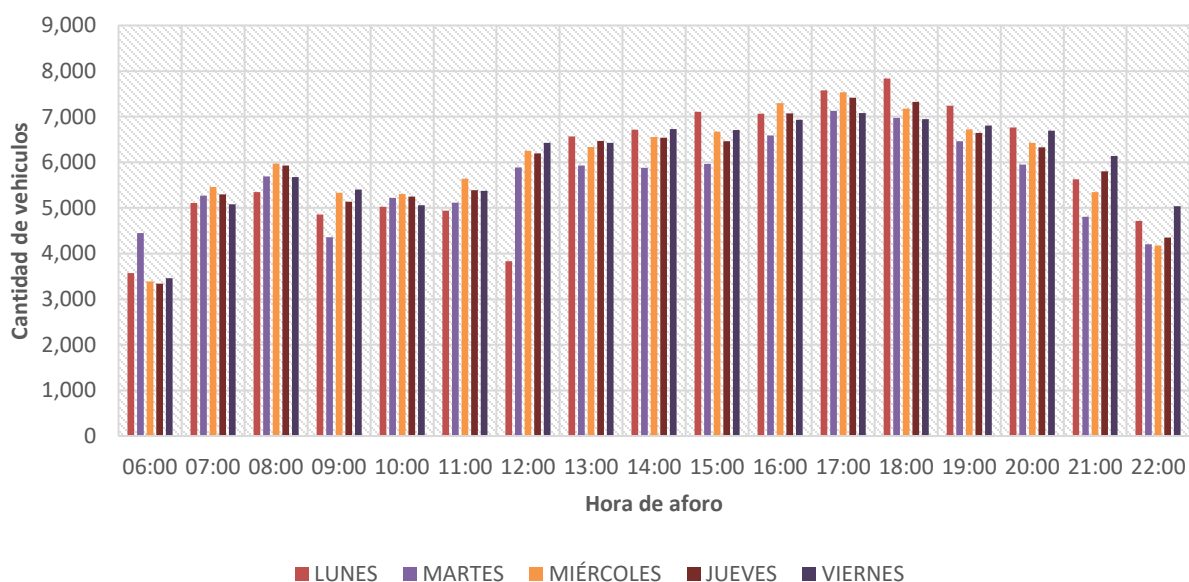
CRUCERO		CALZ. INDEPENDENCIA Y C. NOVENA																		TOTAL DE VEH. POR DIA	
DIA DE LA SEMANA	TIPO DE VEHICULO	AFOROS POR HORA																		CANT.	%
		06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00			
LUNES	A	2,378	3,027	3,712	3,250	3,174	2,766	2,028	3,475	3,433	3,635	3,560	3,634	3,494	3,339	3,469	3,068	2,882	54,324	94.15	
	B	3	3	5	4	5	3	2	5	6	6	5	5	5	4	5	3	2	70	0.12	
	C	78	92	129	120	137	121	80	129	145	141	144	127	121	131	139	117	132	2,082	3.61	
	T3	4	5	7	7	8	7	5	8	10	10	10	8	9	8	9	7	7	128	0.22	
	T3-S2	20	34	31	34	50	33	31	53	70	68	82	60	68	56	53	43	24	808	1.40	
	T3-S2-R4	5	3	14	18	10	10	9	28	44	37	19	23	19	11	19	10	8	286	0.50	
TOTAL Veh/h =		2,488	3,164	3,897	3,433	3,384	2,941	2,155	3,697	3,708	3,896	3,821	3,856	3,717	3,549	3,694	3,247	3,054	57,700	100.00	
% de Veh/h =		4.31	5.48	6.75	5.95	5.86	5.10	3.73	6.41	6.43	6.75	6.62	6.68	6.44	6.15	6.40	5.63	5.29	100.00		
MARTES	A	2,812	2,898	3,776	2,803	3,358	2,862	3,288	3,361	3,280	3,329	3,719	3,741	3,499	3,291	3,300	2,848	2,693	54,861	94.75	
	B	5	4	6	3	4	4	4	4	5	5	5	5	3	3	4	2	2	68	0.12	
	C	112	113	120	127	122	124	128	128	134	130	157	126	142	126	130	104	108	2,131	3.68	
	T3	7	8	8	7	7	7	7	7	7	7	8	7	7	6	7	5	5	118	0.20	
	T3-S2	59	79	63	48	44	35	19	12	19	15	15	16	14	12	14	6	3	472	0.82	
	T3-S2-R4	20	18	33	15	11	10	20	11	21	17	13	13	13	10	19	5	3	252	0.44	
TOTAL Veh/h =		3,016	3,121	4,007	3,004	3,547	3,042	3,466	3,523	3,466	3,502	3,917	3,909	3,678	3,448	3,474	2,970	2,813	57,902	100.00	
% de Veh/h =		5.21	5.39	6.92	5.19	6.13	5.25	5.99	6.08	5.99	6.05	6.77	6.75	6.35	5.95	6.00	5.13	4.86	100.00		
MIÉRCOLES	A	2,254	3,203	4,106	3,479	3,361	3,113	3,305	3,297	3,564	3,563	3,930	3,766	3,413	3,259	3,426	2,968	2,596	56,603	94.83	
	B	3	4	4	4	3	5	4	5	5	4	4	5	4	2	3	2	2	61	0.10	
	C	77	113	127	129	141	124	142	135	28	136	146	119	128	119	117	105	100	1,986	3.33	
	T3	4	7	8	8	8	8	8	8	4	8	8	7	7	6	7	6	5	117	0.20	
	T3-S2	20	39	44	55	53	46	48	58	50	43	49	42	37	34	36	35	15	704	1.18	
	T3-S2-R4	4	13	20	11	10	12	18	15	20	20	16	15	10	5	13	5	11	219	0.37	
TOTAL Veh/h =		2,363	3,378	4,309	3,685	3,576	3,309	3,526	3,518	3,671	3,773	4,154	3,955	3,600	3,425	3,601	3,120	2,729	59,691	100.00	
% de Veh/h =		3.96	5.66	7.22	6.17	5.99	5.54	5.91	5.89	6.15	6.32	6.96	6.62	6.03	5.74	6.03	5.23	4.57	100.00		
JUEVES	A	2,223	3,110	4,070	3,349	3,322	3,024	3,332	3,444	3,467	3,417	3,689	3,613	3,417	3,156	3,274	3,238	2,676	55,822	94.49	
	B	3	4	6	3	4	4	3	4	4	4	4	5	4	2	5	2	2	63	0.11	
	C	71	107	127	132	140	126	135	136	139	124	150	117	139	119	135	98	127	2,122	3.59	
	T3	4	6	8	8	8	7	8	8	8	8	9	8	8	6	8	6	6	125	0.21	
	T3-S2	20	38	43	52	52	35	41	48	51	47	64	52	45	42	45	37	19	732	1.24	
	T3-S2-R4	8	9	16	12	7	12	18	12	15	18	15	16	11	8	17	6	12	212	0.36	
TOTAL Veh/h =		2,329	3,275	4,270	3,556	3,533	3,208	3,537	3,652	3,684	3,617	3,932	3,811	3,624	3,333	3,484	3,387	2,842	59,076	100.00	
% de Veh/h =		3.94	5.54	7.23	6.02	5.98	5.43	5.99	6.18	6.24	6.12	6.66	6.45	6.13	5.64	5.90	5.73	4.81	100.00		
VIERNES	A	2,315	2,993	3,909	3,597	3,200	3,033	3,389	3,396	3,506	3,386	3,550	3,385	3,172	3,228	3,545	3,440	3,021	56,067	94.24	
	B	2	4	6	3	4	4	4	4	4	4	6	6	4	3	4	2	4	70	0.12	
	C	77	98	134	124	151	133	138	133	122	139	151	117	122	132	145	114	137	2,165	3.64	
	T3	4	6	8	7	9	7	8	8	8	9	10	8	8	7	8	6	7	131	0.22	
	T3-S2	16	36	37	43	48	31	53	52	64	70	71	56	51	42	38	36	35	778	1.31	
	T3-S2-R4	10	7	18	9	4	10	25	23	25	35	32	24	21	6	16	10	7	280	0.47	
TOTAL Veh/h =		2,426	3,142	4,112	3,785	3,416	3,218	3,616	3,616	3,729	3,644	3,819	3,596	3,379	3,418	3,756	3,608	3,211	59,490	100.00	
% de Veh/h =		4.08	5.28	6.91	6.36	5.74	5.41	6.08	6.08	6.27	6.12	6.42	6.05	5.68	5.74	6.31	6.07	5.40	100.00		

ANALISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

Tabla 27. Resumen de aforo vehicular por semana en la primera intersección.

INTERSECCION		CALZADA INDEPENDENCIA Y BLVR. MANUEL GOMEZ MORIN																		TOTAL DE VEHICULOS	
DIA \ HORA	AFOROS POR HORA																		CANT. POR DIA	PORCEN. POR DIA (%)	
	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00				
LUNES	3,568	5,110	5,348	4,857	5,021	4,941	3,833	6,565	6,714	7,109	7,062	7,579	7,833	7,242	6,766	5,626	4,715	99,890	19.97		
MARTES	4,451	5,271	5,689	4,357	5,222	5,118	5,883	5,926	5,881	5,965	6,587	7,127	6,972	6,463	5,951	4,806	4,202	95,870	19.17		
MIÉRCOLES	3,390	5,456	5,972	5,333	5,305	5,640	6,250	6,333	6,551	6,674	7,297	7,532	7,174	6,719	6,429	5,346	4,173	101,573	20.31		
JUEVES	3,343	5,298	5,927	5,136	5,246	5,387	6,196	6,465	6,539	6,464	7,069	7,416	7,321	6,646	6,324	5,805	4,352	100,934	20.18		
VIERNES	3,456	5,081	5,675	5,400	5,061	5,371	6,427	6,428	6,725	6,707	6,932	7,076	6,947	6,807	6,694	6,135	5,037	101,960	20.38		
TOTAL=																		500,227	100.00		

Aforos vehiculares (Independencia - Gómez Morín)

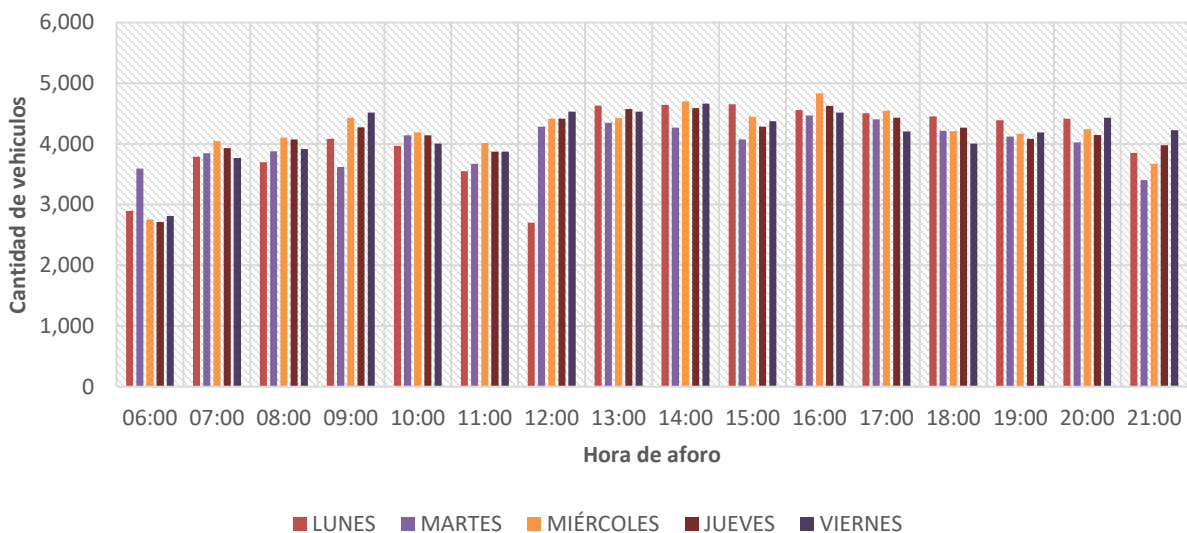


ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

Tabla 28. Resumen de aforo vehicular por semana en la segunda intersección.

INTERSECCION		CALZADA INDEPENDENCIA Y BLVR. VENUSTIANO CARRANZA																	TOTAL DE VEHICULOS	
DIA	HORA	AFOROS POR HORA																	CANT. POR DIA	PORCEN. POR DIA (%)
		06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00		
LUNES		2,897	3,787	3,699	4,081	3,965	3,549	2,702	4,629	4,644	4,652	4,558	4,506	4,452	4,391	4,414	3,850	3,967	68,742	19.74
MARTES		3,593	3,848	3,880	3,618	4,139	3,673	4,286	4,348	4,266	4,075	4,469	4,407	4,214	4,120	4,024	3,402	3,604	67,966	19.52
MIÉRCOLES		2,753	4,048	4,107	4,432	4,189	4,013	4,417	4,428	4,698	4,449	4,832	4,548	4,210	4,166	4,242	3,672	3,528	70,731	20.31
JUEVES		2,714	3,929	4,073	4,273	4,141	3,870	4,415	4,574	4,589	4,283	4,628	4,430	4,266	4,083	4,147	3,978	3,681	70,071	20.12
VIERNES		2,813	3,766	3,916	4,518	4,003	3,874	4,530	4,531	4,665	4,371	4,517	4,207	4,006	4,189	4,431	4,227	4,201	70,764	20.32
TOTAL=																			348,275	100.00

Aforos vehiculares (Independencia-Venustiano Carranza)

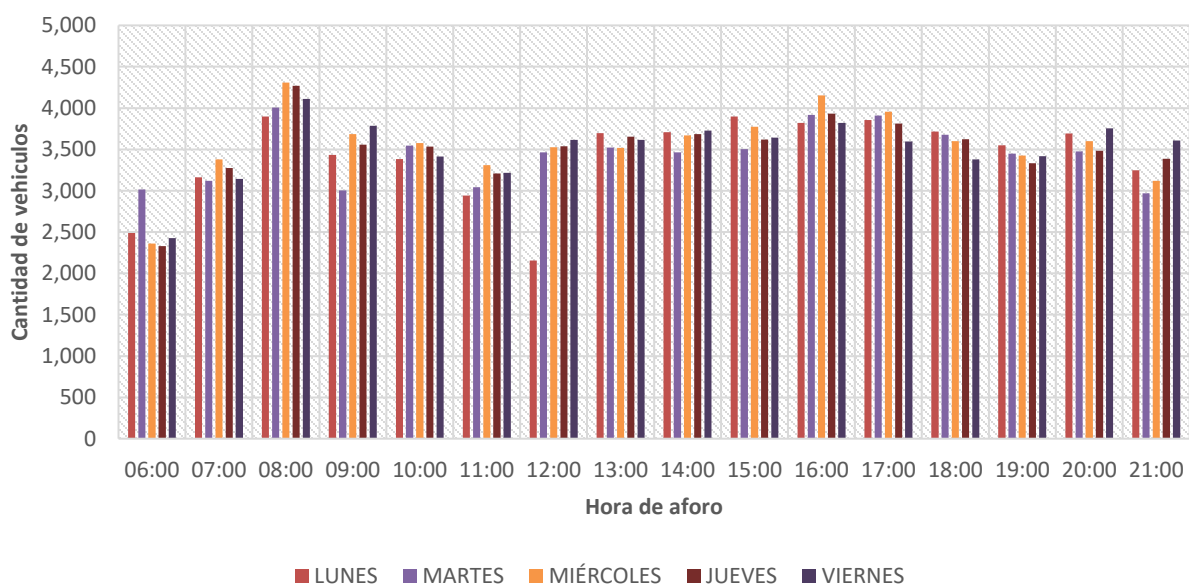


ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

Tabla 29. Resumen de aforo vehicular por semana en la tercera intersección.

INTERSECCION		CALZ. INDEPENDENCIA Y C. NOVENA																		TOTAL DE VEHICULOS	
DIA \ HORA	AFOROS POR HORA																		CANT. POR DIA	PORCEN. POR DIA (%)	
	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00				
LUNES	2,488	3,164	3,897	3,433	3,384	2,941	2,155	3,697	3,708	3,896	3,821	3,856	3,717	3,549	3,694	3,247	3,054	57,700	19.64		
MARTES	3,016	3,121	4,007	3,004	3,547	3,042	3,466	3,523	3,466	3,502	3,917	3,909	3,678	3,448	3,474	2,970	2,813	57,902	19.70		
MIÉRCOLES	2,363	3,378	4,309	3,685	3,576	3,309	3,526	3,518	3,671	3,773	4,154	3,955	3,600	3,425	3,601	3,120	2,729	59,691	20.31		
JUEVES	2,329	3,275	4,270	3,556	3,533	3,208	3,537	3,652	3,684	3,617	3,932	3,811	3,624	3,333	3,484	3,387	2,842	59,076	20.10		
VIERNES	2,426	3,142	4,112	3,785	3,416	3,218	3,616	3,616	3,729	3,644	3,819	3,596	3,379	3,418	3,756	3,608	3,211	59,490	20.24		
TOTAL=																		293,859	100.00		

Aforos vehiculares (Independencia - Novena)



ANALISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

Tabla 30. Resumen de aforo vehicular por semana en todo el segmento vial.

INTERSECCION		CALZADA INDEPENDENCIA (Gómez Morin - Novena)																TOTAL DE VEHICULOS		
HORA		AFOROS POR HORA																CANT. POR DIA	PORCEN. POR DIA (%)	
DIA \		06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00		
LUNES		8,953	12,060	12,944	12,370	12,369	11,430	8,690	14,891	15,066	15,658	15,441	15,942	16,002	15,182	14,873	12,724	11,737	226,332	19.81
MARTES		11,060	12,240	13,576	10,979	12,908	11,832	13,635	13,797	13,613	13,541	14,973	15,442	14,865	14,031	13,449	11,179	10,620	221,739	19.41
MIÉRCOLES		8,505	12,882	14,387	13,450	13,071	12,961	14,192	14,279	14,920	14,897	16,283	16,035	14,983	14,310	14,272	12,138	10,430	231,996	20.31
JUEVES		8,386	12,501	14,270	12,965	12,920	12,464	14,148	14,691	14,812	14,364	15,629	15,656	15,210	14,063	13,955	13,171	10,875	230,081	20.14
VIERNES		8,695	11,989	13,703	13,703	12,479	12,464	14,573	14,574	15,119	14,722	15,268	14,879	14,332	14,414	14,881	13,971	12,450	232,214	20.33
TOTAL=																		1,142,361	100.00	

Aforos vehiculares (Calz. Independencia de Gomez Morin - Novena)

