



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería

Planificación de sistemas de bahías para
maniobras carga/descarga en áreas urbanas
usando herramientas de microsimulación

Trabajo escrito

Que como parte de los requisitos para
obtener el grado de

Maestro en Ingeniería en Vías Terrestres y Movilidad

Presenta

Ing. Jorge de Jesús Ochoa Olán

Dirigido por:

Dr. Eduardo Betanzo Quezada



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Maestría en Ingeniería de Vías Terrestres y Movilidad

Planificación de sistemas de bahías para maniobras
carga/descarga en áreas urbanas usando herramientas de
microsimulación

Trabajo escrito

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestro en Ingeniería en Vías Terrestres y Movilidad

Presenta

Ing. Jorge de Jesus Ochoa Olán

Dirigido por:

Dr. Eduardo Betanzo Quezada

Dr. Eduardo Betanzo Quezada
Presidente

Dr. José Antonio Romero Navarrete
Secretario

Dr. Saúl Antonio Obregón Biosca
Vocal

Dra. María de la Luz Pérez Rea
Suplente

M.I. Marco Luis Dorado Pineda
Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.
Enero 2020
México

RESUMEN

Como respuesta natural a las tendencias mundiales del crecimiento de la población urbana, la proliferación de externalidades causadas por el sistema de transporte urbano de carga ha sido recientemente motivo de preocupación por el sector público. Una de las iniciativas ampliamente utilizadas para reducir la interferencia de los vehículos de carga de los flujos de tráfico es la asignación de bahías carga/descarga en el espacio público. Sin embargo, en la mayoría de los casos, estos son mal planificados y ocupados de manera ilegal por los vehículos privados. La ausencia de espacios de estacionamiento lo suficientemente cerca de los puntos de entrega provoca que los transportistas de carga realicen movimientos superfluos y operaciones de carga/descarga en carriles de circulación, contribuyendo temporalmente a la congestión de tráfico y, en consecuencia, impactando el desarrollo sostenible. Para mitigar las prácticas ilegales de estacionamiento de los vehículos de carga asociadas con una gestión deficiente de bahías, este documento propone una metodología de planificación para bahías para la carga/descarga en áreas urbanas congestionadas, la cual se compone de tres etapas principales: la estimación de la demanda de entrega de carga generada por el sector económico de comercio al por menor a un nivel de precisión de 6-Dígitos SCIAN; la estandarización de los procesos involucrados en la configuración espacial (número, localización, tamaño) de las bahías; y la evaluación *ex-ante* del sistema de bahías resultante mediante técnicas de micro-simulación. La eficacia de la metodología se verificó comparando el sistema de bahías resultante con un sistema pre-implementado en un corredor vial en el Centro de la Ciudad de Querétaro, México. Los resultados de la simulación revelaron que la mejora en la movilidad lograda mediante la planificación sistemática de espacios de estacionamiento de carga se ve ensombrecida por el estacionamiento ilegal de un solo vehículo de carga (estacionamiento en carril), evidenciando así la relevancia de las medidas de control –*enforcement*– y de la señalización vial tanto vertical como horizontal.

Palabras claves: Logística urbana; Transporte urbano de carga; Bahías carga/descarga; Modelación de la demanda de entrega de carga; Simulación de tráfico.

SUMMARY

As a natural response of global trends in urban population growth, the proliferation of externalities caused by the urban freight transport system has recently been a matter of concern for the public sector. One of the initiatives widely used to reduce the interference of freight vehicles from traffic flows is the allocation of loading/unloading bays on public space. However, in most cases, these are poorly planned and illegally occupied by private vehicles. The absence of parking spaces close enough to delivery points provoke that freight carriers perform superfluous movements and loading/unloading operations within the circulating traffic, contributing temporarily to traffic congestion and, consequently, impacting sustainable development. To mitigate illegal parking practices of freight vehicles associated with poor bay management, this research proposes a planning methodology for loading/unloading bays in congested urban areas, which is composed of three main stages: the estimation of freight delivery demand generated by retail trade sector at 6-digit SCIAN level; the standardization of the processes involved in the spatial configuration (number, location, size) of bays; and the *ex-ante* assessment of the resulting bay system using microscopic simulation. The effectiveness of the methodology was verified by comparing the resulting bay system with a pre-implemented system in a road corridor in the downtown of Querétaro city, México. The results of the simulation revealed that the improvement in mobility achieved by systematic planning of freight parking spaces is overshadowed by the illegal parking of a single freight vehicle (in-lane parking), thus evidencing the relevance of enforcement and both vertical and horizontal signaling.

(Keywords: City logistic; Urban freight transport; Loading/unloading bays; Freight delivery demand modeling; Traffic simulation).

DEDICATORIAS

A Dios.

A mis padres, Jesús y Flor.

A mis abuelos, Jorge e Inocenta.

A mis tías, Maribel, Magda, Amanda y Beatriz.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Eduardo Betanzo Quesada, por estar siempre dispuesto a transmitir el conocimiento. Agradezco su paciencia y su valioso tiempo para hacer de mi una mejor persona e investigador.

A la Universidad Autónoma de Querétaro, Institución de excelencia académica, que me ha cobijado durante mi estancia de posgrado. Agradezco grandemente a los investigadores, Dr. Jose A. Romero, Dr. Saúl A. Obregón, Dra. Ma. De la Luz Pérez y M.I. Marcos L. Dorado, quienes han contribuido a que lleve a feliz término mi investigación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo recibido durante el desarrollo de mis estudios de maestría.

A mi novia, Iliana, por su motivación y compañía durante estos dos años,

A mis amigos y colegas, Leonardo, Jaime y Miguel, por su incondicional apoyo en la realización de esta investigación.

TABLA DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2	JUSTIFICACIÓN	6
2.	ANTECEDENTES.....	8
3.	HIPÓTESIS.....	11
4.	OBJETIVOS.....	11
5.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	12
5.1	MOVILIDAD.....	12
5.2	CADENA DE SUMINISTRO	13
5.3	LOGÍSTICA URBANA.....	15
5.4	DISTRIBUCIÓN URBANA DE MERCANCÍAS	16
5.4.1	<i>Tipos de distribución urbana de mercancías.....</i>	<i>16</i>
5.5	TRANSPORTE DE CARGA.....	19
5.6	PLANES DE HORIZONTE.....	19
5.7	BAHÍAS CARGA/DESCARGA.....	20
5.8	MODELACIÓN DE LA LOGÍSTICA URBANA.....	21
5.8.1	<i>Modelación de la demanda del transporte urbano de mercancías</i>	<i>22</i>
5.8.2	<i>Modelos de demanda basados en camiones</i>	<i>24</i>
5.8.3	<i>Generación de viajes de carga</i>	<i>24</i>
5.8.4	<i>Modelos econométricos</i>	<i>28</i>
5.8.5	<i>Procedimientos de agregación.....</i>	<i>31</i>
5.9	HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN DE TRÁFICO	33
5.9.1	<i>Niveles de detalle de la simulación de tráfico.....</i>	<i>34</i>
5.9.2	<i>Modelos de simulación.....</i>	<i>35</i>
5.9.3	<i>Calibración de los modelos de simulación.....</i>	<i>38</i>
5.9.4	<i>Validación de los modelos de simulación.....</i>	<i>38</i>
5.9.5	<i>Software de simulación Aimsun</i>	<i>39</i>

6. METODOLOGÍA	41
6.1 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE UNIDADES ECONÓMICAS.....	42
6.1.1 Sector económico de análisis	42
6.2 CASO DE ESTUDIO.....	44
6.2.1 Zona de Análisis de Tráfico (ZAT)	47
6.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	49
6.3.1 Encuestas a establecimientos comerciales.....	50
6.3.2 Encuestas de observación de vehículos de carga.....	53
6.4 MODELOS DE ATRACCIÓN DE VIAJES DE CARGA (AVC)	54
6.5 CONFIGURACIÓN ESPECIAL DEL SISTEMA DE BAHÍAS CARGA/DESCARGA.....	59
6.5.1 El número de bahías.....	59
6.5.2 La localización de las bahías	64
6.5.3 El tamaño de las bahías	66
6.6 MICROSIMULACIÓN DE TRÁFICO COMO EVALUACIÓN EX-ANTE	69
6.6.1 Construcción del escenario base	70
6.6.2 Calibración y validación del escenario base	78
6.6.3 Marco de comparación entre los diferentes escenarios de simulación	80
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	83
7.1 MODELOS DE ATRACCIÓN DE VIAJES DE CARGA (AVC)	83
7.2 CONFIGURACIÓN ESPACIAL DEL SISTEMA DE BAHÍAS CARGA/DESCARGA	90
7.2.1 Número de bahías	90
7.2.2 El tamaño de las bahías	93
7.2.3 Localización de las bahías	97
7.2.4 Escenarios de microsimulación	101
8. CONCLUSIONES	106
8.1 LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURA.....	109
9. REFERENCIAS	112
10. ANEXOS	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Motivos de inoperancia de las bahías carga/descarga.	3
Figura 1.2. Tipos de estacionamiento ilegales de los vehículos de carga.	5
Figura 5.1. Estructura de la cadena de suministro bajo el esquema de enlaces PC.	15
Figura 5.2. Modelo de distribución física urbana por paradas múltiples.	17
Figura 5.3. Modelo de distribución física urbana centralizada.	18
Figura 5.4. Estructura de los modelos con base en vehículos, mercancías y entregas.	23
Figura 5.5. GVC a nivel de establecimiento.	25
Figura 5.6. Representación gráfica de los modelos de seguimiento vehicular.	36
Figura 5.7. Representación gráfica de los modelos de cambio de carril.	37
Figura 6.1. Diagrama metodológico.	41
Figura 6.2. Delimitación del caso de estudio.	44
Figura 6.3. Dispersión espacial de los establecimientos minoristas en el caso de estudio.	45
Figura 6.4. Composición de las clases de actividad en el caso de estudio.	46
Figura 6.5. (a) caso de estudio; (b) zona de análisis de tráfico (ZAT).....	48
Figura 6.6. Vehículos privados usando la bahía carga/descarga del Mercado Hidalgo.	49
Figura 6.7. Diagrama de flujo del desarrollo del marco de modelación VAC.	57

Figura 6.8. Izquierda: entrega vía manual (distancia corta); derecha: entrega vía mecánica (distancia larga).....	64
Figura 6.9. Localización ideal de un sistema de bahías cuyo número es limitado.	66
Figura 6.10. Tipología de vehículos de carga urbano	68
Figura 6.11. Equipo GPS empleado en el trabajo topográfico.	70
Figura 6.12. Grafo de la red vial del ZAT.	71
Figura 6.13. Arriba: ciclo semafórico de la calle E. Montes; Abajo: ciclo semafórico de la calle M. Hidalgo.....	76
Figura 6.14. Izquierda: vehículo de carga estacionado en una bahía carga/descarga; derecha: vehículo de carga estacionado en carril.....	77
Figura 6.15. Simulación de la obstrucción temporal ocasionada por la actividad de la recogida de niños.....	78
Figura 7.1. Restaurante siendo abastecido de refrescos embotellados por medio de un camión de carga tipo C2.....	89
Figura 7.2. Dimensiones mínimas requeridas por tipo de bahía (arriba: bahía tipo LB; abajo: bahía tipo HB).....	95
Figura 7.3. Distancia máxima de caminata por modo de transporte de mercancías.	97
Figura 7.4. Modalidad de entrega de mercancías empleada por tipo de vehículo de carga.....	98
Figura 7.5. Localización espacial de bahías carga/descarga (arriba: escenario actual; abajo: escenario alternativo).	99
Figura 7.6. Capacidad de servicio de las bahías tipo HB.....	100
Figura 7.7. Desempeño de la red vial por escenario de cumplimiento.....	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Alcances de la literatura consultada.....	10
Tabla 5.1. Procedimiento de agregación por tipo de modelo lineal.....	33
Tabla 5.2. Estadísticas de validación en los escenarios de simulación.....	39
Tabla 6.1. Extracto de cada sección del cuestionario a establecimientos comerciales.....	51
Tabla 6.2. Extracto del cuestionario de observación de vehículos de carga.....	54
Tabla 6.3. Matriz O-D de los vehículos privados.....	72
Tabla 6.4. Estadística descriptiva de longitud por cada tipo de vehículo.	74
Tabla 6.5. Estadística descriptiva de anchura por cada tipo de vehículo.....	74
Tabla 6.6. Estadística descriptiva de velocidad máxima deseada por vehículos tipo: automóvil, autobús y camión de carga.....	74
Tabla 6.7. Estadística descriptiva de los parámetros: aceleración, desaceleración, distancia mínima entre vehículos y tiempo de reacción.....	75
Tabla 6.8. Valores de los parámetros globales y locales antes y después del proceso de calibración.....	79
Tabla 6.9. Resultados finales de la validación de los volúmenes de tráfico.....	80
Tabla 7.1. Variables y modelos tipo representativos de las clases de actividad sondeadas.	84
Tabla 7.2. Modelos AVC de las clases de actividad sondeadas.....	85
Tabla 7.3. Marco de modelación AVC final.....	86

Tabla 7.4. Número de bahías necesarias para el caso de estudio.	91
Tabla 7.5. Número de bahías necesarias para la zona de análisis de tráfico (ZAT).	92
Tabla 7.6. Características físicas de los vehículos de carga que normalmente circulan dentro del el caso de estudio.....	94
Tabla 7.7. Dimensiones promedio de vehículo de carga tipo.	94
Tabla 7.8. Dimensiones mínimas recomendadas por tipo de bahía	95
Tabla 7.9. Indicadores de desempeño por escenario de entrega.	101
Tabla 7.10. Diferencia relativa de cada escenario de entrega con respecto al escenario base.....	102
Tabla 7.11. Resultados de la prueba MANOVA unidireccional por cada escenario de cumplimiento.....	105
Tabla 8.1. Contribuciones al estado del arte.....	108

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I: Instrumentos utilizados en las encuestas a establecimientos comerciales.	118
ANEXO II: Documentos implicados en las encuestas a establecimiento comerciales.	122
ANEXO III: Instrumento utilizado en la encuesta de observación de vehículos de carga.	124
ANEXO IV: Volúmenes de tráfico en cada intersección del ZAT.	125
ANEXO V: Matriz OD por tipo de vehículo.....	127
ANEXO VI: Modelos de vehiculos mas representativos del ZAT.	129
ANEXO VII: Mediciones de los parámetros globales.	131
ANEXO VIII: Distribución de llegada y al tiempo de permanencia de los vehículos privados enfrente de la escuela primaria Constitución.....	136
ANEXO IX: Modelación AVC entre las diferentes combinaciones de variables predictoras y modelos tipo.	137
ANEXO X: Procedimientos de agregación.....	148
ANEXO XI: Base de datos de las encuestas de observación de vehículos de carga.	151

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

AC	Atracción de Carga
ACS	Actividad de Carga y Servicio
AVC	Atracción de Viajes de Carga
DENUE	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas
GC	Generación de Carga
GVC	Generación de Viajes de Carga
PC	Producción de Carga
PVC	Producción de Viajes de Carga
SCIAN	Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte

1. INTRODUCCIÓN

El sistema de transporte urbano de mercancías desempeña un papel predominante en el desarrollo económico de las aglomeraciones urbanas dado a que representa la última transacción física entre el remitente y el receptor en una cadena de suministro típica (Herzog, 2011; Muñuzuri *et al.*, 2012; Taniguchi *et al.*, 2014; Holguín-Verás *et al.*, 2017 y 2018). A pesar de esto, dicho sistema ha sido tradicionalmente marginado por el sector público en la creación de iniciativas que maximicen sus actividades logísticas bajo un enfoque sostenible. De hecho, la mayoría de las políticas de movilidad asociadas con el transporte de mercancías se basan en restricciones (por ejemplo, restricciones de tamaño/peso en ciertas vialidades urbanas) y en regularizaciones (por ejemplo, ventanas de tiempo), mismos que han demostrado ser ineficaces debido a los costos ambientales y económicos adicionales involucrados en rutas de distribución más prolongadas (red de distribución poco optimas) (Muñuzuri *et al.*, 2012). Sin embargo, esta posición ha cambiado recientemente debido a la rápida proliferación de los vehículos de carga en áreas urbanas de alto crecimiento.

Como resultado de satisfacer las necesidades de consumo bajo el esquema de producción y entrega "justo a tiempo", amplios movimientos de carga urbana son generados, representando aproximadamente el 15-25% del flujo de tráfico urbano total en las ciudades en vías de desarrollo (Herzog, 2011) y el 10-15% en ciudades desarrolladas (Muñuzuri *et al.*, 2012 y Alho *et al.*, 2017). Se ha demostrado que esta proporción de tráfico, aparentemente pequeña en comparación con el tráfico generado por los otros sistemas de transporte, afecta negativamente el desarrollo sostenible en términos de contaminación, ruido, congestión, ocupación de la red de carreteras y daños a la infraestructura (Melo, 2010; Herzog, 2011; Muñuzuri *et al.*, 2012; Betanzo *et al.*, 2013; y Comi *et al.*, 2017 y Holguín-Verás *et al.*, 2018), que se intensifican en áreas con estrechas redes de calles y con amplios rangos de uso de suelo, por ejemplo, núcleos urbanos (centros históricos) (Muñuzuri *et al.*, 2012 e ITE, 2017). Estas externalidades proporcionaron luz para considerar el transporte

de carga urbano como un elemento integral en la planificación de la movilidad sostenible.

El acondicionamiento de las áreas para la carga/descarga de mercancías en la vía pública es una de las tantas iniciativas implementadas por el sector público para reducir la interferencia de los vehículos de carga frente al tráfico circundante y mejorar el rendimiento de la logística de distribución a base de entregas de mercancías más eficientes. No obstante, la mayoría de estas se gestionan de forma no planeada (Betanzo, 2017), dando lugar a su inoperancia y, consecuentemente, propiciando las prácticas de estacionamiento no legales (por ejemplo, estacionamiento en doble fila) en respuesta a la falta de espacios de estacionamiento lo suficientemente cerca a sus puntos de entregas de destino (establecimientos comerciales) (Jaller *et al.*, 2012; Alho *et al.*, 2017, Comi *et al.*, 2017 y Holguín-Veras *et al.*, 2018). Para contrarrestar tales comportamientos no deseados, y así evitar la obstrucción temporal de los flujos de tráfico producidos por los mismos, en la presente investigación se plantea una metodología de planeación para bahías carga/descarga en áreas urbanas congestionadas, en donde se proporciona desde las técnicas necesarias para estimar la demanda de estacionamiento de carga de los establecimientos comerciales hasta las pautas necesarias para determinar el número, localización y tamaño de las bahías (configuración espacial), así como los impactos de tráfico inducidos tanto por el sistema de bahías resultante como por los estacionamientos ilegales en carril realizados por los transportistas de carga.

1.1 Planteamiento del problema

Como una respuesta natural a la tendencia mundial del crecimiento poblacional (Alho *et al.*, 2017), las ciudades mexicanas en vías de desarrollo –por ejemplo, Querétaro– han presentado en los últimos años un crecimiento comercial e industrial desmesurado, lo que ha llevado a grandes volúmenes emergentes de tráfico de carga en sus redes viales y, por consecuencia, a una interacción más

intrínseca con los demás sistemas de transporte, sobre todo en el contexto urbano. Betanzo (2015a) menciona que el crecimiento acelerado de las ciudades y de la poblacional induce a la creación de nuevos establecimientos comerciales, que a su vez generan más flujos de carga y de ello se deriva un mayor número de camiones, es decir, más demanda de transporte sobre las vialidades y en consecuencia más maniobras de carga y descarga en la vía pública. En respuesta a estas necesidades, el sector público asigna bahías –áreas de estacionamiento– en el espacio público, ya sea en la vialidad o fuera de la vialidad (cajones en las banquetas). Sin embargo, esta estrategia ha revelado un cierto grado de ineficiencia debido a dos circunstancias (Jaller *et al.*, 2012 y Holguín-Veras *et al.*, 2018): (a) en la mayoría de los casos, particularmente en ciudades en vías de desarrollo, las bahías se gestionan de manera no planeada (Betanzo, 2017); y (b) las bahías son usadas ilegalmente por los vehículos privados (ver Figura 1.1).

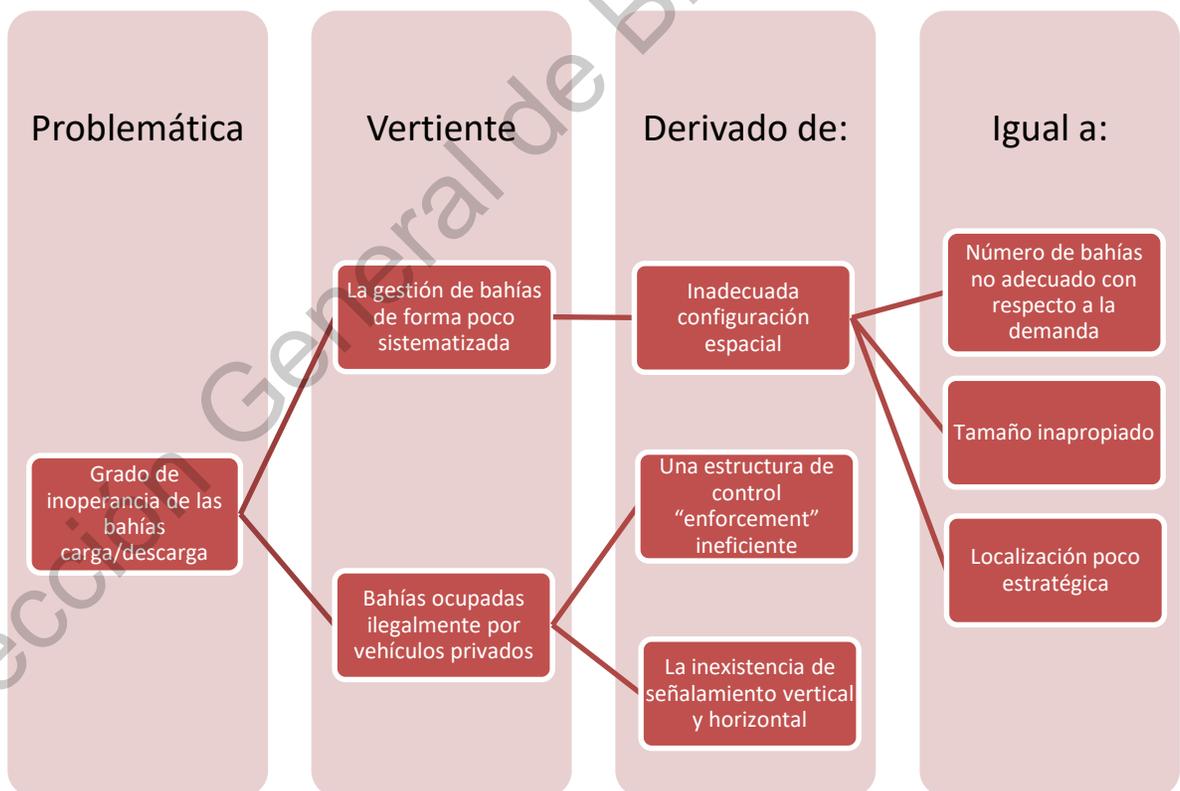


Figura 1.1. Motivos de inoperancia de las bahías carga/descarga.

Fuente: Elaboración propia.

La situación (a) se debe, fundamentalmente, a una configuración espacial de bahías inadecuada, es decir, un número no adecuado con respecto a la demanda de estacionamiento, lo que se traduce en un sistema carente de bahías o un sistema con excedentes de bahías; un tamaño no apropiado para la amplia gama de vehículos de carga; y una localización poca estratégica en lo referente a la cobertura máxima de establecimientos comerciales. La situación (b), por otro lado, se debe a medidas de control –*parking enforcement*– poco estrictas (Aiura y Taniguchi, 2005; Melo, 2010; Alho *et al.*, 2014 y 2017, y Comi *et al.*, 2017) y a un señalamiento vertical y horizontal débil (la inexistencia de ambos o alguno de ellos) (Padilla *et al.*, 2018). Este último, en particular, les compete rigurosamente a instituciones públicas en materia de tránsito controlarlo, ya que es un problema de cultura vial y no de planificación.

Ante la ausencia de espacios de estacionamiento lo suficientemente cercanos a los puntos de entrega, los repartidores tienden a realizar ya sea movimientos superfluos –aumento en la interferencia con los otros vehículos– o una de las siguientes medidas de estacionamiento no legales: (a) estacionamiento en las banquetas; (b) estacionamiento en áreas para discapacitados; (c) estacionamiento en doble fila; o (d) estacionamiento en carril (semejante al estacionamiento en doble fila, con la diferencia de que la duración de la obstrucción es igual al tiempo empleado en los ejercicios de carga/descarga) (ver Figura 1.2).

Además de causar daño a la infraestructura pública, el estacionamiento en las banquetas afecta el movimiento de las personas y de los ciclistas, amenazando la seguridad de los mismos (Taniguchi *et al.*, 2014). El estacionamiento en doble fila, al igual que el estacionamiento en carril, genera disturbios en el tráfico debido a que interrumpe temporalmente los flujos vehiculares, reduciendo así la capacidad vial y, por ende, la movilidad urbana (Kladefiras y Antoniou, 2013; Alho *et al.* 2017 y Comi *et al.*, 2017). Claramente, tal escenario se intensifica en áreas con estrechas redes de calles y con amplios rangos de uso de suelo, por ejemplo, los núcleos urbanos (centros históricos) (Muñuzuri *et al.*, 2012 e ITE, 2017).



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 1.2. Tipos de estacionamiento ilegales de los vehículos de carga.

Fuente: Elaboración propia.

Como tal, el ámbito político no muestra motivos de preocupación ante dichas externalidades producidas por los vehículos de carga, e incluso si las hay, no saben cómo confrontarlas apropiadamente. Un fuerte argumento a favor de esta aseveración lo establece Dablac (2006), el cual expone que: los roles gubernamentales son conscientes de que deben controlar y mejorar la distribución urbana de mercancías, pero la mayoría de ellos no tienen conocimiento de cómo hacerlo.

1.2 Justificación

Mejorar las condiciones de carga y descarga dentro de una ciudad es una condición necesaria para reducir la interferencia de los camiones de reparto frente a la circulación vial (Betanzo, 2017). Debido a ello, Dezi *et al.* (2010) y Muñuzuri *et al.* (2012) mencionan que, ante la escasez de bahías, y a una configuración espacial inadecuada (número, localización y tamaño), el estacionamiento en doble fila es una práctica común, afectando temporalmente la movilidad urbana.

Betanzo *et al.* (2013) desarrollaron un método evaluación de iniciativas¹ en materia de carga urbana denominado *Referencial de Análisis del Transporte Urbano de Carga* (RATUC), en el cual se desglosa las diferentes medidas adoptadas por el sector público para mejorar la eficiencia logística del sistema de transporte urbano de carga tanto a nivel nacional como local (zona metropolitana de Querétaro). Los resultados de dicha evaluación revelaron que las zonas de carga y descarga es una de las medidas poco implementadas como estrategia logística y de movilidad, representando un avance en la zona metropolitana de Querétaro de tan solo 17.1%², en contraposición con los corredores de carga, cuyo porcentaje de avance es de 40%. El mismo autor sugiere, con base en la evaluación RATUC, que las acciones más necesarias para reordenar la circulación de los camiones de carga deben considerarse no solamente medidas básicas de carácter normativo, que se refieren principalmente a las restricciones de acceso y de acondicionamiento de áreas para realizar maniobras de carga y descarga en la vía pública, sino otras medidas de carácter logístico basadas en el acondicionamiento y aprovechamiento de la infraestructura vial y en cambios en la operación de los camiones en las calles. Ahora, bajo un contexto global, se demuestra en Holguín-Veras *et al.* (2018) que las

¹ Se recomienda ampliamente consultar Herzog (2011), Betanzo *et al.* (2013) y Holguín-Veras *et al.* (2018) para conocer las diferentes iniciativas implementadas por el sector público para mejorar la eficiencia logística de los vehículos de carga urbanos.

² Cabe resaltar que este estudio fue realizado en el año 2012, por lo que el porcentaje de avances de las iniciativas de carga urbana pudieron haber variado con respecto al presente año.

zonas de carga y descarga representan solo el 29.8% de todas las iniciativas llevadas a cabo para abordar problemas relacionados con el transporte urbano de carga, siendo Australia el país más representativo en implementarlos, con un porcentaje de 48.1% (en américa latina, el porcentaje de implementación es de 25.2%).

Si bien en el contexto mexicano existe una serie de documentos referenciales para la adecuación de áreas de estacionamiento carga/descarga en la vía pública (Herzog, 2011; Padilla *et al.*, 2018 y SEDATU, 2018), estos solo se limitan en brindar detalles técnicos elementales (por ejemplo, el tamaño de las bahías). De hecho, a pesar de contar con capítulo en el Manual de Dispositivos para el Control de Tránsito en Áreas Urbana y Suburbanas (DODF, 2001) dedicado exclusivamente al diseño de bahías, este solo hace alusión a los vehículos del transporte público de persona, pasando por alto el sistema de transporte urbano de carga (Betanzo, 2017).

Aunque diversos trabajos de investigación han proporcionado pautas útiles para la gestión, optimización y uso de las bahías carga/descarga (Aiura y Taniguchi, 2006, Delaître, 2009; Dezi *et al.*, 2010; McLeon y Cherrett, 2011; Alho *et al.*, 2017 y Comi *et al.*, 2017), la mayoría de sus metodologías son poco aplicables en la práctica, ya que se desarrollaron a partir de ciertos objetivos específicos y condiciones particulares que dificultan su replicación en otros contextos, por ejemplo, en ciudades en vías de desarrollo. Por lo tanto, la debilidad en crear una guía de planificación estándar para bahías carga/descarga sigue aún latente, tal como lo sostiene Comi *et al.* (2017), señalando que la literatura asociada con la planificación de bahías carga/descarga todavía es limitada e investigaciones adicionales deben ser llevadas a cabo.

2. ANTECEDENTES

Con base en algoritmos genéticos, Aiura y Taniguchi (2006) desarrollaron un modelo de simulación que determina la ubicación óptima de las bahías carga/descarga mediante la minimización de los costos implicados en las operaciones de entregas (el costo total se compone de los costos de operación de los vehículos de carga, el costo de traslado de las mercancías, y el costo de espera, entre otros). Sin embargo, este modelo tiene el inconveniente de suponer que los vehículos de carga no se estacionan ilegalmente en la calle, escenario lejos de la realidad en muchas ciudades. Bajo el mismo enfoque, pero sin llevar a cabo una simulación, Muñuzuri *et al.* (2012) –considerados pioneros en la creación de modelos de simulación de estacionamiento, incluso de los no legales, como el estacionamiento en doble fila (Muñuzuri *et al.*, 2002)– desarrollaron un modelado matemático (a partir de algoritmos genéticos) que define de manera óptima la localización de las bahías carga/descarga e, indirectamente, el número de ellas. La desventaja más notable de este modelo es que requiere de una cantidad significativa de información sobre tráfico de mercancías.

Delaître (2009) simuló los movimientos superfluos de los vehículos de carga (los cuales son derivados de la ausencia de áreas de estacionamiento) a través de la combinación de dos herramientas francesas (uno determina la demanda de entrega y el otro simula escenarios de entrega). No obstante, el autor no toma en cuenta las situaciones en donde el área de entrega es ocupada ilegalmente por un vehículo privado, así como también toma poca atención en los componentes espaciales (características físicas de las bahías); además, la metodología propuesta es difícilmente replicable, ya que los instrumentos utilizados pertenecen únicamente al país francés.

Con el fin de garantizar el sistema de entrega “justo a tiempo” y, al mismo tiempo, mitigar las externalidades producidas por el estacionamiento ilegal de los vehículos de carga, Dezi *et al.* (2010) propusieron una metodología de planificación para la gestión de áreas de parada y acceso para vehículos de transporte de

mercancías, que consiste básicamente en optimizar los tres componentes de la configuración espacial: número, localización y tamaño. Sin embargo, los autores no proporcionan información suficiente para la aplicación práctica de su metodología.

Sobre la base de lo anterior, Alho *et al.* (2014) elaboraron un marco general de referencia en el cual se analiza los diferentes conocimientos proporcionados al campo de la planificación de sistemas de bahías carga/descarga. El propósito del estudio fue evaluar las metodologías de modelado de carga de los autores antes mencionados (los alcances de cada una de las metodologías consultadas se muestra en la Tabla 2.1), y desarrollar así un marco de modelación alternativo para la gestión y optimización de bahías carga/descarga, considerando los estacionamientos no legales tanto de los vehículos de carga como de los vehículos privados (ocupación de las bahías).

A partir del soporte concluyente en Alho *et al.* (2014), Alho *et al.* (2017) optimizaron el número y la localización de las bahías mediante un análisis de sensibilidad con base en escenarios de simulación en donde se variaron diferentes números de bahías y niveles de cumplimiento de las normas de estacionamiento de los vehículos privados. Los autores concluyen que, al tener una configuración espacial óptima de bahías carga/descarga, así como un correcto uso de ellas, se conduce a un mejor flujo de tránsito y, por lo tanto, a una mejor movilidad en una red vial.

Tabla 2.1. Alcances de la literatura consultada.

Autor(es)	Simulación de la obstrucción espacial	Simulación de la obstrucción temporal	Simulación de la obstrucción de propagación	Optimización del taño de las bahías	Optimización del número de bahías	Optimización de la localización de las bahías	Optimización del uso de las bahías
Aiura y Taniguchi (2006)	No	Solo para vehículos estacionados en bahías	No	No	No	Si	Si
Delaître (2009)	Si	Si	Si	No	No	No	No
Dezi <i>et al.</i> (2010)	No	No	No	Si	Si	Si	No
Muñuzuri <i>et al.</i> (2012)	No	No	No	No	No, pero posible	Si	No

Fuente: Alho *et al.* (2014).

3. HIPÓTESIS

Un sistema de bahías cuidadosamente planeado reducirá la interferencia de los vehículos de carga frente a la circulación vial, mejorando así la movilidad vial urbana.

4. OBJETIVOS

Proponer una metodología de planificación para bahías carga/descarga en áreas urbanas congestionadas mediante la estandarización de los procesos involucrados en la configuración espacial (número, localización y tamaño) de las bahías.

Cuantificar y evaluar los impactos de tráfico inducidos tanto por el sistema de bahías resultante de la metodología propuesta como por las prácticas ilegales de estacionamiento de los vehículos de carga utilizando herramientas de micro-simulación.

5. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En esta sección, bajo un contexto general, se discute la teoría que existe detrás de la planificación sistematizada de bahías cargas/descargas en áreas urbanas congestionadas. La estructura lógica parte de conceptos fundamentales en relación con la logística y planeación urbana, y termina con los diferentes modelos matemáticos que integran la simulación de tráfico microscópica.

5.1 Movilidad

Antes de adentrarse a los conceptos logísticos, es útil hacer hincapié en la conceptualización de la movilidad y cómo este juega un papel fundamental en la eficiencia del transporte urbano de carga.

En palabras de Melo (2010), la movilidad se define como: la necesidad de las personas de ejercer obligaciones o actividades en diferentes locaciones, en la cual, el ejercicio de traslado es realizado mediante un sistema de transporte. De manera alterna y muy puntualizado, Alho *et al.* (2014:367) lo define, con base en lo dicho por Melo, como: *“La facilidad de movimiento, dependiente de un (eficiente) sistema de transporte”*. Desde el punto de vista de la planificación de transporte, la movilidad es un indicador cuantitativo que refleja la efectividad operativa de los diferentes sistemas de transporte ante la implementación de una iniciativa de mejora, ya sea un proyecto, un programa o una política pública. Entonces, en muchas instancias, se podría concluir que una mejor calidad de vida está fuertemente relacionada con el fácil movimiento (Vandenbulcke *et al.*, 2007, citado por Melo, 2010).

Bajo una perspectiva normativa y social, Padilla *et al.* (2018:11) definen la movilidad como: *“el derecho de toda persona y de la colectividad a disponer de un sistema integral de movilidad de calidad y aceptable, suficiente y accesible que, en condiciones de igualdad y sostenibilidad, permita el efectivo desplazamiento de todas las personas en un territorio para la satisfacción de sus necesidades y pleno desarrollo”*. Se da por entendido que la movilidad no es solo una acción a realizar

para cumplir un propósito dado, sino también un derecho que todo individuo tiene como sociedad. Es por ello que la movilidad debe de ser un sistema altamente funcional, impactando de manera positiva las tres dimensiones de la sustentabilidad (económica, ambiental y social).

Las definiciones descritas hasta ahora hacen generalmente alusión al transporte de pasajero, pasando por alto los demás sistemas de transporte, especialmente al transporte urbano de carga. Ciertamente ha habido pocas definiciones de movilidad que abarque íntegramente a los vehículos de transporte de carga en su conceptualización, por lo cual Melo (2010:19) traduce la movilidad en términos de transporte de carga urbana como: *“la facilidad de movimiento, que depende de un sistema de transporte (eficiente) y de una diversidad de opciones (sostenibles) para llegar a un destino final, donde las necesidades de consumo se cubren a costos moderados para los transportistas y la sociedad y lo más oportuno posible para lo previsto (fiabilidad)”*. Entonces, la movilidad es un requerimiento básico para el tráfico de bienes dentro y fuera de las áreas urbanas (Taniguchi *et al.* 2014).

5.2 Cadena de suministro

Para poder entender consistentemente todo lo relacionado con los planes de transporte de carga, es necesario, en primer lugar, definir el concepto logístico de cadena de suministro. La cadena de suministro es básicamente un proceso sistematizado de transacciones cuyos actores cumplen un fin único en la producción, almacenamiento y transferencia de la carga (o servicios). Melo (2010:15) presenta una interpretación similar, diciendo que: *“La cadena de suministro abarca todos los esfuerzos involucrados en la producción y entrega de un producto o servicio final, desde el proveedor del proveedor hasta el cliente del cliente”*.

Los principales tomadores de decisiones (actores) que rigen de manera eficaz la consolidación de suministros en el transporte de carga (Holguín-Verás *et al.* 2012 y 2017) son:

- Remitentes o productores: los agentes que producen o envían carga.
- Transportistas: los agentes que brindan servicios de transporte al remitente para llevar la carga a sus respectivos destinos.
- Receptores: los agentes de destino que reciben la carga enviada por los remitentes, incluyendo los intermedios y consumidores finales.

Pocas son las empresas que pueden producir productos (a partir de materias primas) y enviarlos a los diferentes clientes finales sin la asistencia de empresas particulares externas para el traslado de las mismas. Por lo que una transacción eficaz entre los productores, transportistas y receptores es una precondition necesaria para el desarrollo de una logística sólida (Melo, 2010).

La *National Cooperative Freight Research Program* (NCFRP), en su proyecto número 25 (Holguín-Verás *et al.*, 2012), representa la cadena de suministro como una estructura compuesta por enlaces de producción-consumo (PC). Asimismo, un enlace PC se constituye por un nodo de origen (el cual puede ser un productor o un intermediado que usa la carga como elemento de entrada a otro enlace PC), por un nodo de destino (que puede ser el consumidor final o un intermediado) y por un arco OD (representación gráfica del movimiento de la carga). Se puede decir en pocas palabras que un enlace PC es la transacción de carga entre el agente remitente y el agente receptor. Como puede observarse en la Figura 5.1, una cadena de suministro típica se compone de múltiples enlaces PC, en los que un agente económico produce/envía la carga (origen del primer viaje) para que otros agentes procesen/transformen y almacenen (destino del primer viaje y origen del segundo), y finalmente se entregue a los consumidores finales/intermedios (destino del segundo viaje) (Holguín-Verás *et al.*, 2012).

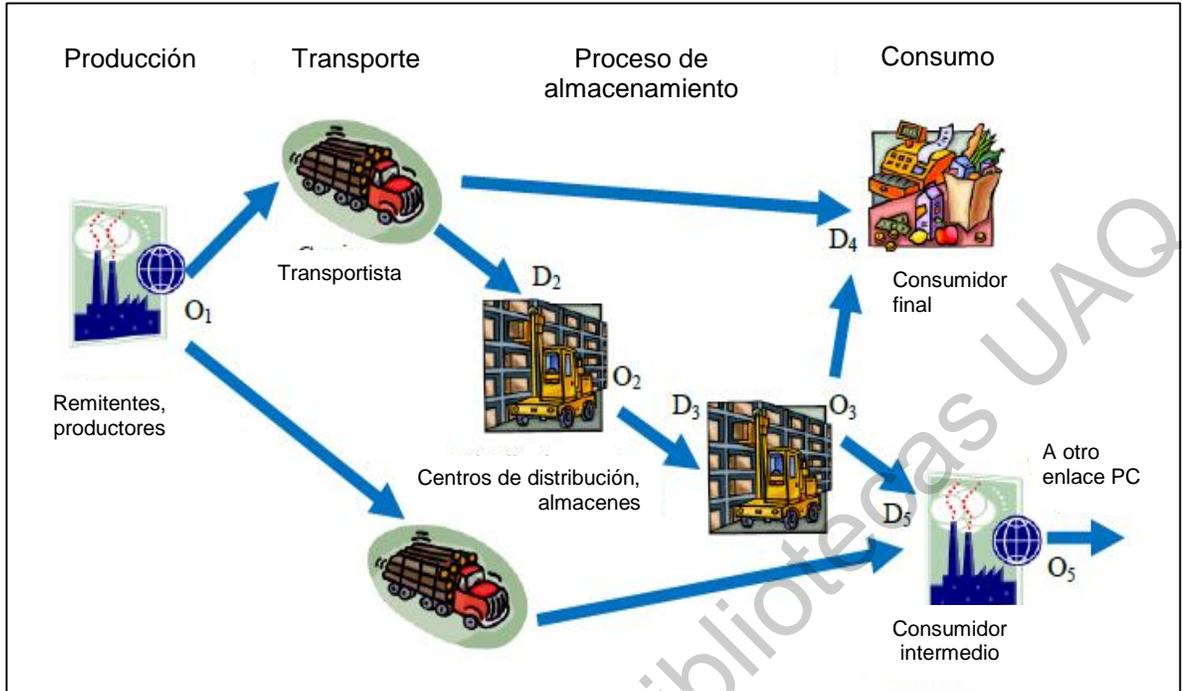


Figura 5.1. Estructura de la cadena de suministro bajo el esquema de enlaces PC.

Fuente: Holguín-Verás *et al.* (2012 y 2017)

5.3 Logística urbana

Si bien la logística es un estudio transversal que existe en todas las estructuras económicas, y su conceptualización varía según el ámbito, la logística urbana es el que interesa en este estudio. En el área de planeación de transporte, se pueden encontrar varias definiciones para el término de logística urbana. Desde un punto generalizado como el que exponen Taniguchi *et al.* (2001:2), donde se dice que: “es el proceso para optimizar en su totalidad las actividades de logísticas y transporte realizadas por empresas privadas en áreas urbanas”, hasta la más específica como la que establece la SEMARNAT (2016): “la logística urbana estudia como las personas, bienes, servicios e información superan el tiempo, la distancia, de manera eficiente, global y sin dañar el medio ambiente, es decir, en forma sustentable” (citado por Betanzo, 2017:15).

5.4 Distribución urbana de mercancías

La distribución urbana de mercancías es el último escenario de la cadena de suministros, donde los productos son abastecidos y entregados al consumidor final por un sistema de transporte de carga en el lugar correcto, en el tiempo correcto, en la cantidad y calidad requerida, y a un cierto costo (Melo, 2010 y Padilla *et al.*, 2018). Alternadamente, Melo (2010:17) argumenta que la distribución urbana de mercancías es “*el traslado de los bienes al cliente final, utilizando un sistema de transporte y creando impactos sociales, ambientales y económicos/financieros*”. Esta etapa también se le conoce como el último recorrido de la cadena de suministros o como la última milla.

A diferencia de los vehículos pesados de largo itinerario, cuya logística prevalece, por lo general, en las primeras etapas de la cadena de suministros (es decir, sus alcances son meramente regionales), el sistema de transporte de carga ligero tiene una gran influencia en las zonas urbanas. Esto se debe a que los establecimientos tipo: tiendas de abarrotes, ultramarinos, misceláneas y minisupers son habitualmente el consumidor final, cuyos asentamientos tiende a ser de índole urbano.

5.4.1 Tipos de distribución urbana de mercancías

De acuerdo con la *guía de distribución urbana de mercancía* de Padilla *et al.* (2018), el abastecimiento de bienes se clasifica bajo dos esquemas diferentes en función de su modalidad logística: la distribución urbana de mercancías basada en paradas múltiples y la distribución urbana de mercancías centralizada.

5.4.1.1 Distribución urbana de mercancías basada en paradas múltiples

Es considerado como el modelo clásico de la distribución de mercancías, y, por ende, el más empleado en el contexto urbano. La logística de distribución de este modelo es un proceso particularmente estandarizado y discontinuo, el cual costa de un origen –habitualmente, bodegas o centros de distribución (terminales

logísticos)– y múltiples destinos (tiendas de barrio), siendo el destino final el terminal logístico de partida (ver Figura 5.2). En general, los transportistas suministran productos, de manera física y simultánea, a cada uno de los establecimientos que integra el plan logístico en marcha, a fin de reabastecer los bienes faltantes en los anaqueles.

A pesar de que la eficiencia de los trabajos de distribución se maximiza (debido a que los transportistas no están sujetos a regresar al terminal logístico para abastecerse de mercancías (Sánchez-Díaz *et al.* (2016)), llevar a cabo este tipo de distribución implica usar una vasta cantidad de vehículos de carga, lo cual se traduce a un mayor consumo de energía, filas de espera en las áreas de recepción de las tiendas de los supermercados por insuficiencia de los andenes, congestión local en la vialidad urbana, viajes en “vacío” y viajes que duran toda la jornada, operadores más cansados y vehículos en ciclo de trabajo intenso (Padilla *et al.*, 2018).

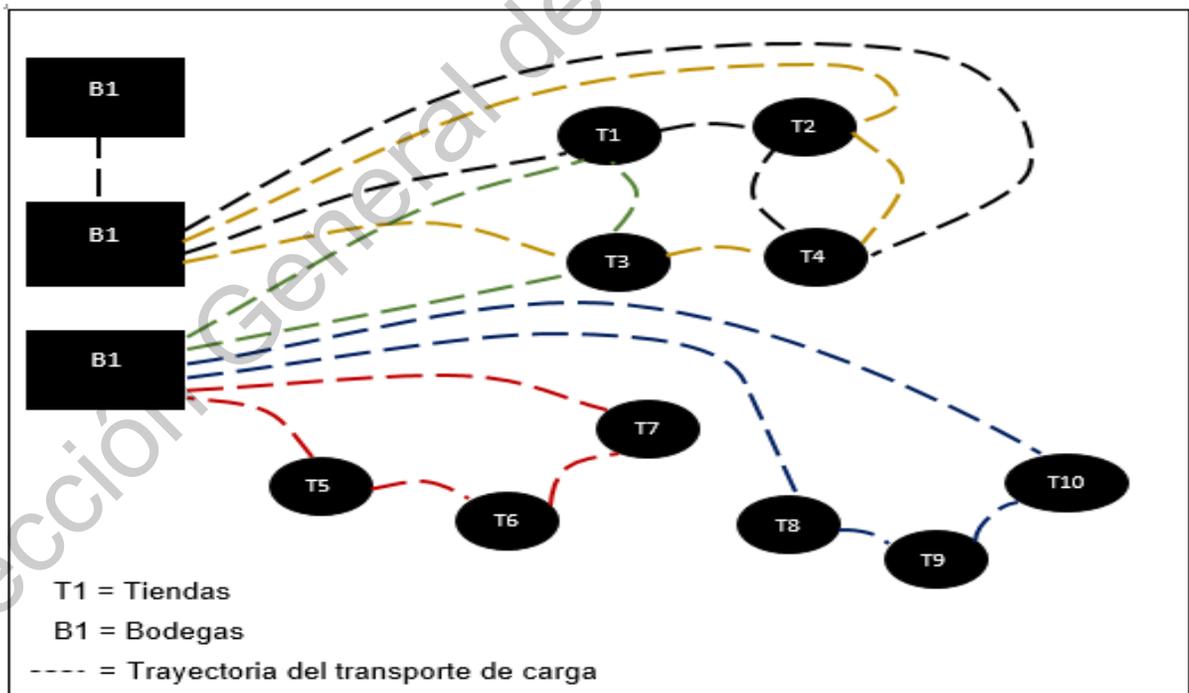


Figura 5.2. Modelo de distribución física urbana por paradas múltiples.

Fuente: Padilla *et al.* (2018).

5.4.1.1.1 Distribución urbana de mercancías centralizada

El modelo de distribución urbana de mercancías centralizada se caracteriza por un sistema intermediario denotado como “cruce de andenes”, o también llamado *cross-docking*. En este sentido, la logística de distribución se realiza a partir de una transacción sistemática entre un conjunto de instalaciones logísticas de producción, gestión y expendio de bienes, y un terminal logístico de canalización, almacenamiento y distribución (ver Figura 5.3); donde las unidades de carga completas de un solo producto (lógica de la instalación logística) se transforman en unidades de carga de salida completa (lógica del distribuidor físico) con todos los pedidos procesados para entregar en una sola tienda y/o un conjunto de tiendas mediante “paradas múltiples” en un área territorial específica (caso de las tiendas de barrio) (Padilla *et al.*, 2018).

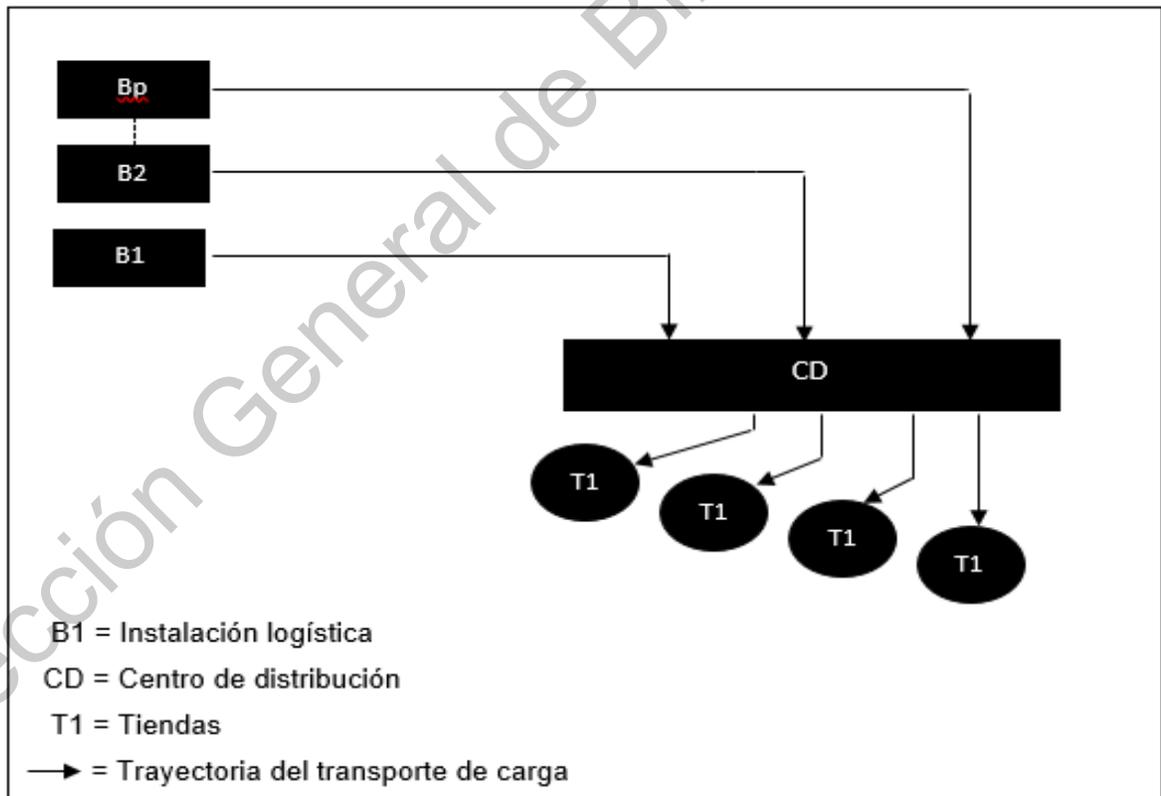


Figura 5.3. Modelo de distribución física urbana centralizada.

Fuente: Padilla *et al.* (2018).

5.5 Transporte de carga

El transporte de carga se puede descomponer en dos amplios grupos: los vehículos pesados (o de largo itinerario), y los vehículos ligeros (o comerciales). El aspecto característico que los diferencia es la unidad de referencia de volumen de carga (capacidad de carga), la cual depende directamente de la composición física vehicular. Los camiones pesados se particularizan por una estructura larga y robusta, compuesta generalmente por un semirremolque o doble remolque, en la cual, grandes volúmenes de carga son transportados. Esta composición suprime los costos operacionales adicionales que se obtienen por trasladar tales volúmenes con vehículos ligeros, mejorando así la eficiencia logística de distribución,

Los vehículos de carga ligeros, a diferencia de los vehículos pesados, no emplean de elementos externos (por ejemplo, plataformas o semiremolques) para transportar mercancías, pero sí de aditamentos que incrementan la capacidad de carga, por ejemplo, las cajas secas y las redilas. Dado que los establecimientos comerciales en áreas urbanas tienen poco o ningún espacio de almacenamiento, la tasa de viajes de estos vehículos es relativamente alta, representando aproximadamente entre el 80% y 90% del tráfico de carga total (Holguín-veras *et al.*, 2017). Jaller *et al.* (2012:5) definen a los vehículos de carga ligeros como: *“cualquier vehículo que lleve placas comerciales y que esté permanentemente alterado para facilitar el transporte de propiedades, y muestre el nombre y la dirección del registrante permanentemente fijados en ambos lados del vehículo”*.

5.6 Planes de horizonte

Las iniciativas relacionadas con el transporte urbano de carga (implementadas ya sea por el sector público o por el sector privado) fluctúan según el plan de horizonte (también llamados como horizontes de tiempo), que van de corto a largo plazo. Ciertas medidas pueden ser implementadas de manera inmediata con una planeación elemental y poca fuerza de trabajo; mientras que otros son bastantes más complejos y factibles en medio o largo plazo (Herzog,

2011). Tomando como referencia el trabajo realizado por Comi *et al.* (2012), los planes de horizonte se clasifican y definen como:

- Plan de horizonte a largo plazo: involucra decisiones sobre programas de inversión de capital a largo plazo para la realización de nuevas infraestructuras (por ejemplo, centros de distribución urbana y carreteras) y/o el cambio de vehículos y tecnologías (por ejemplo, vehículos y sistemas de control amigables con el medio ambiente); estas acciones podrían determinar modificaciones tanto en los sistemas de actividades minoristas como mayoristas.
- Plan de horizonte a medio plazo: hace referencia a decisiones sobre proyectos que requieren recursos limitados, asumiendo, por lo general, cambios menores (o ninguno) en las infraestructuras (por ejemplo, zonas de carga y descarga).
- Plan de horizonte a corto plazo: incluye la implementación de algunas iniciativas que tienen en cuenta aspectos particulares de la gobernanza (por ejemplo, ventanas de tiempo).

5.7 Bahías carga/descarga

Una definición muy puntual y consistente lo establecen Alho *et al.* (2017:2), los cuales mencionan que las bahías son "*áreas de parada no adecuadas para el estacionamiento, donde el conductor puede detener su vehículo para realizar operaciones de carga y descarga, sin interrumpir los flujos de tráfico, a las actividades comerciales e industriales en un radio limitado*". Alternadamente y de forma más generalizada, las bahías son espacios en la vialidad (sobre carriles de estacionamiento), o fuera de la vialidad (acondicionado la infraestructura peatonal)³,

³ *Las bahías en la vialidad y fuera de la vialidad son términos provenientes de la traducción al español de "on and off-street bays" (Aiura y Taniguchi., 2006; Alho et al., 2017; Comi et al., 2017 y Holguín-Veras et al., 2018).*

para que los conductores de los camiones de carga se estacionen y, subsecuentemente, completen las solicitudes de entrega (o de recogida) de mercancía de los establecimientos comerciales (Jaller *et al.* 2002).

Las bahías cargas/descarga son una de las estrategias generalmente usadas dentro de un marco institucional para reducir la interferencia de los vehículos de carga frente a la circulación vial (Herzog, 2011 y Betanzo, 2017), las cuales, a su vez, también minimizan subyacentemente los costos operacionales derivados de la búsqueda de estacionamiento (suprimidos, en el mejor de los casos) al tiempo que maximizan las operaciones de entrega de mercancía. El plan de horizonte para este tipo de infraestructura es, como se mencionó anteriormente, de corto-medio plazo, de manera que no requiere una cantidad considerable de capital de inversión, pero si de una planificación apropiada para lograr los resultados sostenibles esperados. De acuerdo con Taniguchi *et al.* (2014), la funcionalidad operativa de iniciativas con horizontes de tiempo de corto y mediano plazo es de un máximo de 10 años, en razón de que el transporte de carga es un sistema mucho más complejo que sus contrapartes de transporte de pasajeros, cuyos horizontes de tiempo son más prolongados.

5.8 Modelación de la logística urbana

Típicamente, los modelos matemáticos⁴, basados en procedimientos computacionales, son los más utilizados para predecir el desempeño de los sistemas logísticos en sus diferentes esquemas (Taniguchi *et al.*, 2001). Es decir, la salida de los modelos puede ser usada como una representación simplificada del comportamiento del sistema de transporte urbano de carga. Por lo tanto, los modelos matemáticos son herramientas útiles que permiten a los planificadores urbanos comprender todo fenómeno relacionado no solo con el sistema de

⁴ En palabras de Ortuzar (2016), un modelo matemático investiga el comportamiento de un sistema a partir de ecuaciones algebraicas que contienen dos tipos de variables: dependientes (o explicativas) e independientes.

transporte urbano de carga, sino también con los diferentes sistemas de transporte en conjunto o en separado, así como estimar, analizar y evaluar sus comportamientos frente a determinados estímulos, por ejemplo, una reorganización del uso de suelo.

5.8.1 Modelación de la demanda del transporte urbano de mercancías

La demanda de mercancías es la manifestación de los procesos económicos derivados de la dinámica social de consumo, la cual se ejerce directamente por las unidades económicas (establecimientos comerciales) (Holguín-Veras *et al.*, 2017). La demanda es el mecanismo activador de las cadenas de suministros, siendo un componente clave en la vitalidad de las economías locales y regionales. Por ello, esta debe de ser estimada con un alto grado de precisión por los planificadores urbanos para planear adecuadamente la iniciativa de solución (o mejora), ya sea para la gestión, regularización o control de los movimientos de carga.

La literatura especializada segmenta los modelos de demanda en dos grandes clases: los modelos macroeconómicos y los modelos multi-etapas. No obstante, para efectos de análisis y planeaciones más afinadas, Ogden (1994) y Taniguchi *et al.* (2001) fragmentaron el modelo multi-etapa en términos de unidades de referencia: i) cantidad (basado en el producto); ii) entrega movida (basada en la entrega); iii) vehículo de carga por el cual se realiza el transporte (basada en vehículos); iv) mixto (basada en producto/entrega) (ver Figura 5.4).

Para propósitos de planeación, el modelo específico (o modelos) a escoger dependerá vigorosamente del tipo de estudio subyacente de la iniciativa a implementar, siendo los modelos de demanda basados en vehículos y entregas los de interés en la presente investigación, ya que son determinantes en la estimación de la demanda de estacionamientos de carga que sirven a los establecimientos comerciales (Jaller *et al.*, 2012; Alho *et al.*, 2017 y Holguín-Veras *et al.*, 2017).

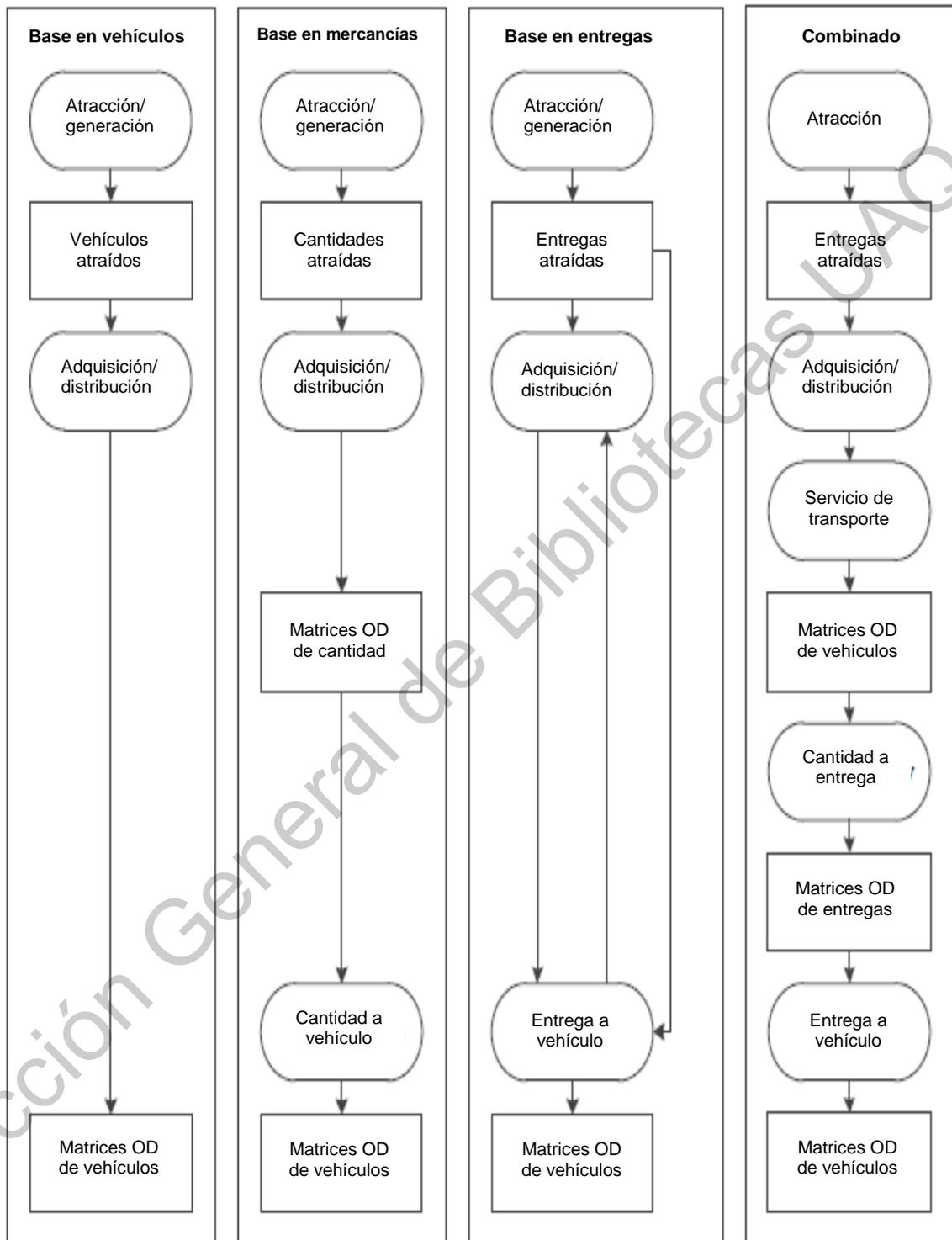


Figura 5.4. Estructura de los modelos con base en vehículos, mercancías y entregas.

Fuente: Comi *et al.* (2012)

5.8.2 Modelos de demanda basados en camiones

Los modelos de demanda con base en vehículos tienen como unidad de referencia los viajes de los vehículos de carga (camiones/vehículos comerciales). La secuencia explicativa sigue la estructura base establecida por Comi *et al.* (2012), compuesta elementalmente por dos pasos: el primero permite estimar el número de vehículos de carga atraídos o generados por zonas individuales (para esto, los *modelos de generación de viajes de carga* son técnicas requeridas). El segundo proporciona la distribución espacial (matrices O-D de carga) de los flujos estimados anteriores a partir de los modelos gravitacionales. A veces, los modelos se especifican y calibran para diferentes tipos de vehículos (por ejemplo, vehículos livianos y vehículos pesados). Todos estos modelos son específicos para el área donde se han calibrado y, por consecuencia, han demostrado serias deficiencias en la transferencia a otros contextos urbanos (Comi *et al.* 2012).

5.8.2.1 Modelos de demanda basados en entregas y mercancías.

El enfoque de entrega se centra en la relación movimientos/entregas (entregas y recogidas); el uso de la entrega como unidad de referencia permite tener un enlace directo entre los generadores y los operadores de transporte, a través del uso de la misma *unidad de referencia* (Comi *et al.* 2012).

De manera complementaria, los modelos basados en mercancías consideran como unidad de referencia la cantidad de mercancía movida, cuantificada ya sea por unidad de volumen (m^3) o por unidad de peso (Ton). Se trata de un enfoque extensamente usado por los planificadores logísticos en la estimación de la generación de carga (GC).

5.8.3 Generación de viajes de carga

Una cuestión clave debe mencionarse en este punto: hacer distinción entre los conceptos logísticos de generación de carga (GC) y la generación de viajes de

carga (GVC) (también denominados como métricas de carga). Por un lado, la generación de carga se refiere a la cantidad de carga demandada (modelo basado en mercancías) por un agente receptor en unidades de toneladas o volumen; por el otro, la generación de viajes de carga hace referencia al número de viajes de carga requeridos para transportar el volumen de mercancía producidos por la generación de carga (modelo basado en vehículos o entregas). De acuerdo con la nomenclatura de planificación del transporte (Ortuzar y Willumsen, 2011 y Holguín-Verás *et al.* 2017), el GC y el GVC pueden ser descompuestos en procesos de atracción y producción.

En consecuencia, la generación de viajes de carga (GVC) –métrica a explorar en esta investigación– se segmenta en: atracción de viajes de carga (AVC) y producción de viajes de carga (PVC). En términos de viajes, ambos procesos generan dos: uno de entrada y uno de salida, mismos que pueden ser observados en la Figura 5.5.

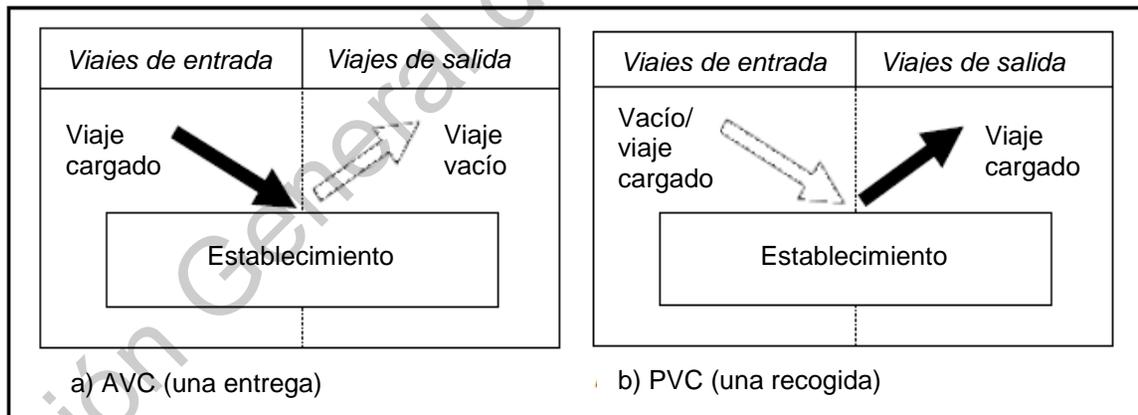


Figura 5.5. GVC a nivel de establecimiento.

Fuente: Sánchez-Díaz *et al.* (2016).

Con base en la Figura 5.5, una solicitud de entrega genera un viaje cargado antes de ingresar al establecimiento y uno vacío una vez que la mercancía ha sido suministrada; y una petición de recolección genera un viaje vacío antes de entrar al

establecimiento y uno cargado una vez concluido los trabajos de recogida. Aunque se puede dar la ocasión donde un viaje integre las dos actividades anteriores, es decir, una recogida y una entrega en una sola parada (Sánchez-Díaz *et al.*, 2016). Por consiguiente, cada entrega y recogida de mercancías generada por un establecimiento comercial en un lapso de tiempo dado debe ser multiplicado por dos para obtener el número respectivo de viajes atraídos y producidos (Lawson *et al.*, 2012). Así, la generación de viajes de carga (GVC) se compone por la suma de estos viajes.

$$GVC = 2 * \left(\sum entregas + \sum recogida \right) \quad (5.1)$$

Donde:

GVC = Generación de viajes de carga.

5.8.3.1 Atracción de viajes de carga (AVC)

Como una manifestación de las necesidades de consumo de una sociedad, la atracción de viajes de carga (AVC) se entiende como el número de viajes que llegan a los establecimientos comerciales para transportar AC (atracción de carga) (Holguín-Veras *et al.*, 2017). Esta métrica puede ser capturada a través de trabajos de campo como lo son: las encuestas de flujos de carga a nivel establecimiento y las técnicas observacionales (Allen y Browne, 2008).

5.8.3.2 Producción de viajes de carga (PVC)

La producción de viajes de carga (PVC) se refiere a los flujos de carga que parten de un establecimiento comercial (el agente remitente de la cadena de

suministros) para realizar actividades en otras locaciones (Holguín-Veras *et al.*, 2017). Del mismo modo que la atracción de viajes de carga, las encuestas a nivel establecimiento son una herramienta útil para obtener información referente a la producción de viajes de carga.

Se podría pensar, y que es lógicamente aceptable, que la producción de viajes solo se manifiesta en establecimientos de mediano a gran tamaño. No obstante, esto no es forzosamente del todo cierto, pues empresas tipo “micro”, por ejemplo, las tortillerías o pastelerías, contribuyen en la creación de flujos de carga (González, 2019), aunque, su logística de distribución difiere considerablemente con el de los comercios grandes en varios aspectos, principalmente en el tipo de vehículo usado (camionetas y motocicletas) y la cantidad de carga transportada (menos de una tonelada).

5.8.3.3 Variables representativas en la estimación de GVC

De acuerdo con la literatura consultada (Brogan, 1980; Barlett y Newton, 1982; Iding *et al.*, 2001; Novak *et al.*, 2011; Holguín-Veras *et al.*, 2012; Lawson *et al.*, 2012; Holguín-Veras *et al.*, 2014; Sánchez-Díaz *et al.*, 2016 y Holguín-Veras *et al.*, 2017), el número total de empleados tiene un gran impacto en la estimación del GVC, en virtud de que es un componente fundamental en los procesos económicos de los establecimientos comerciales; por tanto, bajo condiciones competitivas, cuanto mayor es el empleo, mayor es la producción (Holguín-Veras *et al.*, 2014). Sin embargo, otras variables que hacen alusión al tamaño de los establecimientos han demostrado también ser representativas en la predicción del GVC, por ejemplo, el área total del establecimiento (Barlett y Newton, 1982; Iding *et al.*, 2001; Holguín-Veras *et al.*, 2017 y Kelli *et al.*, 2017) y el número total de ventas (Ortuzar y Willumsen, 2011). El uso de estas variables es objeto de análisis dentro de esta investigación, ya que se trata de dilucidar si pueden contribuir al estudio del transporte de carga en contextos económicos, estadísticos y urbanos de ciudades de México, en comparación con estudios en otros países.

5.8.4 Modelos econométricos

Con fundamento en un análisis estadístico univariado, Holguín-Veras *et al.* (2012, 2014 y 2017) expresaron la generación de viajes de carga (GVC), así como sus métricas derivadas, como varias funciones estadísticas del número total de empleos. Estos modelos econométricos, denominados así por su variable independiente de naturaleza económica, demostraron ser estadísticamente significativos y conceptualmente válidos. Si bien el número de empleos es la variable de referencia en estos modelos, otras variables de la misma índole pueden ser aplicadas (por ejemplo, el área total del establecimiento), siempre y cuando la forma funcional sea la misma (Holguín-Verás *et al.*, 2012). Los modelos econométricos se dividen en dos grandes familias: los modelos lineales y los modelos no lineales.

5.8.4.1 Modelos lineales

Estos tipos de modelos, como su nombre indica, presentan un comportamiento lineal a causa de la fuerza de relación entre dos variables cuantitativas, en este caso particular, una métrica derivada del GVC y el número total de empleos. Como consecuencia de los diferentes patrones comerciales asociados a los establecimientos, los modelos lineales se dividen en cuatro tipos (Holguín-Verás *et al.*, 2012, 2014 y 2017):

5.8.4.1.1 Modelos lineales Tipo C-ER

Son modelos lineales cuya forma funcional se compone por una constante (*Constant*) y por una tasa de empleo (*Employment Rate*). Matemáticamente, su ecuación es la siguiente:

$$f_i = \alpha + \beta E_i \quad (5.2)$$

Donde:

f_i = métrica GVC para el establecimiento i .

E_i = empleos totales en el establecimiento i .

β = tasa constante de GVC por empleado.

α = coeficiente constante.

5.8.4.1.2 Modelos lineales Tipo ER

Este tipo de modelo no posee en su estructura matemática de un término constante (C), por lo que el GVC depende únicamente de la tasa de empleo (ER). Por tanto, su expresión matemática es la que sigue:

$$f_i = \beta E_i \quad (5.3)$$

Donde:

f_i = métrica GVC para el establecimiento i .

E_i = empleos totales en el establecimiento i .

β = tasa constante de GVC por empleado.

5.8.4.1.3 Modelos lineales Tipo C

La forma funcional de este tipo de modelo se compone únicamente de un término constante (C), es decir, la métrica GVC no depende de los empleos del establecimiento. Su expresión matemática es la siguiente:

$$f_i = \alpha \quad (5.4)$$

Donde:

f_i = métrica GVC para el establecimiento i .

α = coeficiente constante.

5.8.4.1.4 Modelos lineales tipo C-MV

El GVC en este tipo de modelo depende no solo de la tasa de empleos (ER), sino de otras variables que también aluden al tamaño del negocio (por ejemplo, el área total del establecimiento o el número de ventas); por tanto, su forma funcional se compone de un término constante (C) y de múltiples coeficientes de gradiente (MV). En términos matemáticos, su ecuación es la siguiente:

$$f_i = \alpha + \beta_1 E_{1i} + \beta_2 E_{2i} + \dots + \beta_n E_{ni} \quad (5.5)$$

Donde:

f_i = métrica GVC para el establecimiento i .

$E_{1i}, E_{2i}, \dots, E_{ni}$ = medidas de tamaño del establecimiento i .

$\beta_{2i}, \beta_{2i}, \dots, \beta_{ni}$ = tasas constantes de GVC por medida de tamaño de establecimiento.

α = coeficiente constante.

Cabe señalar que esta forma funcional no forma parte de la tipología de modelos econométricos propuesta por Holguín-Veras *et al.* (2012, 2014 y 2017), ya que, como se mencionó anteriormente, estos se construyeron utilizando el empleo

como única variable. Sin embargo, en la presente investigación, el GVC también será modelado considerando múltiples variables explicativas (modelo multivariado).

5.8.4.2 Modelos no lineales

Entre la amplia gama de modelos no lineales potenciales, Holguín-Veras *et al.* (2017) recomiendan usar la función de poder debido a su flexibilidad para acomodar diversos patrones de información. Además, la función genera buenas aproximaciones sobre el comportamiento de las actividades comerciales (envíos y recolección) de los establecimientos. El planteamiento teórico lo presenta el mismo Holguín-Veras *et al.* (2017:23), diciendo que: “este tipo de modelo se utiliza para situaciones en las que las actividades de carga y servicios en cuestión aumenta como una función de poder del empleo del establecimiento”. Matemáticamente, la función de poder es expresada por la Ecuación 5.6:

$$f_i = \emptyset E_i^\gamma \quad (5.6)$$

Donde:

f_i = métrica GVC para el establecimiento i ,

E_i = empleos en el establecimiento i .

\emptyset = coeficiente de escala simple de la tasa de empleos E .

γ = coeficiente de poder de la tasa de empleos E .

5.8.5 Procedimientos de agregación

Los modelos anteriormente descritos solo permiten estimar la generación de viajes de carga a nivel establecimiento, es decir, de una naturaleza *desagregada*. En la mayoría de los casos prácticos (por ejemplo, espacios de estacionamiento

para la carga y descarga de mercancías), el GVC debe ser estimado para un conglomerado de usuarios, tales como aquellos que se encuentran dentro de un corredor vial, una manzana, un ZAT (zona de análisis de tráfico), un AGEB (Área Geoestadística Básica) o un polígono en cuestión. Para llevar a cabo esta tarea, se requieren los procedimientos de agregación (Holguín-Verás *et al.*, 2017). Estos convierten las estimaciones desagregadas a nivel establecimiento en valores agregados de GVC. Traducidos de forma matemática, los procedimientos de agregación pueden ser expresados con la siguiente ecuación:

$$F = \sum_{i=1}^n f_i \quad (5.7)$$

Donde:

F = GVC agregada.

f_i = métrica GVC de un establecimiento i .

Entonces, la generación de viajes de carga agregada, F , es igual a la suma de los valores f_i de los diferentes n establecimientos. En vista de que los procedimientos de agregación dependen de la forma funcional de los modelos econométricos, tres procesos pueden ser posibles. Estos se muestran en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Procedimiento de agregación por tipo de modelo lineal.

Tipo	Modelo Tipo	Forma funcional	Procedimiento de Agregación
C	El GVC es constante	$f_i = \alpha$	$F^C = \sum_{i=1}^n \alpha = n\alpha$
ER	El GVC depende de la tasa de empleos	$f_i = \beta E_i$	$F^{ER} = \sum_{i=1}^n \beta E_i = \beta \sum_{i=1}^n E_i = \beta E^*$
C-ER	El GVC depende de un término constante y de un término de empleo	$f_i = \alpha + \beta E_i$	$F^{C-ER} = (\alpha + \beta E_i) = n\alpha + \beta \sum_{i=1}^n E_i = n\alpha + \beta E^*$

E^* = empleos totales de los n establecimientos.

Fuente: Holguín–Verás *et al.* (2012, 2014 y 2017).

5.9 Herramientas de simulación de tráfico

La adopción de herramientas de simulación de tráfico ha sido particularmente útil en una gran variedad de contextos (desde fines científicos hasta prácticos) e históricamente aplicado para diferentes propósitos, tales como el diseño de nuevas instalaciones e infraestructuras viales, la prueba y evaluación de medidas de control de tráfico, o la predicción de condiciones de tráfico a corto plazo, entre otros (Ferrara, *et al.*, 2018). Desde un punto de vista de la planeación logística, Taniguchi *et al.* (2014) exponen que la simulación de tráfico es una herramienta útil para diseñar y evaluar el transporte de la carga en medio urbano y los sistemas logísticos, por ejemplo, el diseño de instalaciones de carga y descarga.

5.9.1 Niveles de detalle de la simulación de tráfico

El dinamismo y la interacción vehicular entre los diferentes sistemas de transporte (o un sistema en particular) en una red de tráfico pueden ser simulados o emulados bajo diferentes esquemas de modelación de acuerdo a los propósitos del estudio: los modelos macroscópicos, microscópicos y mesoscópicos.

La simulación macroscópica representa el sistema de tráfico a un nivel de detalle agregado. En otras palabras, los flujos de tráfico son visto como una corriente única, similar al movimiento de los fluidos o gases desde el punto de vista hidrodinámico (Barceló, *et al.*, 2010 y Ferrara, *et al.*, 2018). Dicho estado se modela a partir de variables agregadas, tales como la densidad, el volumen y la velocidad media. Este tipo de simulación puede emular redes viales de gran escala con una carga computacional aceptable; sin embargo, no pueden representar ciertos fenómenos de tráfico asociados al comportamiento individual de los conductores, por ejemplo, el cambio de carril o la detención de un vehículo de carga para realizar maniobras.

La simulación microscópica describe de manera detallada la dinámica de los vehículos y sus interacciones, es decir, el sistema de tráfico es representado a un nivel desagregado (Ferrara *et al.*, 2018). Este comportamiento dinámico se modela a través de un gran número de variables desagregadas (por ejemplo, la aceleración, la desaceleración, los tiempos de reacción, la agresividad de los conductores, entre otros) que aluden a las acciones de cada partícula (vehículos) que compone el flujo vehicular (Barceló *et al.*, 2010). Estas variables deben ser calibradas con mucho cuidado para lograr un alto nivel de detalle y exactitud en la representación de las características físicas y dinámicas de los flujos de tráfico. Estos tipos de modelos son muy detallados y, por consecuencia, pueden ser computacionalmente intensivos para representar grandes redes de carreteras, pero efectivos para redes acotadas (Ferrara *et al.*, 2018).

Finalmente, la simulación mesoscópica representa la dinámica de tráfico de manera simplificada (Barceló *et al.*, 2010), es decir, a un nivel de detalle intermedio. De acuerdo con Ferrara *et al.* (2018), este nivel de agregación no distingue los vehículos individuales, pero representa la heterogeneidad de las elecciones de los conductores en términos probabilísticos.

5.9.2 Modelos de simulación

La mayoría de los programas de cómputo que simulan al nivel de detalle microscópico poseen en su estructura matemática un conjunto de modelos sofisticados que emulan diferentes aspectos de la dinámica individual vehicular, siendo los más representativos el de seguimiento vehicular y el de cambio de carril y, en el contexto de la presente investigación, el de estacionamiento.

5.9.2.1 Modelos de seguimiento vehicular.

Los modelos de seguimiento vehicular representan básicamente la dinámica de posición y velocidad de un vehículo en respuesta al tráfico circundante. Dicho de otra manera, es la interacción longitudinal entre vehículos en una red vial. En estos se asume que la dinámica de velocidad de un vehículo en un flujo de tráfico dependen fuertemente de la posición espacial (distancia y velocidad) del vehículo precedente (ver Figura 5.6), también llamado como vehículo líder. Sin embargo, en modelos más sofisticados, tal comportamiento ya no depende de un solo vehículo, sino de toda una flota vehicular precedente (Ferrara *et al.*, 2018).

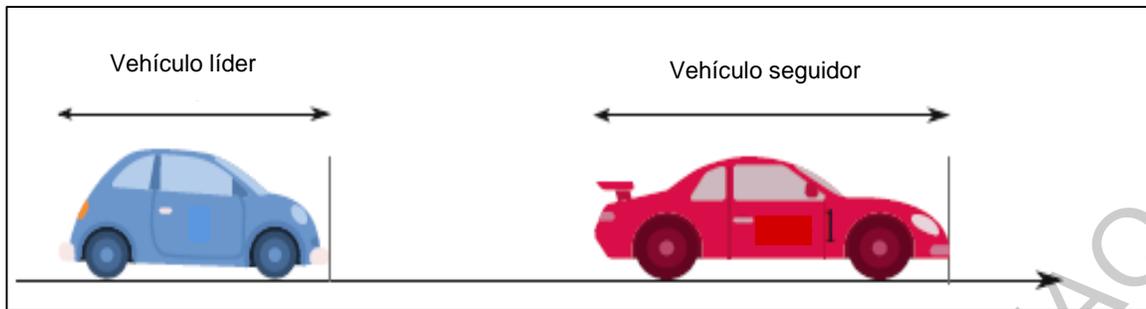


Figura 5.6. Representación gráfica de los modelos de seguimiento vehicular.

Fuente: Ferrara *et al.* (2018).

Los modelos de seguimiento vehicular se rigen por el principio de: *estímulo-respuesta*. En palabras de Barceló y Casas (2015), la respuesta es la reacción de un conductor ante el movimiento del vehículo que le precede inmediatamente en el flujo de tránsito, en la cual esta siempre es acelerar o desacelerar en proporción a la magnitud del estímulo en el tiempo t y se inicia después de un tiempo T , el tiempo de reacción del vehículo seguidor.

$$Respuesta(t + T) = Sensibilidad * Estimulo(t) \quad (5.8)$$

Donde:

t = tiempo en el que ocurre el estímulo;

T = tiempo de reacción del vehículo seguidor.

5.9.2.2 Modelo de cambio de carril

Los modelos de cambio de carril describen la interacción lateral de los conductores en una red vial (véase Figura 5.7). Este comportamiento es originado

por diversos factores directos o indirectos asociados a las condiciones de tráfico. Casos evidentes son: rebasar un vehículo, incorporarse a un paso superior o vías de acceso a autopistas, esquivar un objeto en la vialidad, incluso sobrepasar un vehículo estacionado en doble fila. El cambio de carril de un conductor implica una alteración en los parámetros operacionales de los vehículos involucrados tanto en el carril inicial como el carril objetivo, dando como resultado un nuevo comportamiento longitudinal en los flujos de tránsito (modelos de seguimiento vehicular). Ferrara *et al.* (2018) dividen esquemáticamente la teoría subyacente de la decisión de cambio de carril en tres pasos: la decisión sobre el cambio de carril, la selección del carril deseado y la decisión de aceptación de la brecha.

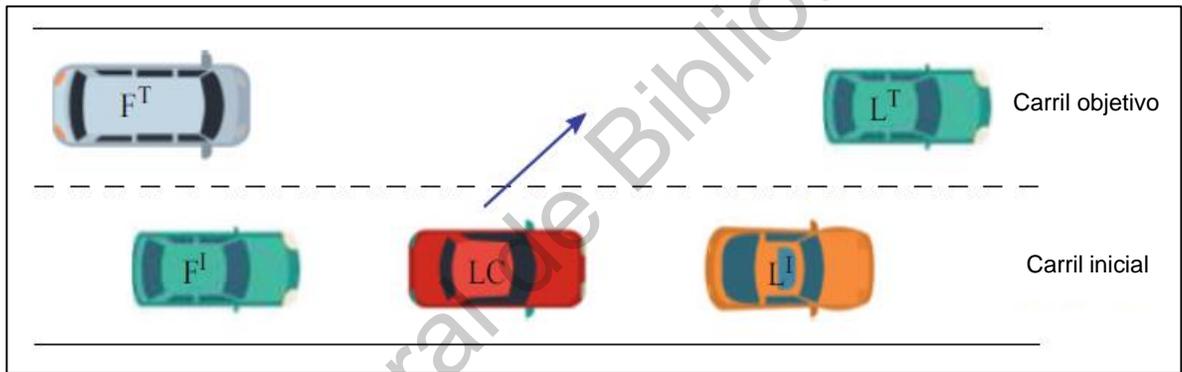


Figura 5.7. Representación gráfica de los modelos de cambio de carril.

Fuente: Ferrara *et al.* (2018).

5.9.2.3 Modelos de estacionamiento

Estos modelos son utilizados para representar el comportamiento de estacionamiento de los vehículos en un sistema de tráfico. Tomando como base lo expuesto por Muñuzuri *et al.* (2002), los modelos de estacionamiento consisten en lo siguiente: cuando un vehículo se aproxima a un espacio de estacionamiento objetivo, su referencial es colocado, lo que hace que el vehículo cambie de carril y reduzca su velocidad hasta que se detenga delante de dicho espacio. Entonces, el

vehículo se extrae de la simulación después de un cierto tiempo (tiempo de maniobra del estacionamiento).

5.9.3 Calibración de los modelos de simulación

La calibración puede definirse como el proceso que moldea los valores de ciertas variables de un modelo matemático con respecto a datos de campo en un entorno particular. El objetivo base de las técnicas de calibración es encontrar valores lo suficientemente apegados a la realidad para producir un modelo válido (Barceló 2010). Ahora, en términos de simulación de tráfico, la calibración es el proceso comparativo y de ajuste entre un valor real que corresponda a un indicador de desempeño en el terreno, con un valor que se pueda realizar en la simulación (Ortiz, 2006, citado por Ramírez, 2012).

Técnicamente todo modelo, independientemente del tipo y de los propósitos de estudio, y si las salidas preliminares del modelo (*outputs*) lo ameritan, debe ser calibrado, ya que esto dará pie a una representación más real de un sistema particular.

5.9.4 Validación de los modelos de simulación

La validación de los modelos de simulación es un proceso iterativo que consiste en calibrar los parámetros del modelo, comparar el modelo con el comportamiento real del sistema, y utilizar las discrepancias entre los dos y la información obtenida para mejorar el modelo hasta que la precisión se considere aceptable (Barceló *et al.*, 2010). Por lo general, estas discrepancias son evaluadas por estadísticas de bondad de ajuste, las cuales manifiestan la magnitud del error entre el sistema real y el simulado. Las medidas de bondad de ajuste habitualmente usadas en los modelos de simulación se resumen en la Tabla 5.2. Entonces, la validación se ocupa para determinar si el modelo de simulación es una representación precisa del sistema de estudio (Barceló y Casas, 2010).

Tabla 5.2. Estadísticas de validación en los escenarios de simulación.

Estadística	Conceptualización	Formulación
Error cuadrático medio (RMS)	Cuantifica el error general (Barceló, 2010).	$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$
Coefficiente de correlación <i>r</i> o <i>rsq</i>	Mide la fuerza de relación lineal entre las mediciones de tráfico simuladas y las reales (Hourdakis <i>et al.</i> , 2003).	$rsq = \frac{1}{1 - n} \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sigma_x \sigma_y}$
Estadístico Geoffrey E. Havers (GEH)	Calcula el error índice de cada estación de conteo (Barceló, 2010).	$GEH = \sqrt{\frac{2(x_i - y_i)^2}{x_i + y_i}}$
Coefficiente de desigualdad de Theil (U)	Proporciona una medida normalizada del error relativo que suaviza el impacto de errores grandes (Barceló, 2010).	$U = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2}}$

x_i es el valor de medición de tráfico simulado en el momento i ; y_i es el valor de medición del tráfico real en el momento i ; σ_x es la desviación estándar de los valores de medición de tráfico simulados y σ_y es la desviación estándar de los valores de medición de tráfico reales.

Fuente: Elaboración propia.

5.9.5 Software de simulación Aimsun

En la actualidad, existe una amplia gama de softwares de simulación y gestión de tráfico, como lo son AIMSUN, VISSIN, MITSMLab, DRACULA, TransModeler, entre otros. Aimsun es un software de simulación que se ha convertido últimamente el centro de atención de los científicos, ingenieros y planificadores por sus características de modelado de demanda de viaje, funcionalidades macroscópicas y simulación híbrida mesoscópica-microscópica que

permiten representar el comportamiento del tráfico de una manera muy detallada (Ferrara *et al.*, 2018). Trabajos tales como los realizados por Ramírez (2012), Dorado (2014), Barceló y Casas (2015), Aditjandra *et al.* (2016) y Alho *et al.* (2017) dan el sustento suficiente a este hecho.

Entre las ventajas que ofrece Aimsun se encuentran las siguientes: la posibilidad de simular los flujos de tráfico en sus tres niveles de detalle (macroscópico, microscópico y mesoscópicos); la capacidad de modelar varios sistemas de transporte y fenómenos viales; la importación y exportación de archivos para el diseño asistido por computadora (CAD) y de sistemas de información geográfica (GIS), así como imágenes tipo *raster*, para la creación y visualización de sistemas viales (TSS, 2014); la importación de extensas redes viales mediante *OpenStreetMap*; la incorporación de un módulo 3D que permite visualizar de forma más real las condiciones del tráfico (Ramírez, 2012); además de poseer una interfaz bastante amigable y ágil al usuario para la creación de escenarios de simulación.

A pesar de existir el inconveniente de no poder modelar por defecto el sistema de transporte urbano de carga, Aimsun tiene las herramientas necesarias que posibilitan emularlo a un nivel de detalle aceptable, mismas que serán descritas minuciosamente en el capítulo de metodología.

6. METODOLOGÍA

En este capítulo se detalla de manera clara, precisa y concisa cada una de las tareas realizadas que dieron fe al cumplimiento de los objetivos de la presente investigación y, por consecuencia, a la corroboración de la hipótesis general planteada.

La metodología propuesta se descompone en seis pasos claves: primero, la selección del sistema de clasificación de unidades económicas a utilizar en el estudio de la atracción de viajes de carga; segundo, la delimitación del caso de estudio donde se planea implementar el sistema de bahías carga/descarga; tercero, la selección de las técnicas de recolección de datos *ad-hoc*; cuarto, la estimación de la demanda de estacionamiento de carga por medio de modelos matemáticos; quinto, la determinación de la configuración espacial (número, localización y tamaño) de las bahías carga/descarga; y sexto, el empleo de herramientas de microsimulación de tráfico como evaluación *ex-ante* del sistema de bahías resultante. El diagrama metodológico es ilustrado en la Figura 6.1.

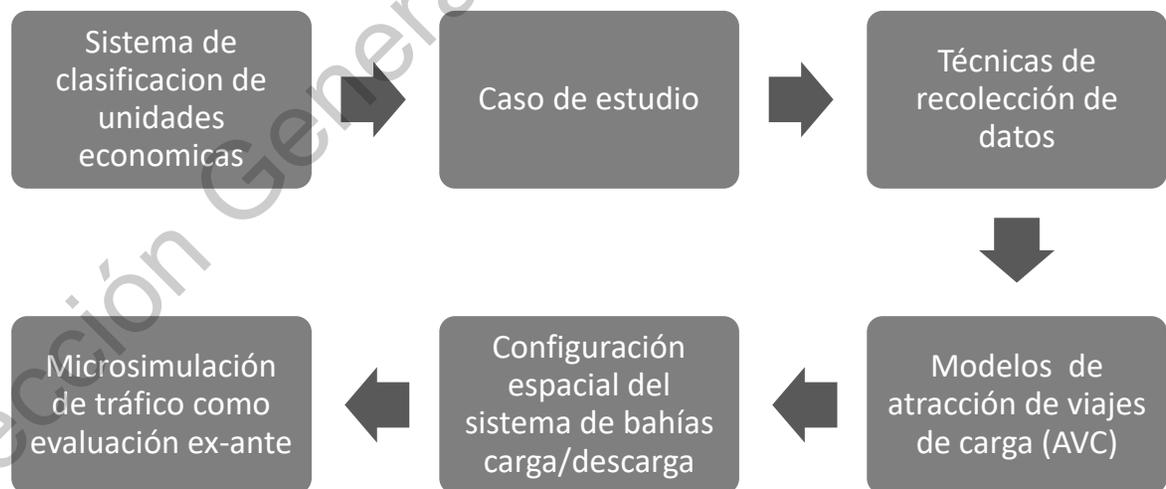


Figura 6.1. Diagrama metodológico.

Fuente: Elaboración propia.

Varios términos en materia de logística urbana e ingeniería de tráfico serán utilizados de manera intercambiable a lo largo de todo el documento. Algunos ejemplos son: distribución urbana de mercancías y esquema de entrega de carga, demanda de carga y demanda de estacionamiento de carga, movimientos de mercancías y flujos de carga urbana, flujo de tráfico y movilidad, entre otros.

6.1 Sistema de clasificación de unidades económicas

Los sistemas de clasificación tienen como objeto congregar las unidades económicas –termino técnico de las ciencias económicas que hace alusión a los establecimientos comerciales– en grupos internamente homogéneos en función de patrones económicos similares (Holguín-Veras *et al.*, 2012 y 2014). Holguín-Veras *et al.* (2012 y 2014) apuntan que existen dos tipos de clasificación de unidades económicas: uno basado en la economía, y otro basado en el uso de suelo. En vista de que el sistema de clasificación del uso de suelo de México (uso de suelo y vegetación de *INEGI*) no considera en su estructura los usos de suelo con fines económicos (por ejemplo, comercios y servicios), el sistema basado en la economía fue seleccionado como medio clasificador en la presente investigación.

En el caso mexicano, el sistema de clasificación con base en la economía se rige directamente por el *Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN)*; en el cual, las actividades con patrones económicos similares son jerarquizadas en cinco niveles de agregación: sector, subsector, rama, subrama y clase de actividad económica, siendo el *sector* el nivel más general (2-dígitos SCIAN), y la clase de actividad el escalón más desagregado (6-dígitos SCIAN) (*INEGI*, 2013).

6.1.1 Sector económico de análisis

El sector económico de *comercio al por menor*, compuesto principalmente por establecimientos comerciales con fines mercantiles ligados a la compra y venta de artículos de primera necesidad, se caracteriza, entre otras cosas, por producir la

presencia de grandes volúmenes de vehículos de carga en las redes viales urbanas, representando aproximadamente el 35% del tráfico total de carga generado (dato internacional revelado por Holguín-Veras *et al.* (2018)). A pesar de que el sector económico de *comercio al por mayor* desempeña igualmente un papel importante en la generación de movimientos de mercancías (constituyendo aproximadamente el 15% del tráfico total de carga generado), su logística de abastecimiento, en la mayoría de los casos, se consolidada a través de camiones pesados de largo itinerario, cuyo derecho de paso y horarios de operación son regulados por instituciones públicas (Betanzo, 2017), lo que lleva a impactar relativamente poco a los flujos vehiculares en áreas centrales y, por ende, a demandar poco estacionamiento público⁵, especialmente en horarios de máxima afluencia. Por estas razones, los establecimientos minoristas en áreas congestionadas fueron seleccionados como objeto de estudio en la determinación de la demanda de estacionamiento de carga.

La base de datos de los establecimientos pertenecientes al sector económico del comercio al por menor fue provista por el *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE)*⁶. El DENUE es una plataforma en línea desarrollada por el INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) que ofrece los datos de identificación, ubicación, actividad económica y tamaño –cuantificado en términos de número de empleados– de más de 5 millones de unidades económicas activas de tipo comercial, industrial y de servicios en el territorio nacional mexicano (INEGI, 2015).

⁵ Además del hecho de que la mayoría de los establecimientos mayorista cuentan en su haber con cajones de estacionamiento para las operaciones de entrega de mercancías.

⁶ <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/>

6.2 Caso de estudio

La Colonia Centro Histórico de la Ciudad de Querétaro, delimitada por las Avenidas Tecnológico, Ignacio Zaragoza, Circunvalación y Universidad, con un área de 3.05 km² y un perímetro de 8.05 km, fue particularmente seleccionada como caso de estudio (ver Figura 6.2). Aunque existe evidencia contundente en este area central sobre la problemática que enfrenta el sistema de transporte urbano de carga referente a la búsqueda de espacios de estacionamiento para la realización de sus operaciones de entrega (ver Silva, 2016 y Betanzo, 2017), los factores subyacentes en su manifestación deben ser propiamente clarificados, siendo estos: la alta densidad comercial y el amplio rango de uso de suelo.

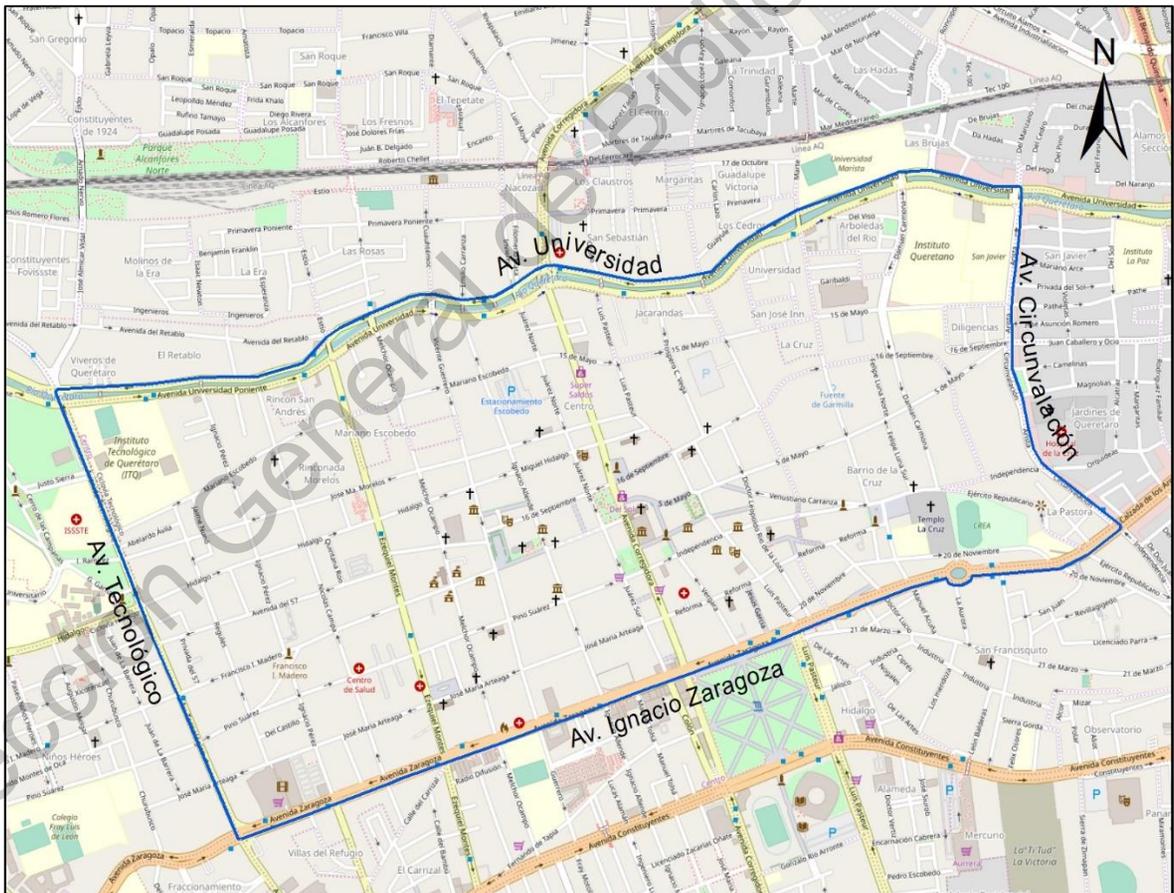


Figura 6.2. Delimitación del caso de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Con base en la información geográfica proporcionada por el DENUE, junto con el auxilio del software SIG (Sistema de Información Geográfica) ArcMap ver 10.3, la dispersión espacial de los establecimientos minoristas pertenecientes al caso de estudio pudo ser proyectada (véase la Figura 6.3).

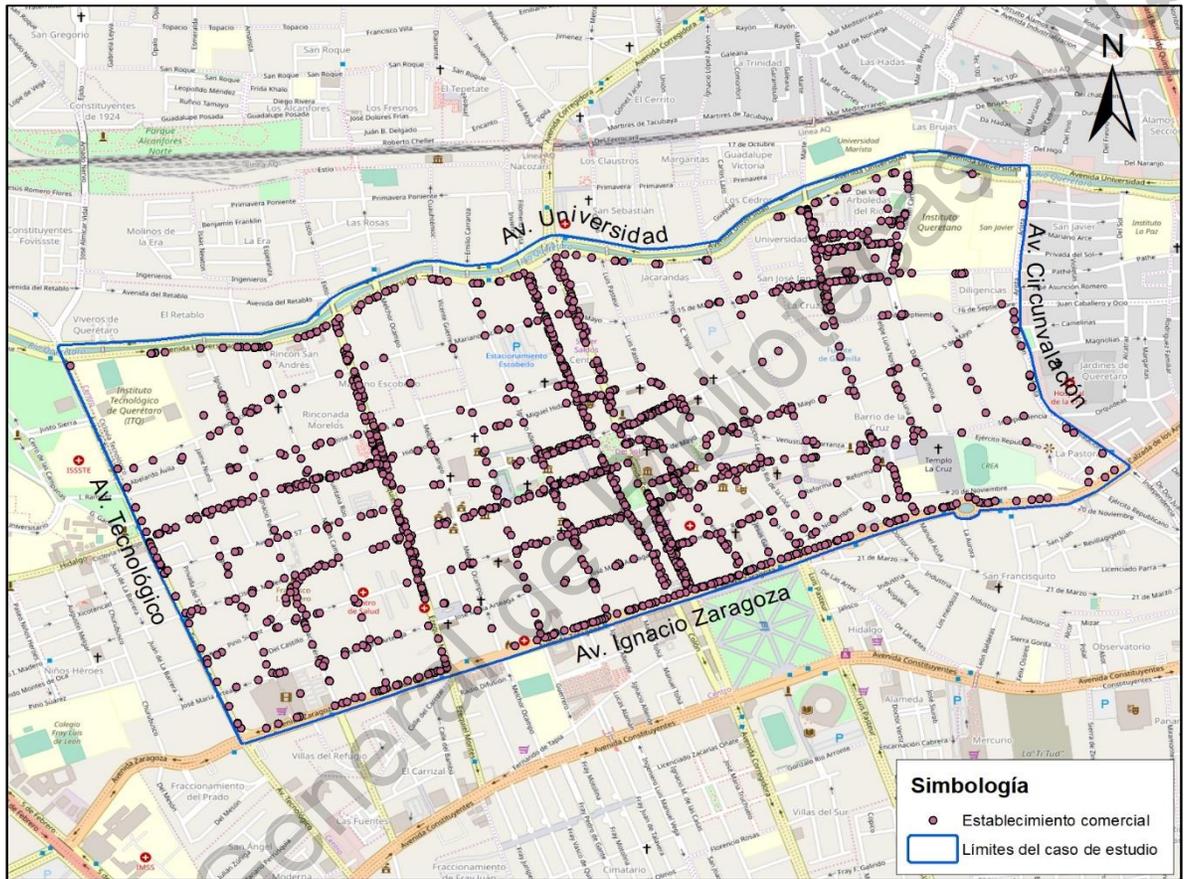


Figura 6.3. Dispersión espacial de los establecimientos minoristas en el caso de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la Figura 6.3, se evidencia el alto dinamismo comercial del sector económico del comercio al por menor dentro de los confines del caso de estudio, con un total de 1,928 establecimientos minoristas, lo cual supone una fuerte atracción de grandes volúmenes de tráfico de carga urbana y, consecuentemente, en una alta demanda de estacionamiento en la vía pública. Esta alta densidad comercial se debe principalmente al hecho de que las unidades económicas tienden

a establecerse en áreas de alta influencia de interacción social, fácil accesibilidad y buena visibilidad, características propias de los núcleos urbanos (Hartgen *et al.*, 2014, citado por Sánchez-Díaz *et al.*, 2016).

Las clases de actividad de mayor influencia en el caso de estudio son: el comercio de ropa con un 14%, el comercio de abarrotes con un 6%, el comercio de calzado con un 4% y el comercio de artículos usados con un 4%; para un número de establecimientos de 273, 111, 81 y 75, respectivamente. Las clases de actividad restantes presentan proporciones más pequeñas, con un incremento inicial del 3%, seguido de un constante decrecimiento de un 1%, tal como se muestra en la Figura 6.4.

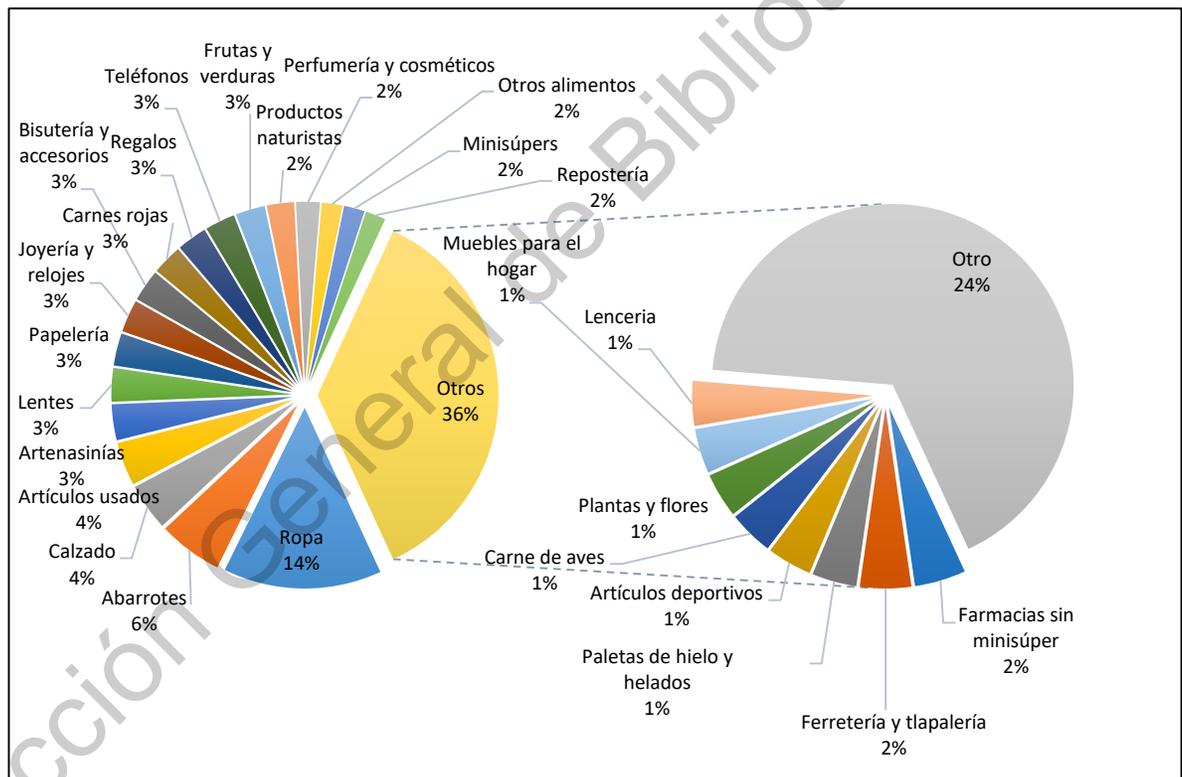


Figura 6.4. Composición de las clases de actividad en el caso de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

A pesar de no ser tan representativos en la generación de tráfico de carga urbana, por tener ciclos de reabastecimiento más esporádicos, las clases de

actividad relacionadas a la compra y venta de productos no perecederos –tales como ropa y calzado– fueron consideradas en el proceso de estimación de la atracción de viajes de carga. Esto con el fin de llevar a cabo un análisis más integral a nivel sector económico de comercio al por menor en el caso de estudio.

Como efecto colateral de la amplia gama de usos de suelo (por ejemplo, instituciones gubernamentales), el caso de estudio atrae un gran número de viajes por motivo de trabajo (ver los trabajos de investigación realizados por Bueno, 2012 y Prieto, 2015). Esto, en combinación con los flujos de carga atraídos por el sector comercio, deriva en una fuerte demanda de infraestructura de estacionamiento, la cual está particularmente restringida por las características urbanas del caso de estudio. En este sentido, se considera como un área sensible en lo que respecta a la gestión de espacios de estacionamiento en la vía pública, especialmente aquellos dedicados a las tareas de carga y descarga de mercancías.

6.2.1 Zona de Análisis de Tráfico (ZAT)

Con la finalidad de cumplir con los objetivos de la presente investigación con el más alto nivel de detalle, fue necesario extraer una unidad geográfica llamada “zona de análisis de tráfico” (ZAT) del caso de estudio. En estudios relacionados con la distribución urbana de mercancías, el ZAT se delimita a partir de la distribución espacial de los establecimientos comerciales (Comi *et al.*, 2017 y Holguín-Veras *et al.*, 2017), los cuales pueden estar densamente agrupados a lo largo de un corredor, o en uno o en varias manzanas. Desde la perspectiva de las técnicas de simulación de tráfico, la fragmentación de un área geográfica extensa en unidades más pequeñas obliga a los vehículos de carga a realizar viajes simples a los puntos de entrega (inexistencia de matrices O-D de carga), ya que un modelo de viajes de paradas múltiples es poco probable que ocurra bajo tales condiciones zonales (Alho *et al.*, 2014). Habiendo acotado todo lo anterior, el corredor vial Miguel Hidalgo, delimitado por las Avenidas Tecnológico y Ezequiel Montes, fue seleccionado como ZAT (ver Figura 6.5).

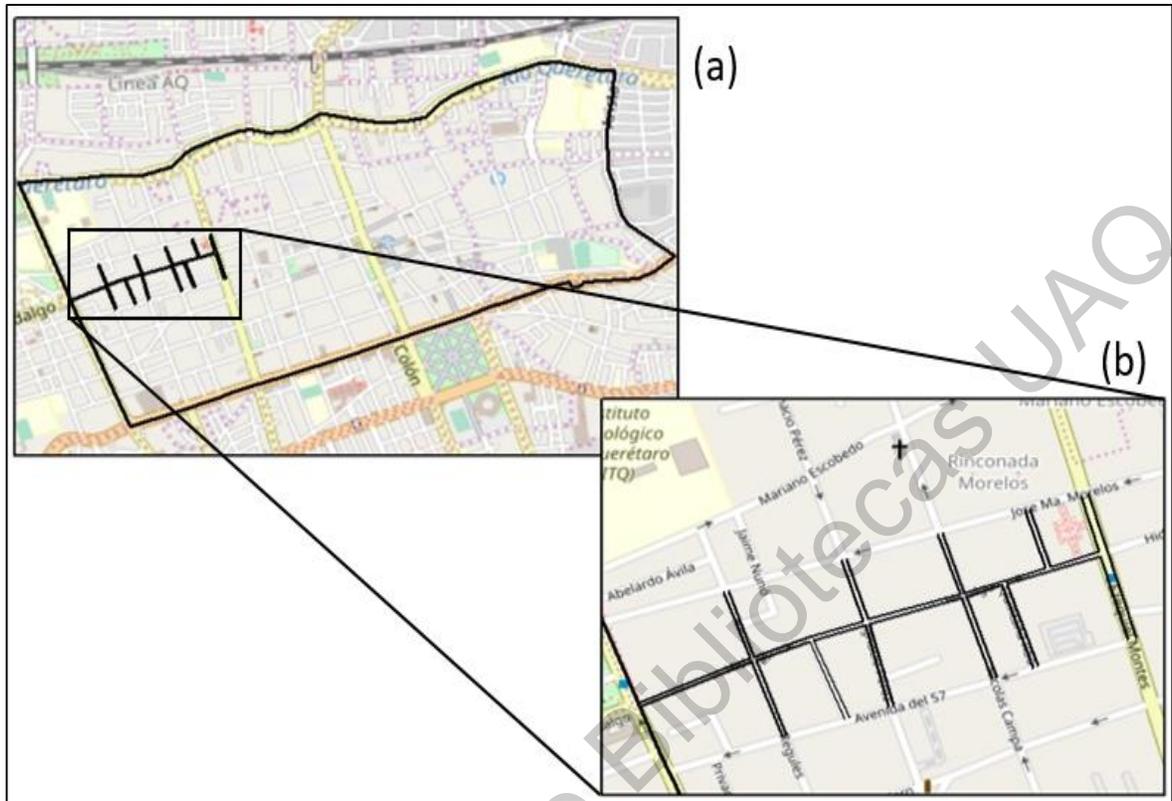


Figura 6.5. (a) caso de estudio; (b) zona de análisis de tráfico (ZAT).

Fuente: Elaboración propia.

La ZAT se caracteriza por lo siguiente: un conglomerado comercial compuesto por 132 establecimientos minoristas (INEGI, 2015); una longitud aproximada de 702 m; un ancho promedio de banqueta de 3.5 m; un carril de circulación con un ancho irregular que varía entre los 3.5 y 4 m; y dos carriles reservados para el estacionamiento público, donde uno está adaptado para estar fuera de la vía pública y el otro en la vía pública, ambos con un ancho promedio de 2.5 m. El estacionamiento fuera de carriles de circulación dispone de 16 espacios en la banqueta (*curb spaces*), con longitudes variadas que van desde los 10 m hasta los 30 m (sistema altamente heterogéneo). La suma de estas longitudes es de aproximadamente 263.5 m, donde 220.4 m se dividen heterogéneamente en 13 bahías carga/descarga, constituyendo aproximadamente el 83.64% de la longitud total de estacionamiento fuera de la vía y 29.33% del espacio público.

En este punto particular, un aspecto asociado a una configuración espacial inapropiada debe ser mencionado: como producto de la presencia del Mercado Hidalgo, una de las 13 bahías carga/descarga del ZAT—la segunda más extensa del sistema, con una longitud aproximada de 27 m— se ubica en el extremo izquierdo de la vía, la cual va en contrasentido de una de las consideraciones claves de diseño de áreas carga/descarga: *ubicarlas en el extremo derecho de la vialidad* (SEDATU, 2018). Sin duda, lo anterior se realizó con el fin de facilitar las tareas carga/descarga de los comerciantes pertenecientes al mercado. No obstante, esto no solo es inadecuado desde el punto de vista técnico, sino también desde la perspectiva operativa, ya que los comerciantes sacan provecho de tal beneficio al estacionar sus vehículos desde horas muy tempranas del día hasta horas muy tardías de la noche. Esto, sumado a los estacionamientos prolongados y periódicos de los vehículos privados, impide que los vehículos de carga urbanos ajenos al mercado puedan hacer uso de dicha bahía, tal como puede observarse en la Figura 6.6.



Figura 6.6. Vehículos privados usando la bahía carga/descarga del Mercado Hidalgo.

Fuente: Elaboración propia.

6.3 Técnicas de recolección de datos

Para llevar a cabo la modelación de la atracción de viajes de carga (AVC) y la evaluación ex-ante del sistema de bahías resultante de la metodología propuesta, diversos datos e indicadores *ad-hoc* deben ser recolectados dentro del caso de estudio. Para satisfacer esta necesidad, dos técnicas de campo directos fueron conducidos (Allen y Browne, 2008 y Betanzo, 2015b): en una primera etapa, encuestas a establecimientos comerciales; en una segunda etapa, encuestas de observación de vehículos de carga.

6.3.1 Encuestas a establecimientos comerciales

Entre la amplia variedad de técnicas de recolección de datos a nuestra disposición en materia de logística urbana⁷, el método de *encuestas a establecimientos* ha sido históricamente utilizado por los planificadores e ingenieros de tráfico debido a su factibilidad de recabar información a gran escala sobre las actividades de carga urbana sin comprometer directamente la eficiencia logística de distribución de los vehículos de carga. Esta encuesta es comúnmente aplicada a la entidad propietaria o controladora del establecimiento comercial, ya que es el individuo que tiene la mayor interacción *face-to-face* con los transportistas durante las operaciones de entrega de carga y, por ende, es aquel que tiene el mayor discernimiento sobre tales actividades. No obstante, tiene la desventaja de que el personal de mostrador no siempre tiene la información apropiada sobre las condiciones de llegada según el tipo de vehículo, problemática de estacionamiento o acarreo de las mercancías hasta su establecimiento.

El cuestionario utilizado en las encuestas a establecimientos comerciales se desarrolló basándose en los cuestionarios prediseñados por Barlett y Newton

⁷ Para una mayor comprensión sobre los alcances y límites de los diferentes métodos de recogida de datos que pueden ser utilizados en estudios relacionados con los sistemas logísticos urbanos se recomienda consultar el documento "Review of Survey Techniques Used in Urban Freight Studies" de Allen y Browne (2008).

(1982), Holguín-Veras *et al.* (2012), Betanzo (2015b), Silva (2016) y Holguín-Veras *et al.* (2017); y en las pautas de diseño proporcionadas tanto por el *General Interview Techniques* (Guenzel *et al.*, 1983) como por el *Survey Methods for Transport Planning* (Richardson *et al.*, 1995). La estructura lógica del cuestionario fue adaptada de acuerdo al grado de importancia de la información a conseguir y dividida en cuatro secciones claves: i) información preliminar; ii) datos generales del establecimiento; iii) preguntas al establecimiento; y iv) observación en el exterior del establecimiento. Un extracto de cada sección del cuestionario es mostrado en la Tabla 6.1

Tabla 6.1. Extracto de cada sección del cuestionario a establecimientos comerciales.

Sección del cuestionario	Item
Información preliminar	Nombre del encuestador
	Fecha de la encuesta
	Clave del formato
Datos generales del establecimiento	Nombre
	Colonia
	Calle y No.
	Horario de servicio
	Clase de actividad económica
Preguntas a la entidad propietaria	Número de camiones que llegan por día
	Horario de la mayor concentración de camiones de carga
	Número de empleados
	Área del establecimiento
	Número de clientes por día
	Tiempo promedio de las actividades del proveedor
	¿Está de acuerdo con que se implemente espacios de estacionamientos carga/descarga sobre esta calle?
Características del entorno construido	Tipo de vialidad donde se ubica el establecimiento
	Número de cajones asignados para los clientes
	Número de camiones descargando durante la encuesta
	Número de camiones estacionados durante la encuesta

Fuente: Elaboración propia con base en Betanzo (2015b)

Con el fin de evaluar y optimizar los aspectos de diseño físicos y técnicos del cuestionario, una encuesta piloto fue llevado a cabo aleatoriamente en diez establecimientos minoristas. Subsecuentemente, diez encuestas adicionales fueron

conducidas para verificar la idoneidad del cuestionario mejorado en términos de reducción del tiempo de ejecución y de una codificación legible, completa y consistente de la información conseguida por parte de los encuestados (Richardson *et al.*, 1995). El formato físico tanto del primer diseño del cuestionario como del segundo pueden ser hallados en el ANEXO I.

Una vez validado el cuestionario, el siguiente paso fue conducirlo de manera aleatoria dentro del caso de estudio. En virtud del hecho de que las clases de actividades con fines mercantiles ligadas a la compra y venta de bienes envasados, tales como tiendas de abarrotes, ultramarinos, misceláneas, minisupers, farmacias con minisúper, entre otros, son grandes atractores del tráfico de carga urbano (Betanzo, 2015a y Silva, 2016), un foco de atención en el proceso de encuesta fue dirigido hacia ellas. Es importante destacar en este punto que una muestra representativa no fue definida debido al grado de complejidad que conlleva modelar el sistema de demanda de carga a un nivel de precisión 6-dígitos SCIAN. En razón de que una muestra de cada una de las 83 clases de actividad que integran el sector económico de comercio al por menor debe ser extraída para considerar el marco de modelación AVC como representativo; es decir, una labor que consume mucho tiempo, esfuerzo y recursos.

En un intento por ser lo menos intrusivo posible en la operación comercial de los establecimientos minoristas, y así lograr una mejor accesibilidad con las entidades propietarias o controladoras, las encuestas fueron llevadas a cabo los de lunes a viernes en un horario de 09:00AM a 15:00PM. Siguiendo las buenas prácticas éticas, se mostró a los dueños de los establecimientos una carta de presentación, cuyo contenido exhibía el membrete y sello de la universidad, la firma tanto del coordinador de la maestría como del responsable de la investigación, y los objetivos de la investigación, con la finalidad de eliminar cualquier sentimiento de desconfianza e incertidumbre que la encuesta pudiera originar. Asimismo, al término de esta, todos los participantes leyeron y firmaron un formulario de consentimiento

informado. Todos los documentos que formaron parte integral en la ejecución de las encuestas son encontrados en el ANEXO II de este documento.

6.3.2 Encuestas de observación de vehículos de carga

Las encuestas de observación de vehículos de carga tienen la particularidad de registrar múltiples aspectos del esquema de entrega de carga urbana en tiempo real, lo que conduce a una recogida de datos de mejor calidad que los obtenidos con los otros métodos de recolección de información. Sin embargo, dicha técnica presenta ciertas debilidades prácticas que demeritan dicha cualidad (Allen y Browne, 2008): uno de ellos es la dificultad de capturar explícitamente las tareas de descarga cuando el establecimiento tiene más de un acceso de entrega; y otro es que los datos capturados corresponden sólo al tiempo en la que el encuestador permaneció en el sitio. Por lo tanto, para lograr una base de datos robusta y conservadora, las encuestas de observación de vehículos y las encuestas a establecimientos fueron llevadas a cabo de manera conjunta, dado que ambas se complementan entre sí en lo que respecta a la información de carga a conseguir.

El diseño del instrumento utilizado para el registro de las operaciones de entrega de mercancías partió del formato desarrollado por Betanzo (2015b), cuyo contenido fue reestructurado y ordenado con arreglo a la información a abordar y la secuencia lógica de las actividades del transportista, respectivamente. La encuesta cubrió dos aspectos importantes relativos al esquema de entrega de carga: i) tiempos de operación de entrega; y ii) características de la operación de la entrega. Adicionalmente, un conteo de clientes en intervalos de 15 minutos en un periodo de tres horas –similar a los aforos vehiculares– fue añadido al formato, la cual tuvo como objetivo calibrar la información de *número de clientes* de las encuestas a establecimientos. Los aspectos de diseño del formato fueron evaluados y mejorados con una prueba piloto en dos establecimientos minoristas. Un extracto del instrumento utilizado en las encuestas de observación de vehículos de carga es mostrado en la Tabla 6.2. El formato final del instrumento es encontrado en el ANEXO III de este documento.

Tabla 6.2. Extracto del cuestionario de observación de vehículos de carga.

Aspecto del esquema de entrega de carga	Item
Tiempos de operación de entrega	Hora de llegada (hh:mm)
	Hora de partida (hh:mm)
	Tiempo en las maniobras de descarga
Característica de la operación de entrega	Tipo de camión de carga
	Equipo mecánico utilizado para el transporte de mercancías
	Número de entregas por parada

Fuente: Elaboración propia con base en Betanzo (2015b)

Para una recogida de datos factible, se optó por observar los establecimientos pertenecientes a las clases de actividad de bienes de consumo no duradero, tales como abarrotes y minisupers, ya que la tasa de llegada de los camiones de carga a estos tipos de establecimientos es recurrente en función del patrón de consumo de este tipo de bienes dentro de la población (Betanzo, 2015a). Lo anterior se debe, por supuesto, a las múltiples marcas que estos comercializan. Los establecimientos objetivo fueron aquellos que revelaron información escasa e inconsistente en la sección tres de la encuesta a establecimientos, *preguntas a la entidad propietaria*. En la búsqueda de lograr un cierto grado de uniformidad con el periodo de simulación establecido en los escenarios de entrega y, al mismo tiempo, registrar la mayor tasa de vehículos de carga y clientes posible, las encuestas *in-situ* fueron conducidas los días de semana –lunes a viernes– en un horario de 11:00AM a 14:00PM.

6.4 Modelos de atracción de viajes de carga (AVC)

Uno de los pasos de mayor importancia en la planificación de sistemas de bahías carga/descarga consiste en determinar la demanda de estacionamiento de carga generada por un conglomerado comercial en un área geográfica dada, la cual, dentro del contexto del proceso tradicional de planificación de transporte, corresponde al primero de los 4-pasos, *la generación de viajes* (Novak *et al.*, 2011);

siendo en este caso particular, *la generación de viajes de carga (GVC)*. Si bien la literatura asociada con la logística urbana sostiene que el GVC es una estructura compuesta por la atracción de viajes de carga (AVC) y la producción de viajes de carga (PVC), el presente estudio se centró únicamente en la estimación de AVC. La razón de esto fue que los requerimientos de estacionamiento de carga se rigen únicamente por los flujos de mercancías atraídos y no por los producidos (Alho *et al.*, 2017 y Comi *et al.*, 2017). Por tanto, se asumió que el GVC era igual al AVC.

Sobre la base de lo anterior, el número de entregas de carga generadas tanto por el caso de estudio como por el ZAT fue estimado utilizando los modelos de atracción de viajes de carga (VAC), los cuales, a su vez, fueron creados utilizando la técnica estadística de *regresión de mínimos cuadrados (RMC)*, también denotada como “regresión lineal”. Esta técnica tiene la ventaja de evaluar de manera sólida la fuerza de relación entre una variable predictora –o conjunto de variables– y una métrica de actividad de carga y servicio (ACS)⁸ (Holguín-Veras *et al.*, 2017). Como consecuencia natural del enfoque económico, los modelos AVC producen datos desagregados, es decir, estiman la demanda de entrega de carga a nivel de establecimiento. Para obtener valores agregados –nivel geográfico– del AVC, los procedimientos de agregación estipulados por Holguín-Veras *et al.* (2012, 2014 y 2017) fueron usados, mismos que fueron descritos previamente en el apartado del marco teórico.

En el contexto de la presente investigación, el número de entregas por día fue la variable de respuesta, mientras que la clase de actividad (6-Dígitos SCIAN)⁹, el número de empleados, el área minorista total y el número de ventas por día fueron las variables predictoras (Ortuzar y Willumsen, 2011). El número de ventas, sin

⁸ El término de “métrica de carga y servicio” se utiliza para designar todas las formas potenciales de medir cuantitativamente la actividad de transporte generada por el ACS. Para más detalle sobre las métricas utilizadas en los estudios de carga urbana, consultar Holguín-Veras *et al.* (2017).

⁹ Tradicionalmente, las métricas derivadas del ACS se estiman a un nivel de precisión de 2-dígitos SCIAN (nivel sector), sin embargo, Holguín-Veras *et al.* (2017) señala que, para obtener resultados más precisos, se recomienda realizar análisis mucho más desagregados, en este caso particular, 6-dígitos SCIAN.

embargo, es una cuestión confidencial para los propietarios de establecimientos minoristas (o entidad controladora), en lo que respecta a la información monetaria. Para evitar contratiempos en el proceso de encuesta a establecimientos, y mejorar así las tasas de respuestas, el número de ventas por día se convirtió en *número de clientes por día*¹⁰. La razón para adoptar esta alternativa es que los clientes son agentes cruciales en los procesos cíclicos de reposición de los establecimientos comerciales (Comi *et al.*, 2012 y Betanzo, 2017). Es importante enfatizar que el número de empleados es la única variable predictora que puede extrapolar el esquema de entrega de carga muestral al caso de estudio. Esto se debe al hecho de que la base de datos de establecimientos minoristas proporcionada por el DENUE no almacena datos referentes al número de clientes (o ventas) y al área minorista total. No obstante, para efectos de análisis, estas variables no fueron excluidas en el desarrollo del marco de modelación AVC.

El procedimiento llevado a cabo para construir el marco de modelación AVC a un nivel de precisión de 6-Dígitos SCIAN es mostrado en el diagrama de flujo de la Figura 6.7. Toda tarea implicada en la modelación AVC fue lograda con el apoyo de la herramienta computacional estadística de Rstudio en su versión 1.1.383.

Los modelos AVC se consideraron estadísticamente significativos y conceptualmente válidos cuando las siguientes condiciones y estadísticas de bondad de ajuste eran satisfechas (ITE, 2017 y Kelli *et al.*, 2017):

- ✓ La R^2 del modelo debe ser mayor o igual a 0.50 (50%).
- ✓ El valor p (p-value en inglés) de cada variable predictiva en el modelo debe ser igual o mayor a 0.05 (5%).
- ✓ El tamaño de la muestra debe ser igual o mayor a 4.
- ✓ El número de viajes debe de aumentar a medida que aumenta el tamaño de la variable predictora (signos positivos).

¹⁰ El número de clientes por día –daily customer en inglés– es una de las tantas variables independientes que propone el Institute of Transportation Engineers (ITE, 2017) para la construcción de modelos de viajes de generación.

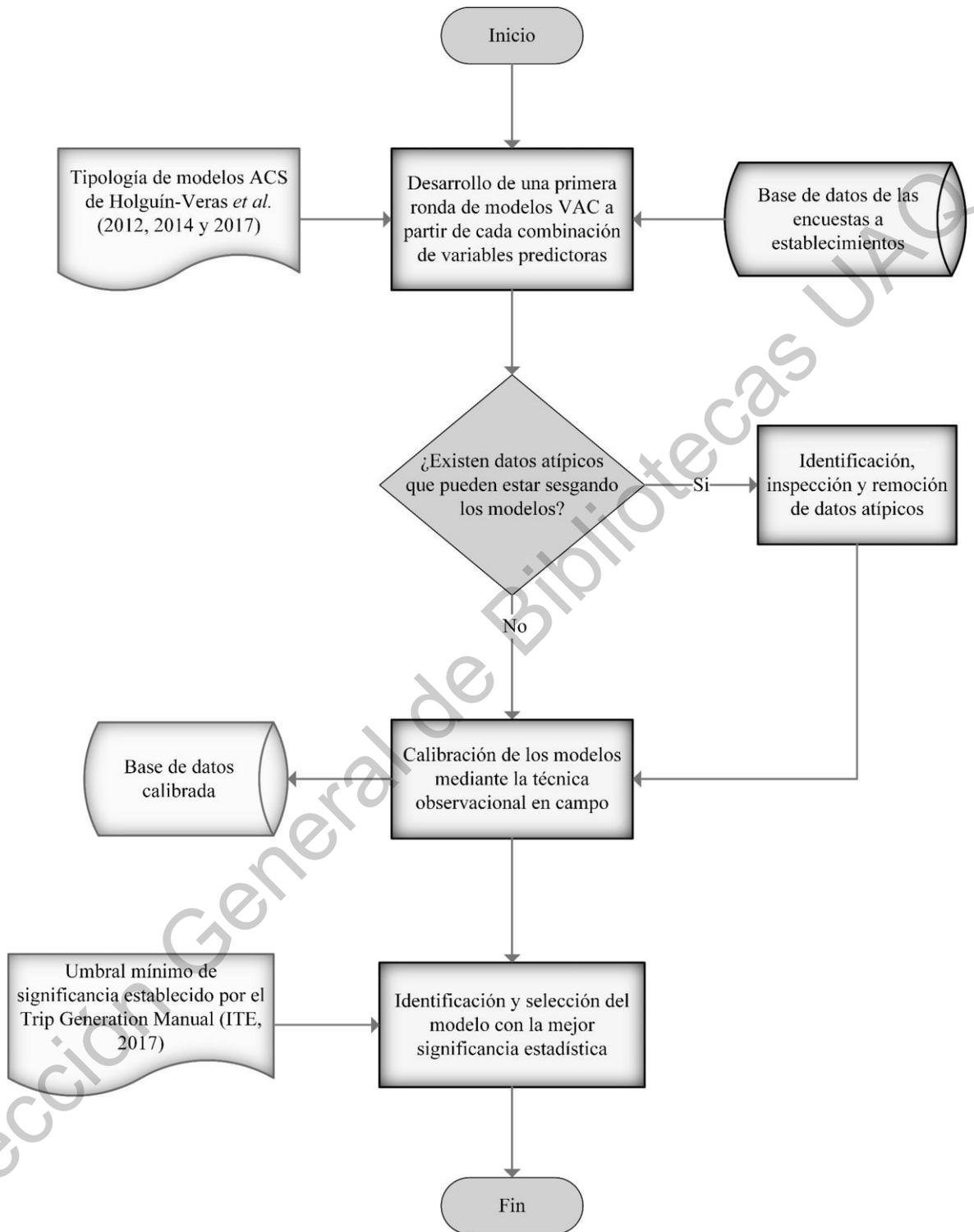


Figura 6.7. Diagrama de flujo del desarrollo del marco de modelación VAC.

Fuente: Elaboración propia.

En particular, la variable explicativa de *número de empleados* fue sometida a un tratamiento de resolución pre y post modelación debido a su complejidad aplicable, siendo estos los siguientes:

- Pre modelación; la unidad equivalente a empleos de tiempo completo *EETC*, definida por Holguín-Veras *et al.*, (2017), fue empleada con el fin de involucrar los trabajos de tiempo completo y de medio tiempo de los establecimientos minoristas en el proceso de modelación de la atracción de viajes de carga. Matemáticamente, se expresa como sigue (Holguín-Veras *et al.*, 2017):

$$EETC = NETC + NEMT * 0.45 \quad (6.1)$$

Donde:

EETC = Empleos equivalentes a tiempo completo.

NETC = Número de empleados de tiempo completo.

NEMT = Número de empleados de medio tiempo.

- Post modelación; dado que el DENUE exhibe la información de número de empleos –denotada en la base de datos como *estrato personal ocupado*– en forma de rangos numéricos que van desde 0 a 5 personas hasta 251 y más personas, el valor central de estas fue usado como aproximación de los empleados totales de los establecimientos minoristas. Por ejemplo, si el tamaño de un establecimiento es de 0 a 5 personas, el valor a ingresar al modelo sería tres empleados.

6.5 Configuración especial del sistema de bahías carga/descarga

La configuración (u organización) espacial de un sistema¹¹ de bahías es un proceso sistemático que consta de las siguientes tres etapas: i) la estimación del número de bahías; ii) la localización espacial de las bahías; y iii) el diseño del tamaño de las bahías. Desde un punto de vista logístico, la efectividad de la configuración espacial radica en su capacidad para satisfacer la demanda de estacionamiento de carga durante períodos pico al tiempo que las operaciones de entrega de los transportistas de carga son maximizadas.

En conformidad con las condiciones locales del caso de estudio, la configuración espacial se caracterizó por lo siguiente:

- Las bahías se ubicaron en carriles de estacionamiento públicos (bahías en la calle) y en banquetas con un ancho igual o mayor a 3.5 m (bahías fuera de la calle).
- Las bahías fueron ubicadas al extremo derecho de la vía.
- Las bahías fueron ubicadas lejos de áreas con alta influencia peatonal, como son las escuelas, iglesias y hospitales.
- Las bahías fueron diseñadas paralelas al sentido de la vía (en cordón).

6.5.1 El número de bahías

El número de bahías en un sistema depende no sólo de la demanda de estacionamiento de carga, sino también de los patrones de entrega de carga, los cuales varían según la clase de actividad. Por ejemplo, las clases de actividades con un enfoque comercial en la venta de bienes de consumo envasados, como son las tiendas de abarrotes y minisupers, tienen la singularidad de estar regidas por un

¹¹ En palabras de Law (2015), un sistema es un conjunto de elementos que interactúan entre sí para cumplir un fin lógico. En este caso en específico, el conjunto de elementos son las bahías, y el fin lógico a cumplir es la cobertura total de la demanda de estacionamiento de carga.

esquema de suministro diario de bienes debido a la gran diversidad de marcas que manejan; mientras que las otras clases de actividad, tales como las tiendas de ropa y calzado, se caracterizan por una logística de reposición no diario, donde los productos son suministrados normalmente cada semana o cada quince días y, por consecuencia, la consolidación de los mismos tienden a ser más prolongados. En este sentido, la estimación del número de bahías se llevó a cabo en dos grandes grupos: (a) aquellas clases de actividad relacionadas con procesos logísticos de suministro diario; y (b) aquellas clases de actividades relacionadas con procesos logísticos de suministro no diarios. Con base en este enfoque, el número de bahías carga/descarga puede ser expresado matemáticamente de la siguiente forma:

$$N = N_a + N_b \quad (6.2)$$

Donde:

N = número total de bahías en una zona geográfica objetivo.

a = clases de actividad con una logística de abastecimiento de mercancías diaria.

b = clases de actividad con una logística de abastecimiento de mercancías no diaria.

N_a = número de bahías para cubrir la demanda de a .

N_b = número de bahías para cubrir la demanda de b .

Además de la demanda de carga, otros factores que influyen en la determinación del número de bahías carga/descarga (Jaller *et al.*, 2012 y Holguín-Veras *et al.*, 2017) son: la demanda de entrega temporal, el tiempo promedio de estacionamiento de los vehículos de carga, y el número de entregas por parada. Sustituyendo independientemente N_a y N_b de la Ecuación 6.2 por los factores previamente mencionados se obtiene la siguiente ecuación:

$$N = (\gamma_a \varphi_a \theta_a \sum_{i=1}^n AVC_{a_i} + \gamma_b \varphi_b \theta_b \sum_{j=1}^m AVC_{b_j}) \quad (6.3)$$

Donde:

N = número total de bahías en una zona geográfica objetivo.

a = clases de actividad con una logística de abastecimiento de mercancías diaria.

b = clases de actividad con una logística de abastecimiento de mercancías no diaria.

γ = porcentaje de la demanda de entrega en un período de tiempo t (%).

φ = factor de conversión de entregas/día a vehículos/día.

θ = tiempo promedio de estacionamiento de los vehículos de carga (hrs);

i = establecimiento comercial perteneciente a a .

j = establecimientos comerciales perteneciente a b .

AVC_{a_i} = atracción de viajes de carga generada por un establecimiento i perteneciente a a (entregas/día).

AVC_{b_j} = atracción de viajes de carga generada por establecimiento un j perteneciente a b (entregas/día).

n = conglomerado comercial perteneciente a a .

m = conglomerado comercial perteneciente a b .

La funcionalidad subyacente de cada uno de los parámetros que componen la Ecuación 6.3 en la determinación del número de bahías carga/descarga se detalla a continuación:

- El parámetro γ es la relación entre el número de entregas atraídas en un periodo de tiempo determinado t y la demanda de carga total (Kelli *et al.* 2017). En materia de planificación de estacionamiento carga/descarga en áreas urbanas, t es igual a un periodo de tiempo pico de 2 horas (Jeller *et al.*, 2012). Dado a que existe un indicio de que la mayoría de los vehículos de

carga empiezan a operar después de la 9:00AM (Ramírez, 2012), se decidió por analizar el esquema de entrega en un horario pico de 12:00PM a 14:00PM.

- El parámetro ϕ es un factor que transforma la unidad de salida del modelo AVC agregado, entregas/días, en *vehículos/día*. La razón central de tal ejercicio se debe a lo siguiente: como se especificó en el apartado del marco teórico, la demanda de carga puede ser estimada bajo dos enfoques: (1) en términos de vehículos, o (2) en términos de entrega. Este último, en particular, asume que el flujo de carga atraído es igual al número de entregas solicitadas. Es decir, un viaje de carga es realizado con el fin de consolidar una sola entrega. Pese a que este supuesto es verdadero en situaciones en las cuales los establecimientos comerciales están ubicados en zonas aisladas¹², no es válido cuando el escenario de entrega está compuesto de varios “*cluster*” de establecimientos con procesos económicos similares (por ejemplo, tiendas de abarrotes y minisupers), ya que un transportista urbano puede consolidar múltiples pedidos con un único viaje. Por tanto, el número de vehículos de carga atraídos en una zona geográfica dada es relativamente menor a las entregas requeridas por el conglomerado comercial. En esencia, el factor de conversión ϕ proporciona una aproximación razonable sobre las reglas de decisión que usan los productores y transportistas para una logística de distribución óptima (Holguín-Veras *et al.*, 2017). En virtud de su capacidad para registrar las múltiples entregas que un transportista puede realizar por parada, la encuesta observacional en campo fue un método útil para la obtención de dicho parámetro. El factor ϕ se calcula como se muestra en la Ecuación 6.4:

¹² Escenario poco probable y convincente cuando la demanda de carga es analizada a un nivel agregado.

$$\varphi = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{D_i}}{n} \quad (6.4)$$

Donde:

φ = factor de conversión.

D_i = número de entregas consolidadas por el transportista i .

i = transportista de carga observado.

n = total de registros levantados.

- El parámetro θ es el tiempo promedio en cual un vehículo de carga permanece estacionado en un lugar determinado durante el proceso de entrega de mercancías. Sobre la base de θ , el número de bahías carga/descarga puede ser cuantificado, ya que la disponibilidad de estacionamiento depende directamente de la rotación ocupacional, que a su vez depende de los tiempos promedios de servicio (Jeller *et al.*, 2012). El valor de θ_b fue definido con los datos provenientes de las encuestas a establecimientos comerciales, mientras que el valor de θ_a a través de los registros de las encuestas observacionales *in situ*.
- El ΣAVC corresponde al valor agregado de la atracción de viajes de carga, el cual es resultado de los procesos de agregación establecidos por Holguín-Veras *et al.* (2012, 2014 y 2017), mismos que fueron especificados en la sección de marco teórico de este documento.

6.5.2 La localización de las bahías

El ejercicio de ubicar espacialmente las bahías carga/descarga se subordina en la práctica por la máxima distancia que los transportistas están dispuestos a viajar desde la zona de estacionamiento hasta la ubicación del punto de entrega (Delaître y Routhier, 2010; Dezi *et al.*, 2010; Muñuzuri *et al.*, 2012; Alho *et al.*, 2014; Alho *et al.*, 2017 y Comi *et al.*, 2017). La distancia de caminata varía según la modalidad en la que la mercancía es trasladada, la cual, a su vez, depende del tipo de vehículo de carga usado en la logística de distribución. Como tal, las entregas completadas a pie, por lo general, recorren menos distancias que aquellas hechas vía equipo mecánico (por ejemplo, “diablitos” o “carretillas”) (ver Figura 6.8); donde los pedidos completados manualmente se atribuyen comúnmente a los vehículos de carga ligeros, mientras que los pedidos completados mecánicamente son representativos de los vehículos de carga pesados en condiciones adversas (cuando el punto de entrega está lejos de la zona de estacionamiento).



Figura 6.8. Izquierda: entrega vía manual (distancia corta); derecha: entrega vía mecánica (distancia larga).

Fuente: Elaboración propia.

La distancia máxima de caminata es relativa a la capacidad de servicio que una bahía carga/descarga puede para consolidar eficientemente los pedidos solicitados. En analogía con las paradas de autobús, la capacidad de servicio se representa como un área de influencia (también llamada como área de servicio), cuyo radio es igual a la distancia máxima de caminata. De acuerdo con los hallazgos de algunos autores (Delaître y Routhier, 2010; Dezi *et al.*, 2010; Muñuzuri *et al.*, 2012 y Alho *et al.*, 2017), dicha distancia oscila entre los 20 y 200 m. Partiendo de estos resultados, la distancia máxima de caminata que están dispuestos a recorrer los repartidor bajo las condiciones locales del caso de estudio pudo ser identificada mediante la técnica observacional en campo, en la cual se caracterizó de la siguiente forma: (a) cerca del establecimiento cuando la distancia es menor a 20 m; (b) lejos del establecimiento cuando la distancia se encuentra entre los 20 y 50 m; y (c) sumamente lejos del establecimiento cuando la distancia es mayor a 50 m. En particular, este último se esperó en los casos donde la entrega se realiza mediante equipo mecánico.

El proceso de localización espacial de las bahías carga/descarga consistió en lo siguiente: sobre la infraestructura pública –ya sea sobre o fuera de la vialidad– del caso de estudio, el sistema de bahías se distribuyó de tal forma que las áreas de servicios en conjunto cubrieran la mayor parte (o en su totalidad, en el mejor de los casos) del conglomerado comercial existente, evitando en la medida de lo posible una superposición entre ellas. Tal procedimiento puede llevarse a cabo con el auxilio de una herramienta computacional SIG, por ejemplo, ArcMap o Qgis. En este caso en específico, se utilizó ArcMap ver. 10.3. En vista de que el área de cobertura depende estrictamente del número de bahías cuantificado en la primera etapa de la configuración espacial, pueden surgir situaciones donde algunos establecimientos queden particularmente fuera de esta y, por consecuencia, pueden eventualmente ocurrir prácticas ilegales de estacionamiento (por ejemplo, estacionamiento en carril). Para amortiguar tal efecto, la distribución de las áreas de servicio debe ser tal que los espacios no cubiertos en la red vial sean relativamente chicos y preferentemente uniformes, así como se ilustra en la Figura 6.9.

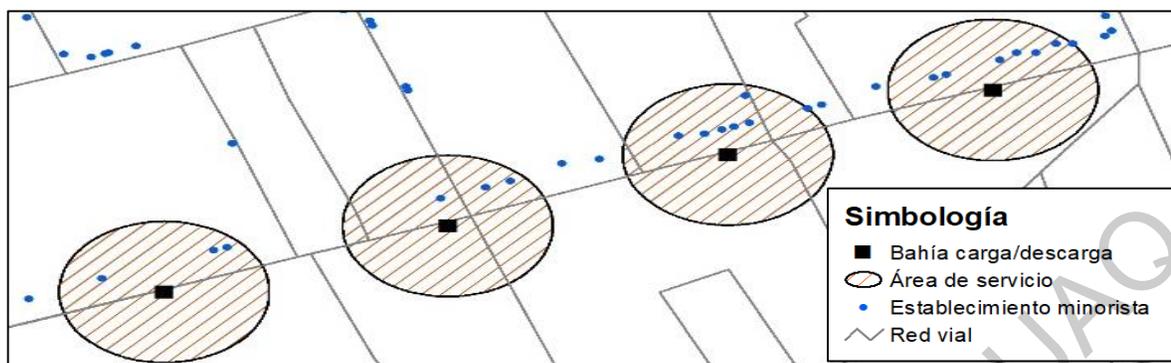


Figura 6.9. Localización ideal de un sistema de bahías cuyo número es limitado.

Fuente: Elaboración propia.

Debe destacarse que las áreas de servicio de las bahías son representaciones simplificadas de la cobertura de la demanda de estacionamiento de carga de los establecimientos minoristas (Alho *et al.*, 2017) y no un reflejo del comportamiento real del traslado de las mercancías. Si se asocia esto último con las áreas de servicio bajo una perspectiva visual, se asume que los transportistas pueden viajar en todas las direcciones a través del entorno construido. Para una representación más realista de la capacidad de servicio de las bahías, las distancias de caminata se proyectaron sobre la red vial local empleando la caja de herramientas “*Network Analyst*” del software SIG ArcMap.

6.5.3 El tamaño de las bahías

El tamaño de las bahías carga/descarga depende en gran medida de las características físicas de los vehículos de carga que normalmente circulan en un área determinada. El proceso de dimensionamiento parte de la definición de un vehículo de carga base, que es un "vehículo hipotético" con la longitud y anchura promedio de una flota de vehículos de carga registrada o en circulación. De igual forma el tamaño del vehículo tipo dependerá de las eventuales restricciones existentes en cuanto al ingreso de vehículos por peso o dimensiones, particularmente a zonas congestionadas. Convencionalmente, el vehículo base es homólogo al vehículo con las dimensiones más largas (Dezi *et al.*, 2010). Sin

embargo, desde un punto de vista técnico, este criterio se considera poco práctico, puesto que implica sobredimensionar el sistema de bahías, reduciendo el estacionamiento para vehículos privados y los espacios para peatones (Comi *et al.*, 2017).

Para que el proceso de identificación de los vehículos de carga fuese lo más sistemático y funcional posible, estos se clasificaron de acuerdo con la tipología empleada por Rivera (2012) y Silva (2015), la cual se compone de los siguientes seis vehículos: camión unitario pesado (C2)¹³, camión unitario ligero (C2), pick-up eje sencillo (PKP), pick-up doble rodada (P2PK), camioneta tipo van (V), y camioneta tipo van ligera (VL) (ver Figura 6.10). En aras de la simplicidad, se decidió por excluir el vehículo P2PK en dicho proceso, ya que este y el vehículo tipo PKP son similares en cuanto a dimensiones físicas se refiere, característica de interés en esta última etapa de la organización espacial. Los conteos de tráfico de carga en coordinación con el uso de cámaras de video posibilitaron, en una primera instancia, identificar los vehículos de carga urbano que comúnmente transitan por las calles del caso de estudio. A partir de este registro, las dimensiones físicas de tales vehículos pudieron ser obtenidas mediante fichas técnicas, las cuales se descargaron a través de los sitios web oficiales de las empresas fabricantes de los diferentes modelos.

La variabilidad de las dimensiones físicas entre los vehículos de carga ligeros (capacidad de carga < 5 toneladas) y los vehículos de carga pesados (capacidad de carga > 5 toneladas) condujo al diseño de dos tipos de bahías: "LB" con las dimensiones promedio de los vehículos tipo: V, VL, PKP y C2L; y "HB" con las dimensiones promedio del vehículo tipo C2. La proporción de ambos tipos de bahías con respecto al número total en el sistema se realizó con base en la distribución de llegada de los camiones de carga en un período de tiempo dado. Esto es lo mismo que decir qué tanto representan los vehículos de carga ligeros, por ejemplo, con

¹³ Nomenclatura tomada de la NOM-012-017 (SCT, 2017).

respecto a la flota total de carga que llega en un período t . Para una aproximación conservadora, los datos provenientes de las encuestas de observación de vehículos de carga fueron usados. Adicionalmente, cada tipo de bahía se le asignó una longitud extra con el fin de facilitar las maniobras de estacionamiento y las tareas de carga y descarga, tal como lo recomiendan Dezi *et al.* (2010).



C2



C2L



PKP



P2KP



V



VL

Figura 6.10. Tipología de vehículos de carga urbano

Fuente: Silva (2012) y Rivera (2015)

6.6 Microsimulación de tráfico como evaluación ex-ante

Siguiendo el esquema de las "buenas prácticas" (Melo, 2010; Russo y Comi, 2010; Alho *et al.*, 2014, Aditjandra *et al.*, 2016; Alho *et al.*, 2017 y Comi *et al.*, 2017), los impactos de tráfico inducidos por el sistema de bahías resultante de la metodología propuesta en el ZAT, así como aquellos impactos derivados de las prácticas de estacionamiento en carril, fueron cuantificados, analizados y evaluados utilizando el simulador de tráfico *Aimsun* ver. 7.0. Al abordar esta necesidad, un escenario base y cuatro escenarios hipotéticos fueron creados. En palabras de Alho *et al.* (2017) y Comi *et al.* (2017), el escenario base es: la manifestación del sistema de tráfico actual sin la presencia de los flujos de carga; o la no demanda de los espacios de carga/descarga. Con el fin de replicar un sistema de tráfico altamente integral, los vehículos de carga estimados por los modelos AVC (una vez aplicado el factor de conversión ϕ), los cuales representan la demanda de estacionamiento de carga, se contemplaron en los flujos de tráfico del escenario base. Por otro lado, los escenarios hipotéticos se modelaron en función de niveles de cumplimiento vinculados a la funcionalidad operativa de las bahías carga/descarga. Por ejemplo, el escenario con un nivel de cumplimiento del 100% indica que la demanda de estacionamiento de carga es completamente cubierta por el sistema de bahías propuesto; mientras que un escenario con un nivel de cumplimiento del 95% significa que el 5% de la flota de vehículos de carga efectúan estacionamiento en carril, es decir, las operaciones de carga/descarga son realizadas en medio del tráfico en movimiento. Asumiendo que las prácticas de estacionamiento ilegales asociadas con una inadecuada configuración espacial son eliminadas por el sistema de bahías resultante, los niveles de incumplimiento en la evaluación ex-ante se deben, esencialmente, a que las bahías están eventualmente ocupadas por los vehículos privados. Con todo esto en mente, se decidió por evaluar escenarios con niveles de cumplimiento de: 100%, 95%, 90% y 80%.

Un aspecto importante debe ser aclarado en este apartado: en vista de que el simulador de tráfico empleado no dispone de una herramienta que modele

concretamente el comportamiento del sistema de transporte urbano de carga, la idoneidad de la metodología propuesta fue evaluada únicamente en función de su capacidad para mejorar la movilidad urbana (es decir, se centra en los vehículos privado), pasando por alto los escenarios de mejora vinculados con la logística de distribución de mercancías. Un ejemplo de lo anterior sería la reducción potencial de los costos operacionales de los vehículos de carga ante la implementación de un sistema de bahías carga/descarga propiamente distribuido.

6.6.1 Construcción del escenario base

Sobre la base de un levantamiento topográfico realizado a la calle de Miguel Hidalgo mediante GPS, el grafo, el cual representa la red vial del ZAT, pudo ser proyectado con un alto nivel de detalle en el software Aimsun. El equipo utilizado en el trabajo topográfico fue un GPS marca SOKKIA modelo GRX2 (ver Figura 6.11) de la Facultad de Ingeniería (FI) de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ).



Figura 6.11. Equipo GPS empleado en el trabajo topográfico.

Fuente: Elaboración propia.

Además de las características físicas mencionadas en el apartado de “delimitación de la zona de análisis de tráfico (ZAT)”, el grafo se caracterizó por lo siguiente: cuatro intersecciones –nodos en la simulación– tipo “cruz”, donde tres son con vías terciarias (calles: Regules, I. Pérez y N. Campa) y una con vía primaria (calle Ezequiel Montes), las cuales están reguladas, respectivamente, por señalamientos “uno a uno” y por dispositivos de control (semáforos); tres intersecciones tipo “T” (Calles: 19 de Julio, Q. Roo y L. Vicario); y una velocidad máxima permitida de 40km/h. Por cuestiones de simplicidad, los carriles reservados para el estacionamiento público no fueron modelados. En este mismo sentido, se decidió por simular el comportamiento de los autobuses del servicio de transporte público como vehículos privados, ya que su presencia en el ZAT es relativamente baja (intervalos de llegada muy prolongados y poca demanda de las paradas de autobús). La representación del ZAT en Aimsun puede ser observada en la Figura 6.12.

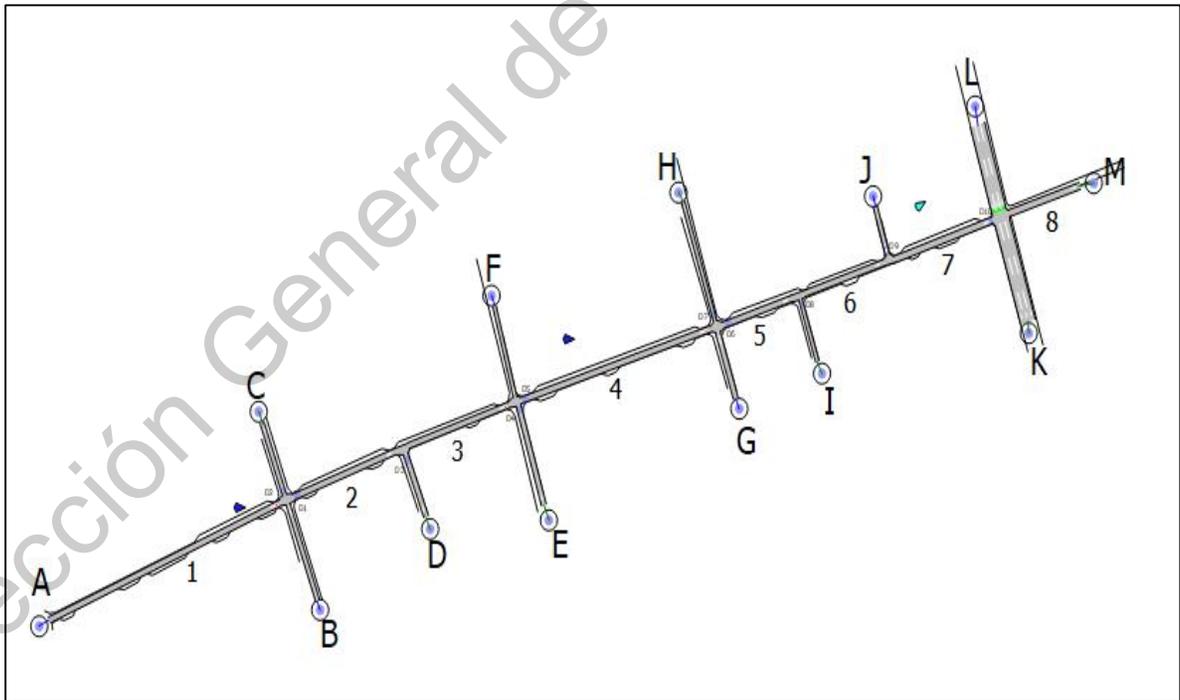


Figura 6.12. Grafo de la red vial del ZAT.

Fuente: Elaboración propia.

Como una medida alternativa de los aforos vehiculares, el uso de cámaras de video ayudó, por un lado, a medir el fenómeno de tráfico –volúmenes– del ZAT, y por otro, a identificar la composición vehicular del mismo. El proceso de captura tomo lugar en cuatro intersecciones de la red vial del ZAT en un período pico de 12:00PM a 14:00PM. Con el fin de reducir los esfuerzos implicados en la extracción de información de las cámaras de video, las intersecciones seleccionadas fueron aquellas que eran determinantes en la continuidad de los flujos. Así, las intersecciones fueron: M. Hidalgo y Regules (intersección 1), M. Hidalgo e I. Pérez (intersección 3), M. Hidalgo y N. Campa (intersección 4), y M. Hidalgo y L. Vicario (intersección 6). A través de los volúmenes de tráfico obtenidos por las cámaras de video (los volúmenes por cada intersección y por cada tipo de vehículo pueden ser encontrados en el ANEXO IV de esta tesis), tres matrices OD fueron construidas: uno para los autobuses públicos, otro para los camiones de carga y otro para vehículos privados. Este último puede ser observado en la Tabla 6.3.

Tabla 6.3. Matriz O-D de los vehículos privados.

O/D	C	D	E	H	I	K	M	Total
A	80	27	265	107	103	80	68	730
B	268	0	0	0	0	148	121	537
F	0	0	461	0	0	58	47	566
G	0	0	0	302	0	102	84	488
J	0	0	0	0	0	7	5	12
L	0	0	0	0	0	1174	183	1357
Total	348	27	726	409	103	1569	508	3690

Fuente: Elaboración propia.

Para tener una representación del sistema de tráfico más cercano a la realidad, se decidió modelar los vehículos privados de acuerdo al tipo de carrocería, resultando así la siguiente estructura vehicular: Sedan, Hatchback, SUV y Pick-Up. Con base en la información extraída de las cámaras de video, la proporción de cada uno de estos tipos de vehículos con respecto al volumen total de tráfico de pasajeros –no considerando los autobuses– fueron: 66.43% Sedan, 16.97% Hatchback, 10.83% SUV y 5.77% Pick-Up. Tomando en conjunto estas proporciones y la matriz OD agregada, una matriz O-D por cada tipo de vehículo pudo ser construida (véase ANEXO V). Estos junto con la matriz de los buses y camiones de carga fueron introducidos en el módulo de *Demanda de tráfico* del software Aimsun.

Otros datos de entrada que son de gran relevancia para la simulación de tráfico son aquellos llamados *parámetros globales*¹⁴, los cuales están estrechamente asociados con las características físicas y operacionales de los vehículos (Hourdakis *et al.*, 2003 y Casas *et al.*, 2010): longitud, anchura, velocidad máxima deseada, aceleración máxima, desaceleración máxima, distancia mínima entre vehículos y tiempo de reacción. Análogamente a la tercera etapa de la configuración espacial de las bahías carga/descarga, los primeros dos parámetros (la longitud y anchura de los vehículos), fueron obtenidos vía fichas técnicas (los modelos de vehículos con mayor presencia en el ZAT se proporcionan en el ANEXO VI). La velocidad máxima deseada fue medida en campo a través de una pistola radárica de velocidades marca *BUNSHELL* modelo *SPEEDSTER III*. Tanto el muestreo –cuyo resultado fue 93 mediciones por cada tipo de vehículo– como el proceso de medición de las velocidades se realizaron siguiendo las pautas metodológicas de Ramírez (2012) y SEDESOL (s.a.). La Tabla 6.4, la Tabla 6.5 y la Tabla 6.6 muestran la estadística descriptiva de los primeros tres parámetros globales por tipo de vehículo.

¹⁴ De acuerdo con Hourdakis *et al.* (2003), estos, en contraposición con los parámetros locales que afectan solo a secciones específicas de la red vial, afectan enteramente el comportamiento del sistema de tráfico

Tabla 6.4. Estadística descriptiva de longitud por cada tipo de vehículo.

Longitud				
Tipo de vehículo	Media (m)	Desviación est. (m)	Mínimo (m)	Máximo (m)
Sedan	4.43	0.17	4.00	4.87
Compacto	3.83	0.16	3.50	4.06
SUV	4.64	0.24	4.24	5.04
Pick-up	4.82	0.31	4.52	5.61
Autobús	9.36	0.01	9.36	9.37
Camión de carga	5.45	1.33	4.38	9.50
Total general	4.59	0.97	3.50	9.50

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.5. Estadística descriptiva de anchura por cada tipo de vehículo.

Anchura				
Tipo de vehículo	Media (m)	Desviación est. (m)	Mínimo (m)	Máximo (m)
Sedan	1.71	0.07	1.60	1.91
Compacto	1.68	0.14	1.50	1.91
SUV	1.86	0.08	1.76	2.00
Pick-up	1.75	0.16	1.61	2.25
Autobús	2.49	0.04	2.45	2.53
Camión de carga	1.90	0.22	1.64	2.50
Total general	1.76	0.17	1.50	2.53

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.6. Estadística descriptiva de velocidad máxima deseada por vehículos tipo: automóvil, autobús y camión de carga.

Tipo de vehículo	Media (km/h)	Desviación est. (km/h)	Mínimo (km/h)	Máximo (km/h)
Automóvil	24.46	4.08	16	38
Autobús	23.00	5.62	17	35
Camión de carga	23.46	5.17	18	39
Total general	24.13	4.47	16	39

Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de simplificar los procesos de medición, los cuatros parámetros restantes fueron definidos de manera agregada, es decir, no fueron descompuestos por tipo de vehículo. Esta decisión no afecta la relevación de la simulación debido a que gran parte de los flujos de tráfico del ZAT está compuesto por vehículos privados, representando aproximadamente el 95%, por lo que la composición vehicular se podría considerar como homogénea. Los parámetros de aceleración máxima, desaceleración normal y tiempo de reacción fueron determinados con el auxilio de los videos capturados en las diferentes intersecciones del ZAT (ver ANEXO VII); mientras que la distancia mínima entre vehículos se midió en campo empleando una medida de referencia de 37 cm, el cual corresponde a la longitud promedio de tres adoquines –los usados como guarnición– de la calle Hidalgo. Por ejemplo, si la separación de dos vehículos en un estado estático es aproximadamente de 5 adoquines, la distancia entre ellos sería $5 \times 37 \text{ cm} = 185 \text{ cm} = 1.85 \text{ m}$. La estadística descriptiva de estos parámetros se ilustra en la Tabla 6.7.

Tabla 6.7. Estadística descriptiva de los parámetros: aceleración, desaceleración, distancia mínima entre vehículos y tiempo de reacción.

Parámetro	Media	Desviación est.	Mínimo	Máximo
Aceleración Máxima (m/s ²)	1.5	0.35	0.93	2.34
Desaceleración Normal (m/s ²)	2.51	0.55	1.42	3.52
Distancia mínima entre vehículos (m)	2.31	1.14	0.93	7.5
Tiempo de reacción (seg)	1.99	1	0.7	7.3

Fuente: Elaboración propia.

La configuración del experimento dinámico, independientemente del tipo de escenario de entrega, se caracterizó por un período de simulación de 2 horas (de 12:00PM a 2:00PM) y por un período de calentamiento¹⁵ de 15 minutos. En relación

¹⁵ El periodo de calentamiento es un lapso de tiempo en la que el modelo de simulación reproduce el patrón de demanda de tráfico antes de su visualización en la pantalla. Esto con objeto de dar inicio a cualquier corrida de simulación con una distribución de vehículos previamente cargada por toda la red vial.

a los controles de acceso, se midió cronométricamente en campo los ciclos de semáforos de la intersección siete, en el cual se identificó un tiempo de 126 segundos por fase: 67 segundos verde, 3 segundos ámbar y 56 segundos verde para el semáforo de la Calle E. Montes, y 50 segundos verde, 6 segundos ámbar y 70 segundos rojo para el semáforo de la calle M. Hidalgo (véase la Figura 6.13). Los parámetros asociados con los modelos “seguimiento vehicular” y “comportamiento de cambio de carril”, así como aquellos pertenecientes a la “asignación dinámica de tráfico”, fueron supuestos ser iguales a los predefinidos por el software de simulación Aimsun.

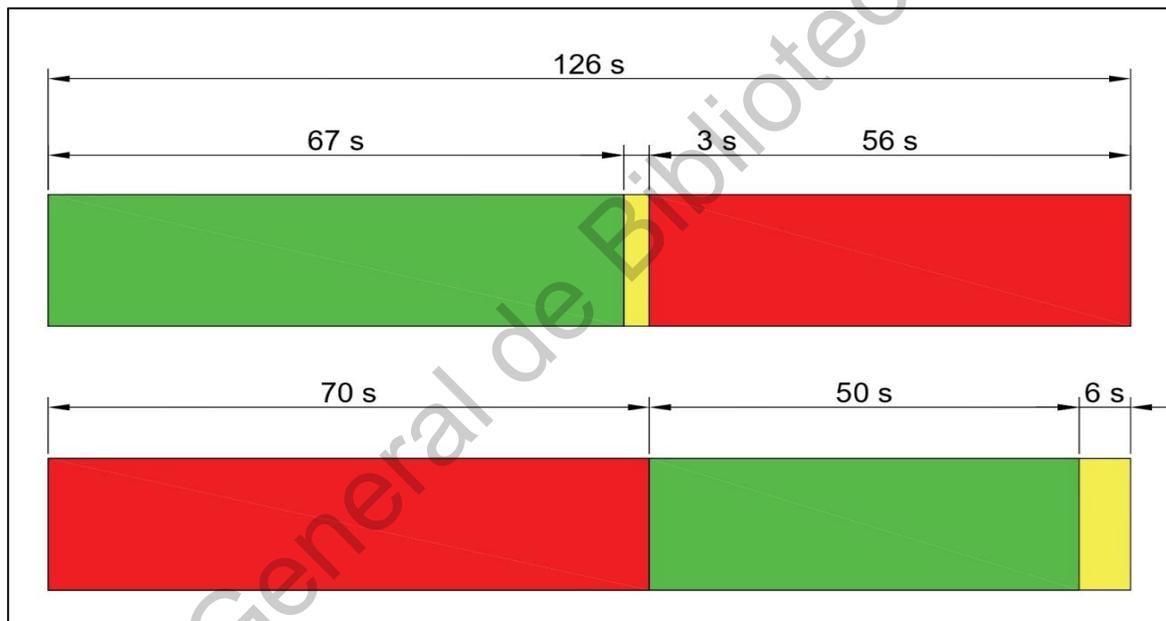


Figura 6.13. Arriba: ciclo semafórico de la calle E. Montes; Abajo: ciclo semafórico de la calle M. Hidalgo.

Fuente: Elaboración propia.

Por lo que se refiere a la simulación del comportamiento de los conductores en las operaciones de entrega urbana, se adoptó el mismo enfoque de modelación empleado por Alho *et al.* (2017), los cuales asumen que es comparable con las prácticas de paradas del servicio de transporte público. Para eso, los autobuses fueron emulados como vehículos de carga, las bahías de carga/descarga como paradas de autobuses fuera de la vía pública y el estacionamiento en el carril

(estacionamiento no legal) como paradas de autobuses en la vía pública, tal como se puede observar en la Figura 6.14. Con respecto a los tiempos de operación de entrega, se supuso que el patrón de llegadas de vehículos de carga fuese igual a una distribución constante. El tiempo promedio de estacionamiento en carril y en bahías carga/descarga se definieron, como se especificó anteriormente, a través de las observaciones en campo.

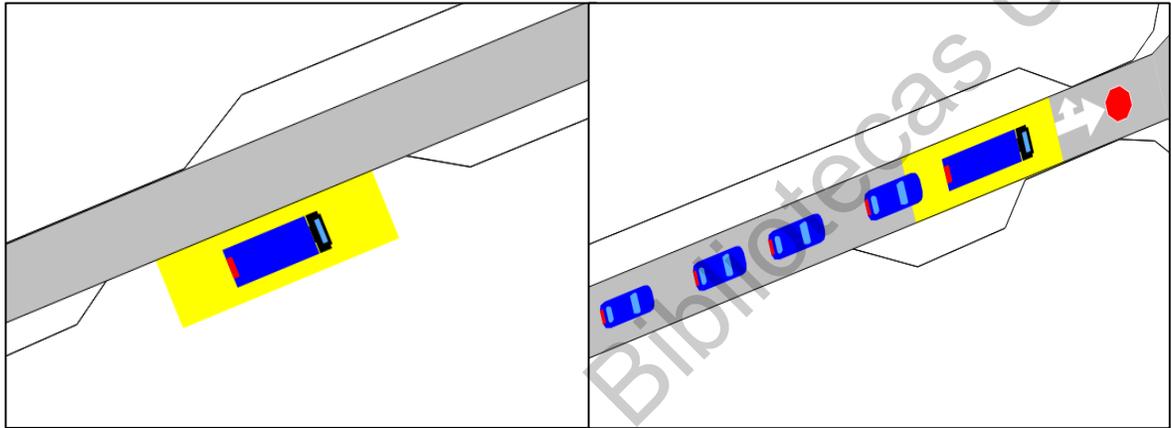


Figura 6.14. Izquierda: vehículo de carga estacionado en una bahía carga/descarga; derecha: vehículo de carga estacionado en carril.

Fuente: Elaboración propia.

Es importante destacar, y tener en consideración, que la presencia de la escuela primaria *Constitución*, ubicada entre las calles de N. Campa y Q. Roo, genera disturbios en la movilidad del ZAT debido al acto de recoger a los niños en medio del tráfico en movimiento (evento natural en períodos picos de 12:00PM a 15:00PM). Para transferir tal evento a la simulación de tráfico, se tomaron las siguientes medidas: las obstrucciones temporales, que comienzan a las 12:30PM – hora de salida de la escuela– y terminan, por lo general, a las 13:00PM, fueron emuladas como el servicio de transporte (similar a lo efectuado con las actividades de entrega carga), donde los vehículos privados fueron interpretados como autobuses, el tiempo de estacionamiento como el tiempo de parada para la carga/descarga de pasajeros, y el estacionamiento en carril como parada de autobús en la vía pública, tal como se puede observar en la Figura 6.15. La

información referente a la distribución de llegada y al tiempo de permanencia de los vehículos privados enfrente de la escuela primaria Constitución puede ser encontrada en el ANEXO VIII de este documento.



Figura 6.15. Simulación de la obstrucción temporal ocasionada por la actividad de la recogida de niños.

Fuente: Elaboración propia.

6.6.2 Calibración y validación del escenario base

La calibración del escenario base se realizó con base en la metodología propuesta por Hourdakís *et al.* (2003), la cual es un proceso interactivo de prueba y error donde se modifica de manera gradual y sistemática las variables de volumen, velocidad y longitud de colas a tal grado que el modelo de simulación reproduzca resultados lo suficientemente cercanos al comportamiento actual del sistema de tráfico. Para abordar esta necesidad, los parámetros globales (por ejemplo, la velocidad deseada y la máxima aceleración de los vehículos) fueron ajustados para calibrar los volúmenes de tráfico; mientras que los parámetros locales (por ejemplo, la velocidad máxima de las secciones) fueron ajustados para calibrar la velocidad y longitud de colas. Tanto los volúmenes como las velocidades fueron medidos en el software de simulación por medio de detectores virtuales; en cambio, la longitud de colas fue medida sobre la base del juicio del autor, comparando tal variable en la

simulación con la generada en el sistema actual de tráfico. La Tabla 6.8 proporciona una visión general de como los parámetros predefinidos en el escenario actual fueron modificados por cada etapa del proceso de calibración.

Tabla 6.8. Valores de los parámetros globales y locales antes y después del proceso de calibración.

Parámetro	Inicial	1ra etapa: calibración del volumen	2da etapa: calibración de la velocidad	3ra etapa: calibración de la longitud de cola
Velocidad deseada (km/h)	24.13	26	26	26
Máxima aceleración (m/s ²)	1.5	2	2	2
Desaceleración normal (m/s ²)	2.51	3	3	3
Desaceleración máxima (m/s ²)	6	6	6	6
Tiempo de reacción en parada (s)	1.99	2.1	2.1	2.1
Tiempo de reacción en semáforo (s)	2.5	1.7	1.7	1.7
Máxima velocidad en el arco 1	40	40	33	33
Máxima velocidad en el arco 2	40	40	23	23
Máxima velocidad en el arco 3	40	40	30	30
Máxima velocidad en el arco 4	40	40	30	30
Máxima velocidad en el arco 5	40	40	20	20
Máxima velocidad en el arco 6	40	40	15	15
Máxima velocidad en el arco 7	40	40	16	16
Intervalos de llegada en la escuela (s)	60	60	60	45
Tiempo de parada en la escuela (s)	9.6	9.6	9.6	11

Fuente: Elaboración propia.

Al final del proceso de calibración, el escenario base reveló las siguientes estadísticas de bondad de ajuste para la variable de volúmenes de tráfico: $R_{sq} = 0.997$, $RMS = 1.3$, $GEH = 1.017$ y $Theil = 0.127$ (véase la Tabla 6.9). Tomando como referencia el umbral mínimo de significancia establecido por Hourdakakis *et al.* (2003), TSS (2013) y Barceló y Casas (2014) ($R_{sq} > 0.8$, $RMS < 1.5$, $GEH < 5$, $Theil < 0.2$, y RMS lo más chico posible), estos resultados sugieren que la confiabilidad del

modelo de simulación construido se considera aceptable para replicar el sistema de tráfico actual con un alto grado de precisión.

Tabla 6.9. Resultados finales de la validación de los volúmenes de tráfico.

Estadística	Inicial	Calibración del volumen	Calibración de la velocidad	Calibración de la longitud de cola
Rsq	0.99901	0.997403	0.997578	0.997055
RMS	0.77	1.8	1.2	1.3
GEH	0.33449	2.0197	0.881472	1.01694
Theil	0.12792	0.180095	0.123517	0.127155

Fuente: Elaboración propia.

6.6.3 Marco de comparación entre los diferentes escenarios de simulación

Una vez construido, calibrado y validado el escenario base, la siguiente etapa se centró en construir los diferentes escenarios hipotéticos. Lo anterior pudo llevarse a cabo a partir de la demanda de estacionamiento de carga, la cual se modificó de acuerdo a los niveles de cumplimiento propuestos (100%, 95%, 90% y 80%) de uso de las bahías carga/descarga. El comportamiento de tráfico de cada uno de los escenarios de entrega se evaluó mediante indicadores de desempeño de tráfico (Melo, 2010; Alho *et al.*, 2017 y Ferrara *et al.*, 2017), los cuales fueron:

- Densidad (veh/hr).
- Número de paradas.
- Tiempo de demora (seg/km).
- Tiempo de parada (seg/km).
- Tiempo de recorrido (seg/km)
- Tiempo total de recorrido (hr).
- Velocidad (km/hr).

Estos indicadores de desempeño se calcularon con la media de 25 corridas de simulación¹⁶ (Kladedtiras y Antoniou, 2013).

La prueba MANOVA unidireccional¹⁷ –extensión multivariada de la prueba ANOVA– fue empleada para comparar estadísticamente el desempeño de tráfico de cada uno de los escenarios hipotéticos frente al escenario base (Alho *et al.*, 2017). Para alcanzar un análisis altamente conservador, cuatro estadísticas fueron usadas: Pillai, Wilks, Hotelling-Lawley y Roy. La hipótesis nula a comprobar en esta prueba es la siguiente:

$$H_0: \mu_{11}, \mu_{12}, \mu_{13}, \dots, \mu_{1n} = \mu_{21}, \mu_{22}, \mu_{23}, \dots, \mu_{2n} \quad (6.5)$$

Donde:

H_0 = Hipótesis nula.

$\mu_{11}, \mu_{12}, \mu_{13}, \dots, \mu_{1n}$ = medias de múltiples variables del vector 1.

$\mu_{21}, \mu_{22}, \mu_{23}, \dots, \mu_{2n}$ = medias de múltiples variables del vector 2.

La interpretación de la Ecuación 6.5 es la siguiente: la hipótesis nula H_0 es verdadera cuando un vector compuesto por las medias de múltiples variables de salida es significativamente igual a otro vector compuesto por las mismas variables, pero con medias diferentes. La hipótesis alternativa H_A es aprobada cuando la aseveración anterior no se cumple. Trasladando esta teoría a la presente

¹⁶ De acuerdo con Chiabaut y Buisson (2009), 15 es el número mínimo de replicaciones para obtener valores consistentes de indicadores de desempeño.

¹⁷ Para conocer la teoría detrás de la prueba MANOVA, se recomienda ampliamente consultar el capítulo de “Análisis de varianza multivariable (MANOVA)” del libro “Descubriendo estadística usando R” de Field *et al.* (2012).

investigación en particular, $\mu_{11}, \mu_{12}, \mu_{13}, \dots, \mu_{1n}$ corresponderían a las medias de los indicadores de desempeño del escenario base, mientras que $\mu_{21}, \mu_{22}, \mu_{23}, \dots, \mu_{2n}$ a las medias de los indicadores de desempeño de un escenario hipotético.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Modelos de atracción de viajes de carga (AVC)

Aun con las limitaciones presupuestarias y de tiempo que conllevaba realizar la recogida de datos, se logró completar de manera exitosa una muestra de 97 encuestas a establecimientos comerciales –con una tasa de rechazo del 30.7% (43 encuestas)– y una muestra de 15 encuestas de observación de vehículos de carga (con un registro de 28 vehículos). De un total de 75 clases de actividad diferentes que podrían tomarse en cuenta para el caso de estudio, solo 23 fueron sondeadas (30,6%); de las cuales sólo ocho se lograron obtener registros superiores a 3 (10.7%). Para hacer frente a la falta de información, los siguientes supuestos fueron usados:

- 1) El AVC de las clases de actividad con pocos registros depende sólo del número de establecimientos minoristas (modelo tipo: $AVC = \alpha$).
- 2) El AVC de las clases de actividad sin registros es igual a aquellas clases de actividad con procesos económicos similares (por ejemplo, las tiendas de ropa con las tiendas de vestimenta regional y vestidos de novia).

Con base en las condiciones de significancia estadística establecidas por el ITE (2017), se identificaron las diferentes combinaciones de variables predictoras y modelos tipo que pueden predecir significativamente la atracción de viajes de carga en las clases de actividad con registros superiores a tres (los resultados estadísticos de todas las combinaciones desarrolladas, así como las gráficas de dispersión *variable predictiva vs VAC*, pueden ser halladas en el ANEXO IX), las cuales fueron: abarrotes, calzado, farmacias, minisupers, papelería, regalos y repostería. Como se puede apreciar en la Tabla 7.1, las clases de actividad de abarrotes y minisúper cuentan en su haber con cinco modelos AVC diferentes, mientras que las clases restantes tienen menos de dos. Esto demuestra que, a pesar de pertenecer al mismo sector económico (2-Dígitos SCIAN), el comportamiento del proceso cíclico de reposición de mercancías de las diferentes clases de actividad no depende

necesariamente de una –o varias– medida de tamaño de establecimiento en común. Por ejemplo, con base en la Tabla 7.1, las variables predictoras consideradas son estadísticamente significativas para predecir el AVC en las clases de actividad de abarrotes y minisupers (dedicadas a la venta de bienes de consumo no duradero), mientras que en las clases de papelería y regalos solo es significativo el número de empleados. Independientemente de la heterogeneidad de los registros levantados, lo anterior se debe, evidentemente, a las decisiones logísticas de abastecimiento, las cuales varían dependiendo de la actividad económica, como se argumentó anteriormente en el apartado de *número de bahías* del tema *configuración espacial de bahías*.

Tabla 7.1. Variables y modelos tipo representativos de las clases de actividad sondeadas.

SCIAN	Actividad	Variable	Modelo	R ² Ajust	F-Test	P-value
461110	Abarrotes	Clientes	$AVC = \alpha + \beta Ei$	0.507	19.51	0.00
		Clientes	$AVC = \beta Ei$	0.849	107.9	0.00
		Empleos	$AVC = \beta Ei$	0.659	37.73	0.00
		Área	$AVC = \beta Ei$	0.628	33.02	0.00
		No. de estab.	$AVC = \alpha$	-	-	0.00
463310	Calzado	Clientes	$AVC = \beta Ei$	0.791	35.04	0.00
		No. de estab.	$AVC = \alpha$	-	-	0.02
464111	Farmacias	Clientes	$AVC = \beta Ei$	0.889	32.99	0.01
		Empleos	$AVC = \beta Ei$	0.897	44.7	0.00
464111	Minisupers	Clientes	$AVC = \beta Ei$	0.976	281.6	0.00
		Empleos	$AVC = \beta Ei$	0.941	112.5	0.00
		Área	$AVC = \beta Ei$	0.616	12.23	0.01
		No. de estab.	$AVC = \alpha$	-	-	0.00
		Empleos	$\ln(AVC) = \alpha + \beta \ln(Ei)$	0.635	11.44	0.02
465311	Papelería	Clientes	$AVC = \beta Ei$	0.985	197.4	0.01
465912	Regalos	Clientes	$AVC = \beta Ei$	0.871	21.19	0.04
461160	Repostería	Empleos	$AVC = \beta Ei$	0.791	16.16	0.03
		Área	$AVC = \beta Ei$	0.774	14.69	0.03
463211	Ropa	Empleos	$AVC = \beta Ei$	0.582	16.29	0.00
		No. de estab.	$AVC = \alpha$	-	-	0.00

Fuente: Elaboración propia.

El análisis exploratorio sometido al primer marco de modelación AVC construido (Tabla 7.1) reveló lo siguiente: el número de ventas por día, convertido en este estudio en el número de clientes por día, exhibió mayor significación estadística en las clases de actividad de: abarrotes, minisupers, papelería, regalos, zapatos y tiendas de ropa; mientras que el número de empleados mostró mayor significancia en las clases de actividad de farmacias y repostería. A pesar de ser estadísticamente significativo en varias clases de actividad, el área minorista total demostró un poder predictivo débil en contraposición con las otras variables consideradas, tal como se puede observar en la Tabla 7.2. Asimismo, se reveló que la mayoría de modelos AVC, independientemente de la variable predictiva, producen mejores resultados cuando la forma funcional es lineal sin un término constante.

Tabla 7.2. Modelos AVC de las clases de actividad sondeadas.

SCIAN	Actividad	Variable	Modelo tipo	α	β	R ² Ajust	F-Test	P-value	Obs.
461110	Abarrotes	Clientes	VAC = βE_i	-	0.019***	0.849	107.900	0.000	19
463310	Calzado	Clientes	VAC = βE_i	-	0.005***	0.791	35.040	0.000	9
464111	Farmacias	Clientes	VAC = βE_i	-	0.022*	0.889	32.990	0.010	5
464111	Minisupers	Clientes	VAC = βE_i	-	0.012**	0.976	281.600	0.000	7
465311	Papelería	Clientes	VAC = βE_i	-	0.010**	0.985	197.400	0.005	4
465912	Regalos	Clientes	VAC = βE_i	-	0.044*	0.871	21.190	0.044	3
461160	Repostería	Empleos	VAC = βE_i	-	0.119*	0.791	16.160	0.028	4
463211	Ropa	Clientes	VAC = βE_i	-	0.044**	0.582	16.290	0.002	11

(***) significativo a un nivel del 0.01, (**) significativo a un nivel del 0.1%, (*) significativo a un nivel del 1%, (·) significativo a un nivel del 5%.

Fuente: Elaboración propia.

Dada la barrera informacional impuesta sobre el número de clientes y el área minorista total, la demanda de entrega de carga se estimó utilizando el *número de empleos* como única variable. Teniendo en cuenta esto y la suposición (1), la Tabla 7.3 muestra el modelo final AVC de cada clase de actividad sondeada en esta investigación.

Tabla 7.3. Marco de modelación AVC final.

SCIAN	Clase de actividad	Factor de influencia	Modelo tipo	α	β	R ² -adj	F-test	P-value	Obs.
461110	Abarrotes	Empleo	FTA = βE_i	-	2.835***	0.659	37.730	0.000	19
461122	Carne de aves	No. de establecimientos	FTA = α	0.643	-	-	-	-	2
461150	Lácteos	No. de establecimientos	FTA = α	0.429	-	-	-	-	1
461160	Repostería	Empleo	FTA = βE_i	-	0.119*	0.791	16.160	0.028	4
461170	Paletas de hielo	No. de establecimientos	FTA = α	1	-	-	-	-	1
461190	Otros alimentos	No. de establecimientos	FTA = α	0.571	-	-	-	-	2
463111	Telas	No. de establecimientos	FTA = α	0.143	-	-	-	-	1
463211	Ropa	Empleo	FTA = βE_i	-	0.044**	0.582	16.290	0.002	11
463310	Calzado	Empleo	FTA = βE_i	-	0.135	0.311	5.055	0.055	9
464111	Farmacias	Empleo	FTA = βE_i	-	0.674**	0.897	44.700	0.003	5
464111	Minisupers	Empleo	FTA = βE_i	-	1.661***	0.941	112.500	0.000	7
464112	Farmacias con minisupers	No. de establecimientos	FTA = α	5.5	-	-	-	-	2

SCIAN	Clase de actividad	Factor de influencia	Modelo tipo	α	β	R ² -adj	F-test	P-value	Reg.
464113	Productos naturistas	Empleo	FTA = α	0.714	-	-	-	-	1
465215	Artículos de deportes	Empleo	FTA = α	0.107	-	-	-	-	2
465311	Papelería	Empleo	FTA = α	0.6	-	-	-	-	4
465912	Regalos	Empleo	FTA = βE_i	-	0.649 [*]	0.769	10.960	0.080	3
465915	Artesanías	No. de establecimientos	FTA = α	0.143	-	-	-	-	2
466111	Muebles	No. de establecimientos	FTA = α	0.143	-	-	-	-	2
466311	Alfombras	No. de establecimientos	FTA = α	0.143	-	-	-	-	1
466312	Plantas y flores	No. de establecimientos	FTA = α	0.286	-	-	-	-	1
466319	Decoración de interiores	No. de establecimientos	FTA = α	1	-	-	-	-	1
467111	Ferretería	No. de establecimientos	FTA = α	0.143	-	-	-	-	2
467112	Pisos y recubrimientos	No. de establecimientos	FTA = α	0.429	-	-	-	-	1

(***) significativo a un nivel del 0.01, (**) significativo a un nivel del 0.1%, (*) significativo a un nivel del 1%, (ˆ) significativo a un nivel del 5%.

Fuente: Elaboración propia.

Aun cuando se estaba limitado al empleo de una sola variable predictora, los coeficientes de los modelos AVC desarrollados a partir del número total de empleos revelaron ser estadísticamente significativos y conceptualmente válidos en la mayoría de las clases de actividades con observaciones mayores a tres, excepto en las actividades de regalos y calzado, donde el p-value del primero es mayor del 5% y la R^2 ajustada del segundo es menor del 0.50. Pese a esto, el modelo AVC de ambas clases de actividad se consideró significativo en el contexto de la presente investigación, puesto que su poder predictivo no difiere sustancialmente con el umbral mínimo de significancia impuesto por el ITE (2017). Sin embargo, se sugiere una exploración más exhaustiva en tales actividades, así como aquellas que no fueron estudiadas en su totalidad, para el desarrollo de un marco de modelación AVC más robusto.

En términos generales, los modelos sugieren que el número de entregas requeridas por un establecimiento minorista aumenta a medida que el número de empleados –tamaño de establecimiento– aumenta. Por ejemplo, en el caso de la clase de actividad de minisupers, la demanda de entrega incrementa a una razón de 1.6608 unidades por cada incremento de un empleado. Por lo tanto, si la nómina de un minisúper está constituida por seis empleados equivalentes a tiempo completo (empleos de medio tiempo más empleos de tiempo completo), se esperaría en el transcurso del día $1.661 * 6 = 9.96 \approx 10$ entregas, resultado bastante convincente en una clase de actividad cuya reposición de mercancías es característicamente recurrente.

Con relación a los valores agregados del AVC, el caso de estudio y la zona de análisis de tráfico (ZAT) atraen, respectivamente, 2,229 y 136 entregas por día, esto con base en el marco de modelación AVC final construido y el dataset proporcionado por el DENU. El procedimiento realizado para obtener tales valores se encuentra en el ANEXO X de este documento.

Es importante destacar que, durante el proceso de recopilación de datos, se observó que las clases de actividad relacionadas con *servicios de preparación de alimentos y bebidas*, tales como los restaurantes y bares, atraen cantidades considerables de flujos de mercancías, siendo las bebidas alcohólicas y no alcohólicas –refrescos embotellados– los productos más abastecidos, los cuales son suministrados generalmente por vehículos de carga pesados tipo C2, tal como se puede observar en la Figura 7.1. En esta dirección, se sugiere que estudios futuros en torno a la modelación de las actividades de carga y servicio (ACS) aborden dicho sector económico. De hecho, para un trabajo más ambicioso, se recomienda modelar todas las métricas derivadas del ACS¹⁸ considerando cada uno de los 20 sectores económicos que conforman el SCIAN a un nivel de precisión de 6-Dígitos (clase de actividad). Esto con el fin de lograr un marco de modelación altamente integral, funcional y, sobre todo, competitivo con los desarrollados en otros países, por ejemplo, el de Holguín-Veras *et al.* (2017) (Estados Unidos).



Figura 7.1. Restaurante siendo abastecido de refrescos embotellados por medio de un camión de carga tipo C2.

Fuente: Elaboración propia.

¹⁸ El ACS se compone de seis métricas diferentes: la atracción y producción de carga, la atracción y producción de viajes de carga, y la atracción y producción de viajes de servicios.

7.2 Configuración espacial del sistema de bahías carga/descarga

7.2.1 Número de bahías

Las encuestas a establecimientos comerciales en coordinación con las encuestas de observación de vehículos de carga revelaron los siguientes patrones de entrega:

(a) Para las clases de actividad relacionadas con los procesos logísticos de suministro diario, los transportistas de carga completan en promedio 1.4 entregas por parada, lo que equivale a un factor de conversión de 0.884 (ver Ecuación 6.4); la demanda de entrega generada entre las 12:00PM y las 14:00PM (período pico) es aproximadamente el 20% de las entregas totales atraídas; y el tiempo promedio de estacionamiento de los vehículos de carga es de aproximadamente 17.82 min (alrededor de 0.30 hrs).

(b) Para las clases de actividad relacionadas con procesos logísticos de suministro no diarios, se asumió que los transportistas realizan un promedio de una entrega por parada, lo que equivale a un factor de conversión igual a 1; la demanda de entrega es de aproximadamente 14.58%; y el tiempo promedio de estacionamiento es de aproximadamente 26.9 min (alrededor de 0.449 hrs). El procedimiento usado en el cálculo de estos valores se encuentra en el ANEXO XI de este documento.

Es necesario enfatizar que el tiempo promedio de estacionamiento en los establecimientos tipo a se calculó sobre la base de los datos recabados en campo y no a partir de una gráfica de cajas. La razón de esto se debió a que dicha herramienta gráfica no considera en su proceso de cálculo valores atípicos, y en vista de que el tiempo de las actividades de los transportistas varía en función de la clase de actividad y del número de entregas realizadas, puede darse el caso de que algunos valores se dispersen de la media central. Por ejemplo, a un proveedor le toma alrededor de 46 min realizar cuatro entregas a diferentes establecimientos

minoristas¹⁹, cuando el tiempo promedio de una sola entrega es aproximadamente 14 min. Por lo tanto, para un tiempo promedio de estacionamiento conservador en los establecimientos tipo *a*, es importante tomar en cuenta todos los datos registrados en los ejercicios observacionales. No obstante, tal criterio no es válido para los establecimientos tipo *b*, ya que los tiempos de estacionamiento fueron obtenidos de las encuestas a establecimientos y no vía medición directa. Para hacer frente al sesgo de la media, en vez de suprimir los datos atípicos, sus valores fueron cambiados al valor más alto no atípico registrado más uno²⁰. Por ejemplo, 120 min (valor atípico) fue cambiado a 60 (valor considerado no atípico) +1 = 61 min.

Utilizando en conjunto los patrones de entrega anteriormente descritos y los valores agregados de la atracción de viajes de carga, se estimó el número de bahías tanto para el caso de estudio como para la zona análisis de tráfico (ZAT): el caso de estudio requiere al menos $127.55 \approx 128$ bahías de carga/descarga para satisfacer la demanda de $373.66 \approx 374$ vehículos de carga en un período pico de 12:00PM a 14:00PM; mientras que el ZAT requiere al menos $7.84 \approx 8$ bahías de carga/descarga para una demanda de $22.74 \approx 23$ vehículos de carga (véase la Tabla 7.4 y la Tabla 7.5).

Tabla 7.4. Número de bahías necesarias para el caso de estudio.

Tipo de establecimiento minorista	% de la demanda de entrega en un periodo de 2-horas (γ)	Factor de conversión (ϕ)	Tiempo de estacionamiento en horas (θ)	Entregas por día (AVC)	Vehículos de carga atraídos en un periodo de 2-horas	No. de bahías
Con un esquema de abastecimiento diario	20.00%	0.884	0.297	1495.17	264.32	78.46
Con un esquema de abastecimiento no diario	14.58%	1	0.449	734.27	109.33	49.09
Total				2229.44	373.66	127.55

Fuente: Elaboración propia.

¹⁹ *Un suceso poco común pero que se llega a presentar esporádicamente.*

²⁰ *En una primera instancia esto puede parecer trampa, pues se están cambiando los valores de los datos; sin embargo, es el menor de los dos males, según Field et al. (2012).*

Tabla 7.5. Número de bahías necesarias para la zona de análisis de tráfico (ZAT).

Tipo de establecimiento minorista	% de la demanda de entrega en un periodo de 2- horas (γ)	Factor de conversión (ϕ)	Tiempo de estacionamiento en horas (θ)	Entregas por día (AVC)	Vehículos de carga atraídos en un periodo de 2- horas	No. de bahías
Con un esquema de abastecimiento diario	20.00%	0.884	0.297	88.32	15.61	4.64
Con un esquema de abastecimiento no diario	14.58%	1	0.449	47.87	7.13	3.20
Total				136.19	22.74	7.84

Fuente: Elaboración propia.

Si nos centramos en la ZAT, la metodología sugiere disminuir el número de bahías que existen físicamente en el sistema actual de 13 a 8, lo que representa una reducción del 38.46%. Esto muestra evidencia de que las bahías carga/descargas actuales se asignaron sin un estudio de demanda de estacionamiento de carga de por medio, por lo que el suministro de espacios de estacionamiento se podría considerar como sobredimensionado. Tal escenario llevó a la creación de la siguiente suposición:

“Además de causar la disminución de los espacios públicos y del estacionamiento para automóviles (Comi et al., 2017), un excedente de bahías carga/descarga propicia a que los usuarios de los vehículos privados se estacionen ilegalmente en las mismas como una respuesta natural a la falta de espacios de estacionamiento”.

Por lo tanto, la cuantificación del número de bahías basada en la metodología propuesta no sólo cubre la demanda de estacionamiento de carga, sino que también logra un equilibrio integral en el uso del estacionamiento público entre los automóviles privados y los vehículos de carga.

7.2.2 El tamaño de las bahías

Tomando en conjunto la información de los conteos de tráfico de carga y las imágenes provenientes de las cámaras de videos usadas en la investigación, se identificaron los vehículos de carga que comúnmente operan dentro del caso de estudio, que van desde vehículos ligeros tipo van con una capacidad de carga de una tonelada (usados generalmente por vendedores independientes) hasta camiones pesados tipo C2 con una capacidad de 10.5 toneladas (empleados frecuentemente por la industria refresquera y cervecera) (véase la Tabla 7.6).

A partir de la información anterior, se determinaron las dimensiones físicas promedio por tipo de vehículo de carga, las cuales se muestran en la Tabla 7.7. En esta misma se puede ver claramente como los vehículos C2 divergen considerablemente con los otros tipos de vehículos de carga en cuanto a longitud y anchura, esto evidentemente a su singularidad de transportar altos volúmenes de mercancías. En esta dirección, los vehículos hipotéticos tuvieron las siguientes dimensiones: 5.2 m de longitud y 1.9 m de anchura para vehículos ligeros, y 8.5 m de longitud y 2.4 m de anchura para vehículos pesados.

Dado que la mayoría de los vehículos de carga se caracterizan por tener compuertas traseras para el ascenso y descenso de mercancías, el espacio adicional de los vehículos hipotéticos debe ser particularmente mayor que el asignado a los cajones de estacionamiento de los vehículos privados (66 cm para vehículos pequeños y 1 m para vehículos medianos-grandes, de acuerdo con UPAEP (1988) y Cal y Mayor *et al.* (2018)). Teniendo esto en mente, a los vehículos ligeros y pesados se le atribuyeron espacios excedentes de 2.3 y 2.5 m respectivamente. Por lo tanto, las dimensiones mínimas requeridas para cada tipo de bahía son las siguientes: 7.5 x 2.0 m para bahías tipo denominadas *LB* y 11.0 x 2.5 m para bahías tipo denominadas *HB* (véase la Tabla 7.8 y la Figura 7.2).

Tabla 7.6. Características físicas de los vehículos de carga que normalmente circulan dentro del el caso de estudio.

Marca	Modelo	Tipo	Eje	Capacidad	Longitud	Ancho	Alto	Distancia eje
Freightliner	M2 25K	C2	Dual	8	7.82	2.50	2.60	4.877
Ford	Transit Custom	V	Sencillo	1.2	4.97	1.99	1.92	2.933
Peugeot	Partner	VL	Sencillo	1	4.38	1.81	1.84	2.728
International	CityStar 5	C2L	Dual	5	6.95	2.00	2.22	3.845
Isuzu	ELF 500	C2L	Dual	5	6.79	2.07	2.31	4.47
Chevrolet	Tornado	VL	Sencillo	1	4.52	1.70	1.64	2.669
Hino	Serie 300	C2L	Dual	4.5	5.91	2.00	2.38	3.8
Freightliner	M2 33K	C2	Dual	10.5	9.14	2.50	2.74	5.69
Dodge	RAM ProMaster Rapid	VL	Sencillo	1	4.38	1.64	1.90	2.717
Mercedes-Benz	Spreinter Mediana 311	V	Sencillo	1	5.93	1.99	2.42	3.665
Nissan	NP300 Comercial 2018	PKP	Sencillo	1.2	5.13	1.79	1.72	3.15
Nissan	NP300 Comercial 2014	PKP	Sencillo	1.2	4.96	1.93	1.75	2.95
Isuzu	ELF 300	C2L	Dual	3	4.73	1.82	2.16	2.475
Isuzu	ELF 100	C2L	Sencillo	2	4.59	1.70	2.21	2.49
Ford	Transit Van mediana	V	Sencillo	1.5	4.86	1.97	2.07	2.933
Hino	Serie 500 1018	C2	Dual	7.3	7.50	2.18	2.49	4.35
Chevrolet	Silverado	PKP	Dual	3.3	5.83	2.04	1.95	3.492
International	DuraStar 4300	C2	Dual	10.5	9.50	2.50	-	5.994
Hyundai	H-100	C2L	Dual	1.4	5.18	1.74	1.97	2.64

Fuente: Elaboración propia, con base en especificaciones de los fabricantes.

Tabla 7.7. Dimensiones promedio de vehículo de carga tipo.

Tipo de vehículo de carga	Capacidad promedio (t)	Longitud promedio (m)	Ancho promedio (m)	Alto promedio (m)	Distancia entre ejes promedio (m)
C2	9.08	8.49	2.42	2.61	5.23
C2L	3.48	5.69	1.88	2.21	3.29
PKP	1.90	5.31	1.92	1.81	3.20
V	1.23	5.25	1.98	2.13	3.18
VL	1.00	4.43	1.72	1.79	2.70
Total general	3.66	5.95	1.99	2.13	3.57

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7.8. Dimensiones mínimas recomendadas por tipo de bahía

Tipo de bahía	Capacidad promedio (t)	Longitud promedio (m)	Anchura promedio (m)	Espacio adicional (m)	Dimensiones mínima recomendable (m)
LB	1.9	5.17	1.88	2.3	7.5 x 2
HB	9.08	8.49	2.42	2.5	11 x 2.5

Fuente: Elaboración propia

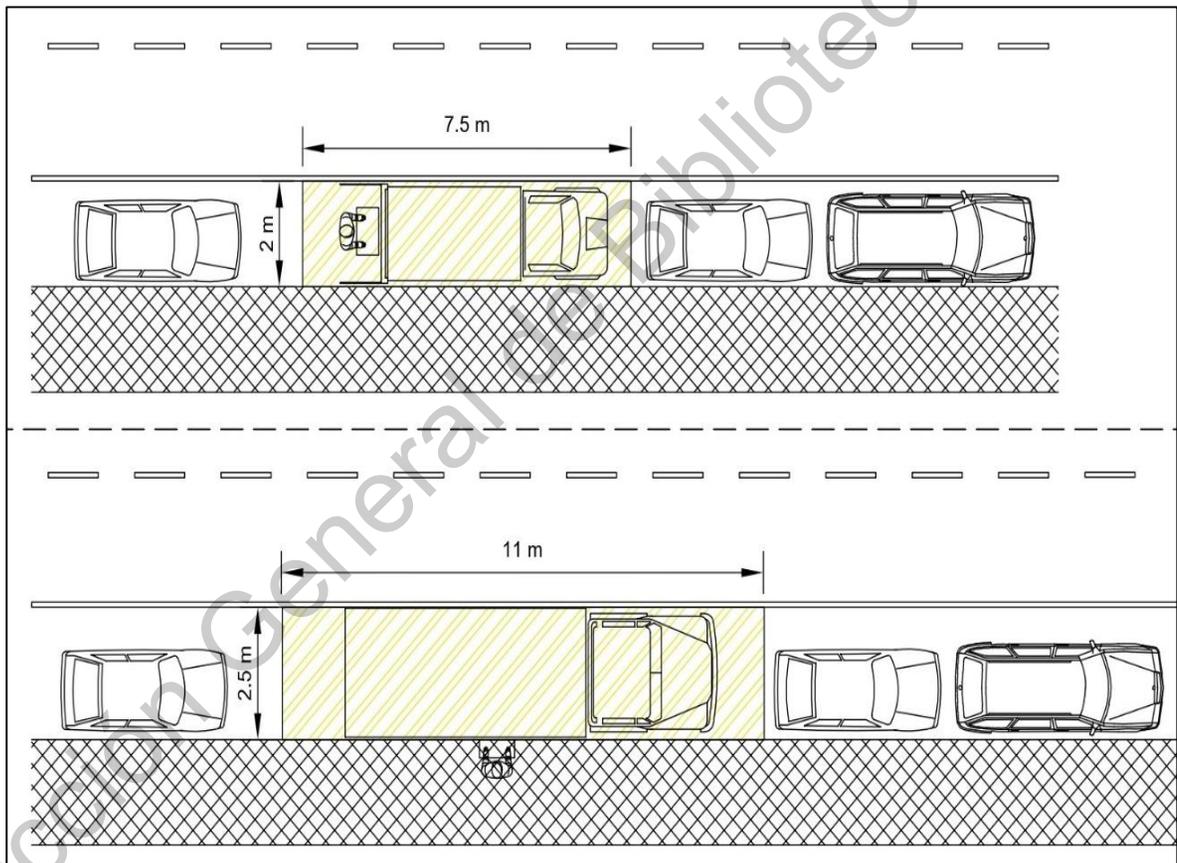


Figura 7.2. Dimensiones mínimas requeridas por tipo de bahía (arriba: bahía tipo LB; abajo: bahía tipo HB).

Fuente: Elaboración propia.

Los registros provenientes de las observaciones hechas *in-situ* revelaron que los vehículos de carga ligeros representan aproximadamente el 81.5%²¹ de la flota total de vehículos de carga que llega al caso de estudio en un período pico de 3 horas (de 11:00AM a 14:00PM). Con base en esto, la configuración del sistema de bahías fue la siguiente: para el caso de estudio, $127.55 * 0.815 = 103.95 \approx 104$ bahías de tipo LB y 24 bahías de tipo HB; para la zona de análisis de tráfico, $7.84 * 0.815 = 6.34 \approx 6$ bahías de tipo LB y 2 bahías de tipo HB²². Esto es lo mismo que decir que el caso de estudio y la zona de tráfico tienen, respectivamente, 1,044 y 67 metros lineales de estacionamiento carga/descarga.

Si el análisis se enfoca nuevamente en el ZAT, el sistema de bahías resultante reduce la longitud actual de estacionamiento carga/descarga en un 69.6%, indicando un ahorro crucial de espacio público, el cual puede ser utilizado para extender el estacionamiento de automóviles y/o ampliar el ancho de las banquetas.

Se reconoce que el tamaño de las bahías propuestas se diseñó con base en el juicio empírico resultante de los ejercicios en campo, y no a partir de una experimentación física (por ejemplo, bahías de prueba), a consecuencia de que este último involucra cuestiones políticas y sociales que hacen difícil su aplicación, especialmente en áreas sensibles, como lo son los centros históricos. No obstante, para evaluar sólidamente el desempeño operativo del tamaño de las bahías, se recomienda dicho enfoque experimental para futuros trabajos.

²¹ De los 27 registros levantados exitosamente, 22 fueron vehículos ligeros (V, VL, PKP y C2L), constituyendo el 81.5% de la flota total de vehículos de carga sondeada.

²² Dado que la localización de las bahías depende del tipo de vehículo de carga, el orden metodológico de la configuración espacial fue cambiado: i) número, ii) tamaño, y iii) localización.

7.2.3 Localización de las bahías

Durante el análisis *in-situ* de las distancias de caminata, se observó lo siguiente: los transportistas de carga que consolidan las solicitudes de entrega en forma de acarreo manual, independientemente del tipo de vehículo de carga utilizado en la logística de distribución, no recorren distancias superiores a 50 m; mientras que aquellos que realizan las entregas por medio de equipos mecánicos (por ejemplo, diablitos o carretillas) recorren distancias de hasta 200 m (aproximadamente dos cuadras en un contexto de núcleo urbano), siendo los vehículos tipo C2L y C2 los más representativos de esta modalidad de traslado de mercancías, tal como se expuso en el apartado de metodología (ver la Figura 7.3 y Figura 7.4). Así, la distancia radial del área de servicio de las bahías tipo *LB* y *HB* son, respectivamente, 50 y 200 m²³.

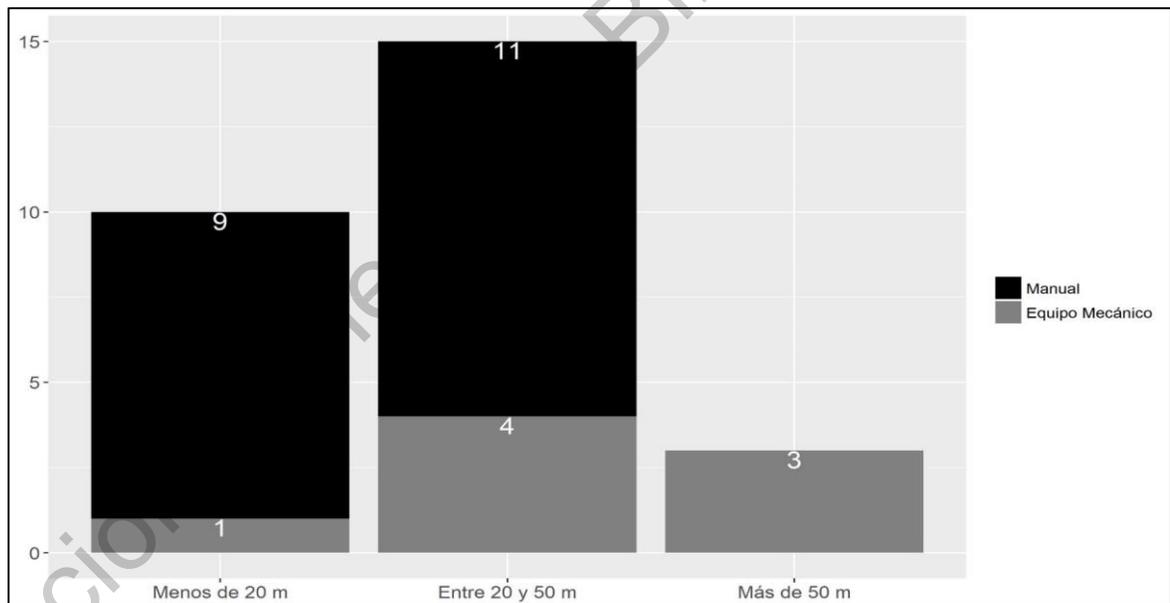


Figura 7.3. Distancia máxima de caminata por modo de transporte de mercancías.

Fuente: Elaboración propia

²³ Las distancias de caminata son sumamente relativas, ya que dependen en gran medida del rendimiento físico de los transportistas. Por ejemplo, en el caso de las entregas manuales, algunos transportistas recorren una distancia máxima de 57 m, mientras que otros 44 m, siendo 50 m, por lo tanto, un valor conservador.

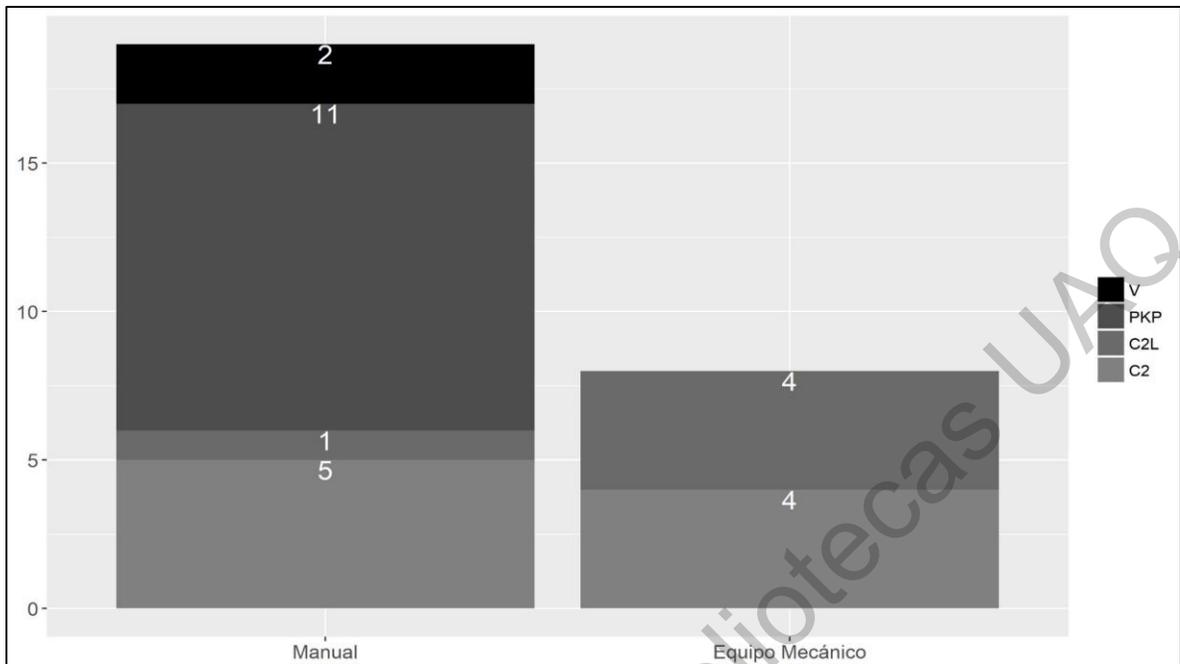


Figura 7.4. Modalidad de entrega de mercancías empleada por tipo de vehículo de carga.

Fuente: Elaboración propia

Basándose en lo anterior, la Figura 7.5 muestra la capacidad de servicio del sistema de bahías actual vs el propuesto, suponiendo que cada bahía carga/descarga es de tipo *LB* (para vehículos de carga ligeros). Como consecuencia derivada de un número excesivo de bahías en un sistema, la distribución espacial de las bahías actuales presenta una sobrecobertura de establecimientos minoristas, en la cual la superposición de áreas de servicio es aproximadamente del 65.2%, resultando así en una cobertura efectiva de sólo el 34.8%. Por otro lado, la distribución espacial propuesta no solo cubre enteramente el conglomerado comercial con un menor número de bahías (8 bahías) y con un porcentaje mínimo de áreas de servicio superpuestas (0.41%), sino también una gran área del ZAT, lo cual permitiría satisfacer la demanda de estacionamiento de carga de futuros establecimientos minoristas en el caso de una reconfiguración comercial debidamente planeada a nivel municipal.



Figura 7.5. Localización espacial de bahías carga/descarga (arriba: escenario actual; abajo: escenario alternativo).

Fuente: Elaboración propia.

Con base en la distribución anterior, las dos bahías tipo HB que componen el sistema se asignaron verificando que sus áreas de servicio cubrieran la mayor parte del conglomerado comercial con el mínimo porcentaje superposición entre ellas. En este sentido, la Figura 7.6 muestra la localización de dichas bahías, cuyas capacidades de servicio en conjunto cubren el 96.21% de los establecimientos minoristas del ZAT con un porcentaje de 1.31% de áreas de servicios superpuestas.

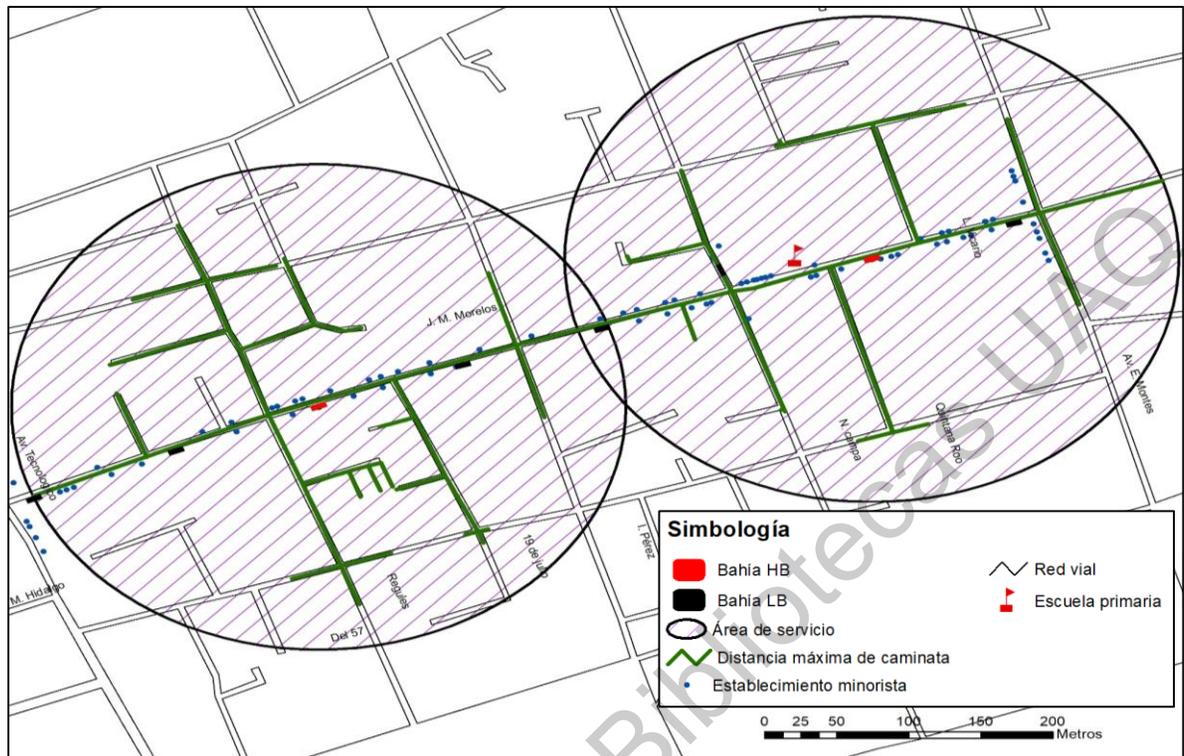


Figura 7.6. Capacidad de servicio de las bahías tipo HB.

Fuente: Elaboración propia.

Vale la pena subrayar que la superposición de áreas de servicio sólo es válida cuando la demanda de carga generada por un grupo de establecimientos minoristas en un período determinado es tal que la capacidad de una sola bahía no puede satisfacerla. Sin embargo, ubicar bahías muy cercanas entre sí –menores a 10 metros, de acuerdo con Alho *et al.* (2017)– tampoco es viable, ya que el espacio sobrante entre ellas pierde su funcionalidad lineal. Por tanto, una solución alternativa es la *unión de bahías* (las áreas de servicio de ambas bahías se convierten en uno). Para ello, se sugiere como trabajo futuro el desarrollo de *modelos logísticos* que determinen la probabilidad de ocurrencia de que dos o más vehículos de carga requieran simultáneamente el uso de un espacio de estacionamiento en función de características espaciales y económicas de los establecimientos minoristas (por ejemplo, la clase de actividad y la distancia entre los establecimientos y la bahía), permitiendo así optimizar la localización espacial de las bahías carga/descarga y, en consecuencia, en su utilización.

7.2.4 Escenarios de microsimulación

La Tabla 7.9 y la Tabla 7.10 muestran, respectivamente, los resultados de la simulación de tráfico por cada escenario de cumplimiento y la diferencia relativa de cada uno de estos con respecto al escenario base. Tomando como referencia los indicadores de desempeño de tráfico, la Figura 7.7 ilustra gráficamente los deterioros de la circulación vial (en porcentaje) de cada escenario de cumplimiento con respecto al escenario base.

En una primera instancia, se puede observar que el escenario base (en el cual la demanda de estacionamiento de carga es cero), exhibió un bajo desempeño de tráfico (tiempos de viaje altos y velocidades bajas). De hecho, de conformidad con lo estipulado en el *Highway Capacity Manual* (HCM, 2000), tal comportamiento se le atribuye un nivel de servicio E^{24} (velocidad entre 14 y 18 km/h), pero esto se debe a las condiciones locales del ZAT, por ejemplo, el diseño geométrico de la red vial (un solo carril de tráfico), las regularizaciones de tráfico (intersecciones uno a uno), y la amplia gama del uso de suelo (la escuela primaria Constitución).

Tabla 7.9. Indicadores de desempeño por escenario de entrega.

Indicador de desempeño de tráfico	Escenario base	100% de cumplimiento	95% de cumplimiento	90% de cumplimiento	80% de cumplimiento
Densidad (veh/km)	34.23	33.79	37.49	41.57	51.56
Número de paradas	7.88	7.79	7.96	8.58	9.38
Tiempo de demora (seg/km)	273.18	238.21	298.51	344.17	470.66
Tiempo de parada (seg/km)	269.98	234.63	295.42	341.88	469.31
Tiempo de viaje (seg/km)	420.87	385.91	446.2	491.93	618.5
Tiempo total de recorrido (h)	123.98	121.5	127.63	153.54	183.52
Velocidad (km/h)	14.08	14.15	13.92	13.48	13.03

Fuente: Elaboración propia.

²⁴ *Sistema de tráfico con retrasos significativos (HCM, 2000 y SEDATU, 2018).*

Tabla 7.10. Diferencia relativa de cada escenario de entrega con respecto al escenario base.

Indicador de desempeño de tráfico	100% de cumplimiento	95% de cumplimiento	90% de cumplimiento	80% de cumplimiento
Densidad (veh/km)	-1.29%	9.52%	21.44%	50.63%
Número de paradas	-1.14%	1.02%	8.88%	19.04%
Tiempo de demora (seg/km)	-12.80%	9.27%	25.99%	72.29%
Tiempo de parada (seg/km)	-13.09%	9.42%	26.63%	73.83%
Tiempo de viaje (seg/km)	-8.31%	6.02%	16.88%	46.96%
Tiempo total de recorrido (h)	-2.00%	2.94%	23.84%	48.02%
Velocidad (km/h)	0.50%	-1.14%	-4.26%	-7.46%

Fuente: Elaboración propia.

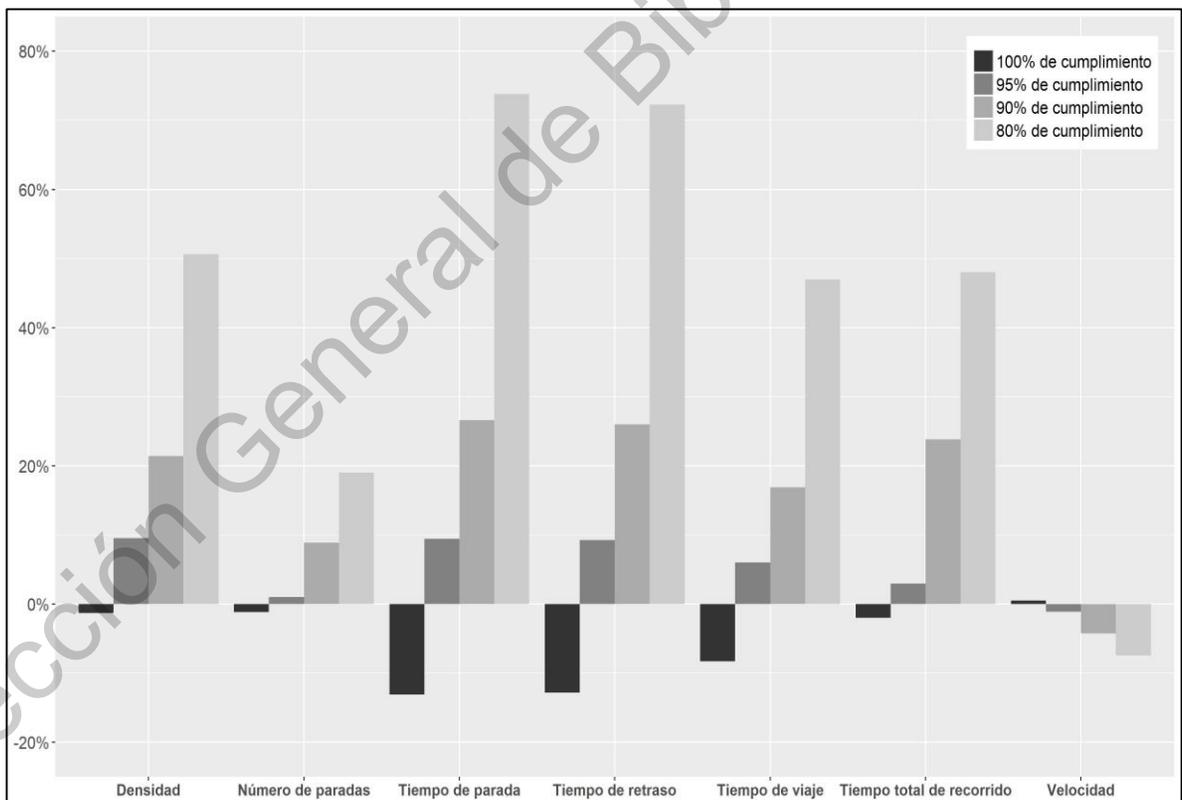


Figura 7.7. Desempeño de la red vial por escenario de cumplimiento.

Fuente: Elaboración propia.

A pesar de que el nivel de servicio *E* se mantuvo casi invariable en cada uno de los escenarios de entrega (cambiando de *E* a *F* en el escenario de cumplimiento de 95%), el escenario de cumplimiento del 100%, que se caracteriza por una fuerte estructura de cumplimiento –*enforcement*– y por una señalización vertical y horizontal adecuada, mejoró ligeramente los flujos de tráfico (movilidad) en un 2%, de acuerdo al indicador de *tiempo total de viaje* (uno de los tantos indicadores asociado con la reducción de la congestión (Ferrara *et al.*, 2018)). Esto indica que el sistema de bahías resultante cumple su función de reducir la interferencia de los vehículos de carga en los flujos de tráfico urbano al tiempo que maximiza las operaciones de entrega de carga. Si bien uno podría pensar que la mejora es mínima, casi imperceptible desde la perspectiva de los usuarios de la red, los beneficios económicos asociados son particularmente relevantes: si se tiene en cuenta que para el presente año (2019), el valor del tiempo de los usuarios que viajan por motivos de trabajo en el contexto mexicano es de \$58.39 pesos por hora²⁵, el sistema de bahías resultante de la metodología propuesta logra un ahorro de \$144.8 pesos (2.48 h * \$58.39) en un período pico de 2 horas. Si este valor monetario se proyecta a un año operacional (sin tomar en consideración los domingos y los días festivos y de costumbre)²⁶, se obtiene un ahorro potencial de \$43,584.8 pesos y, si se asume un horizonte de tiempo de 10 años²⁷, una utilidad de \$435,848 puede ser esperada. Cabe señalar que tales beneficios económicos son el producto subyacente del sistema de bahías del ZAT (8 bahías) y no del caso de estudio (128 bahías), en el cual, por regla de tres, los ahorros son sustancialmente mayores. Estos resultados brindan sustento suficiente para que los responsables de la toma de decisiones en materia de planeación urbana

²⁵ Valor obtenido siguiendo la metodología desarrollada por Torres *et al.* (2012).

²⁶ Sin tomar en consideración dichos días (52 domingos, 7 días festivos y 5 días de costumbre), el año operacional se compone de solo 301 días. Para verificar que días son designados como festivos y de costumbre, se recomienda consultar el libro de Costo y tiempo en edificación de Suárez (2014).

²⁷ En vista de que el transporte urbano de carga es un sistema altamente complejo (Holguín-Veras *et al.* 2017), Taniguchi *et al.* (2015) recomienda que las iniciativas asociadas –ya sea proyectos, programas o políticas– apunten a un horizonte de tiempo no mayor a 10 años (plan de horizonte de corto-mediano plazo).

implementen apropiadamente como política de movilidad sustentable de las áreas de estacionamiento carga/descarga en el espacio público.

Como se puede apreciar en la Figura 7.7, y como era de esperarse, las condiciones del tráfico se deterioran exponencialmente a medida que aumenta el nivel de incumplimiento. Por ejemplo, el escenario de cumplimiento del 95% muestra una reducción en la movilidad del 2.94%. Esto significa que un solo estacionamiento en carril –cuyo tiempo de parada promedio es de 2.85 minutos– en un período pico aumenta el tiempo total de recorrido de 123.98 a 127.63 h (3.65 h), lo que resulta en una disminución de la velocidad y, en consecuencia, un aumento en los indicadores de desempeño restantes. En términos económicos, un estacionamiento en carril es homólogo a una pérdida monetaria de \$213.12 pesos (3.65 h * \$58.39), demostrando así que los ahorros obtenidos por una planificación adecuada de espacios de estacionamiento carga/descarga se ven eclipsados por una sola práctica de estacionamiento ilegal. Evidentemente, este fenómeno se intensifica cuando cuatro vehículos de carga realizan estacionamientos en el carril (escenario de cumplimiento del 80%), donde la movilidad se reduce en un 48%. El desempeño de la red vial en estas condiciones es tal que un vehículo de pasajeros necesita el doble de tiempo para recorrer un kilómetro. Por lo tanto, la evaluación *ex-ante* sugiere la necesidad de eliminar totalmente, o minimizar potencialmente, las prácticas ilegales de estacionamiento de vehículos de carga para mantener, o mejorar, en el mejor de los casos, la movilidad urbana sustentable.

La Tabla 7.11 muestra los resultados de la prueba MANOVA unidireccional para cada escenario de cumplimiento. Sobre la base de este, los escenarios con un nivel de cumplimiento del 100%, 95% y 90% revelaron no ser estadísticamente diferentes con respecto al escenario base. Esto indica que el desempeño de tráfico del ZAT en un período pico de 2 horas no es disruptivo significativamente aun cuando dos vehículos de carga realizan estacionamiento en carril. Sin embargo, desde la percepción de los usuarios de vehículos privados, el cambio en el flujo de tráfico es notable cuando el nivel de incumplimiento supera el 20% (cuatro

estacionamientos en carril), ya que el escenario de cumplimiento del 80% muestra ser estadísticamente diferente del escenario base, con un p-value menor a 0.05 (5%) en cada una de las pruebas estadísticas testeadas. Este resultado era de esperarse debido a sus pobres indicadores de desempeño.

Tabla 7.11. Resultados de la prueba MANOVA unidireccional por cada escenario de cumplimiento.

Escenario de cumplimiento	Prueba Pillai		Prueba Wilks		Prueba Hotelling-Lawley		Prueba Roy	
	Coeficiente	P-value	Coeficiente	P-value	Coeficiente	P-value	Coeficiente	P-value
100% de cumplimiento	0.056	0.922	0.944	0.922	0.059	0.922	0.059	0.922
95% de cumplimiento	0.060	0.908	0.940	0.908	0.064	0.908	0.064	0.908
90% de cumplimiento	0.182	0.259	0.818	0.259	0.222	0.259	0.222	0.259
80% de cumplimiento	0.462	0.000***	0.538	0.000***	0.859	0.000***	0.859	0.000***

(***) significativo a un nivel del 0.01, (**) significativo a un nivel del 0.1%, (*) significativo a un nivel del 1%, (´) significativo a un nivel del 5%,

Fuente: Elaboración propia.

8. CONCLUSIONES

Con el fin de reducir las prácticas ilegales de estacionamiento de los vehículos de carga, las cuales son producto de la falta de espacios urbanos lo suficientemente cercanos a los puntos de entrega (establecimientos comerciales o de servicios), se propuso una metodología de planificación para la gestión de bahías carga/descarga en áreas urbanas congestionadas. Pautas tanto para la estimación de la demanda de estacionamiento de carga como para una configuración espacial óptima de bahías (número, tamaño y localización) fueron explícitamente descritas. La eficacia de la metodología se verificó comparando el sistema de bahías resultante con un sistema pre-implementado en un corredor vial de 700 metros del Centro Histórico de la Ciudad de Querétaro, México.

Asimismo, y siguiendo el esquema de las “buenas practicas”, se llevó a cabo una evaluación *ex-ante* a través de herramientas de microsimulación con el propósito de identificar los posibles impactos de tráfico –ya sea positivos o negativo– derivados de implementar el sistema de bahías resultante de la metodología propuesta, así como aquellos inducidos por los estacionamientos ilegales en carril.

Sobre la base del análisis exploratorio realizado al marco de modelación AVC (atracción de viajes de carga) construido, se halló que la variable económica de *número de ventas por día*, convertido en este estudio en el *número de clientes por día*, fue estadísticamente significativo como predictor de las entregas de carga urbana en la mayoría de las clases de actividad minoristas (6-Dígitos SCIAN) sondeadas; sin embargo, debido a que la base de datos de establecimientos minoristas proporcionada por el DENUE no almacenaba información de este tipo, su aplicación en el caso de estudio no pudo llevarse a cabo.

Por otro lado, el número de empleados demostró ser la variable predictiva subsecuente con el mayor poder predictivo del AVC, siendo, al igual que el número de clientes, estadísticamente significativo y conceptualmente válido en casi todas las clases de actividad, excepto en las actividades de regalos y calzado, cuyas

estadísticas de bondad de ajuste no cumplieron con el umbral mínimo de significancia impuesto por el Institute of Transportation Engineers (ITE). Estos resultados contribuyen a la tendencia global en estudios a nivel internacional que tiene el número de empleados como variable explicativa potencial para la estimación no sólo de la atracción de viajes de carga (AVC), sino de todas las métricas derivadas de las actividades de carga y servicios (ACS), independientemente del nivel de análisis económico (dígitos SCIAN) y de las condiciones económicas del área geográfica de estudio (ya sea desarrollado o en vías de desarrollo). De igual modo se descubrió que los modelos AVC producen mejores resultados cuando la forma funcional es lineal sin un término constante (modelos tipo ER).

Los elementos de superioridad del sistema de bahías resultante de la metodología propuesta frente al sistema actual fueron: (a) un equilibrio efectivo en el uso del espacio urbano entre vehículos privados y vehículos de carga; (b) la cobertura total de la demanda de estacionamiento de carga de los establecimientos minoristas con un menor número de bahías y con un porcentaje mínimo de áreas de servicio superpuestas; y (c) ahorros potenciales de espacio público al estandarizar dos tipos de bahías (uno para vehículos de carga ligeros y otro para vehículos de carga pesados). Así, el marco comparativo proporciona un soporte concluyente de que un sistema de bahía estandarizado es potencialmente superior a uno altamente heterogéneo en términos del uso integral del espacio público.

Los resultados de la microsimulación revelaron que el sistema de bahías alternativo mejoró la movilidad en un 2% con respecto a un escenario base en el que no se proporciona ningún servicio de reserva, corroborando la hipótesis planteada en el presente trabajo de investigación. No obstante, por lo que se refiere a los impactos negativos de un mal funcionamiento de las áreas de carga y descarga, se descubrió que dicha mejora se ve ensombrecida cuando un solo vehículo de carga realiza estacionamiento en el carril, reduciendo la movilidad en un casi 3%. Este fenómeno se intensifica exponencialmente cuando el nivel de incumplimiento de la flota de vehículos de carga es igual al 20% (lo cual es

equivalente a cuatro estacionamientos en carril), donde la movilidad se reduce en un 48%. A la luz de estos resultados, se concluye que la efectividad de un sistema de bahías carga/descarga depende no solo de una correcta planeación, sino también de una estructura de cumplimiento –*enforcement*– sólida y de una señalización vertical y horizontal adecuada.

Con respecto a la contribución al estado de arte en materia de planeación de áreas de entrega de mercancías, se tiene lo siguiente: optimización de los tres componentes de la configuración espacial de bahías carga/descarga: número, tamaño y localización; la evaluación de los impactos de tráfico derivados tanto del sistema de bahías resultante como de las prácticas ilegales de estacionamiento mediante la simulación de tráfico a un nivel microscópico considerando los tres tipos de obstrucciones: espacial, temporal y de propagación (véase la Tabla 8.1).

Tabla 8.1. Contribuciones al estado del arte.

Autor(es)	Simulación de la obstrucción espacial	Simulación de la obstrucción temporal	Simulación de la obstrucción de propagación	Optimización del taño de las bahías	Optimización del número de bahías	Optimización de la localización de las bahías	Optimización del uso de las bahías
Aiura y Taniguchi (2006)	No	Solo para vehículos estacionados en bahías	No	No	No	Si	Si
Delafre (2009)	Si	Si	Si	No	No	No	No
Dezi <i>et al.</i> (2010)	No	No	No	Si	Si	Si	No
McLeon y Cherrett (2011)	No	No	No	No, pero posible	No	No	Si
Muñuzuri <i>et al.</i> (2012)	No	No	No	No	No, pero posible	Si	No
Alho <i>et al.</i> (2017)	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si
Comi <i>et al.</i> (2017)	No	No	No	No	Si	Si	Si
La presente investigación	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No

Fuente: Elaboración propia a partir de Alho *et al.* (2014).

8.1 Líneas de investigación futura

Entre los futuros trabajos de investigación que pueden llevarse a cabo como producto de las limitaciones presentadas en la metodología, de lo observado en los ejercicios de campo, y de los resultados obtenidos en la presente tesis, se encuentran los siguientes:

- Continuar con la construcción de los modelos de atracción de viajes de carga (AVC) en el sector económico de comercio al por menor a un nivel de precisión de 6-Dígitos SCIAN, con un foco de atención en aquellas clases de actividad no sondeadas y con pocos registros en esta investigación (por ejemplo, las tiendas departamentales y farmacias con minisúper), asegurándose que el tamaño de la muestra de cada uno de estas sea, preferentemente, mayor de 20 elementos (en la medida de lo posible). Esto último con la finalidad de que los modelos AVC desarrollados puedan producir resultados con una alta confiabilidad.
- Desde un punto de vista integral en términos del uso de las áreas carga/descarga, desarrollar un marco de modelación AVC para el sector económico de *servicios de preparación de alimentos y bebidas* a un nivel de precisión de 6-Dígitos SCIAN (por ejemplo, restaurantes y bares).
- Para la creación de iniciativas sostenibles –ya sea proyectos, programas o políticas– vinculadas al sistema de transporte urbano de carga, se recomienda construir un marco de modelación que contemple los 20 sectores económicos del SCIAN y todas las métricas derivadas de las actividades de carga y servicio (ACS) (por mencionar alguno de ellos: la producción de los viajes de carga y la atracción de viajes de servicio) a un nivel de precisión de 6-Dígitos. Esto se traduce a construir 6,354 modelos predictivos –considerando únicamente una tipología de modelo (el de mayor significancia

estadística– a partir de una muestra de 127,080 elementos (20 elementos por clase de actividad).

- Con el objetivo de mejorar significativamente los parámetros: γ , φ y θ , a tal grado que puedan utilizarse en cualquier contexto de *ciudades en vías de desarrollo*, se aconseja seguir con la línea de investigación seguida dentro de la Facultad de Ingeniería basada en los ejercicios observacionales de vehículos de carga en clases de actividades con una logística de abastecimiento diario (por ejemplo, tiendas de abarrotes y minisúper).
- Por medio de cajones de estacionamiento de prueba, evaluar la idoneidad operativa (tiempo consumido en las maniobras de estacionamiento) del tamaño de las bahías propuesta. Evidentemente, para la bahía tipo LB, se recomienda usar un amplio rango de vehículos de carga ligeros (V, VL, PKP y C2L), y para la bahía tipo HB, diferentes vehículos de carga tipo C2 (vehículos pesados). Con dicha experimentación será posible optimizar el tamaño de las bahías al punto de que las maniobras de estacionamiento sean lo suficientemente suaves y rápidas como para no ocasionar obstrucciones temporales significantes.
- En función de las características económicas y espaciales de los establecimientos minoristas (por ejemplo, la clase de actividad y la distancia entre los establecimientos y la bahía), crear modelos logísticos que determinen la probabilidad de ocurrencia de que dos o más vehículos de carga requieran el uso simultaneo de un espacio de estacionamiento. Esto con el fin de optimizar la distribución espacial de las bahías carga/descarga y, por consecuencia, en su utilización.
- Analógicamente al servicio de transporte público, desarrollar un API (*Application Programming Interfaces*) en la herramienta computacional

Aimsun que permita modelar la logística de distribución del sistema de transporte urbano de carga a partir de diferentes patrones de entrega (por ejemplo, matrices OD de carga y número de entregas por parada). Esto permitirá evaluar sólidamente la eficiencia operativa de los vehículos de carga ante la implementación, o modificación, de una iniciativa relacionada o no con la misma.

- Independientemente del lenguaje de programación a utilizar, se recomienda ampliamente automatizar los trabajos involucrados en la configuración espacial de las bahías carga/descarga. Esto con la finalidad de no sólo reducir los tiempos y esfuerzos asociados, sino también proporcionar a los planificadores urbanos una herramienta computacional amigable y ágil para el acondicionamiento de áreas carga/descarga en el espacio público.

9. REFERENCIAS

- Aditjandra, P. T., Galatioto, F., Bell, M. C. y 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), 4-22.
- Aiura, N., y Taniguchi, E. (2006). Planning on-street loading-unloading spaces considering the behaviour of pickup-delivery vehicles. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6, 2963-2974.
- Alho, A., de Abreu e Silva, J., y de Sousa, J. (2014). A state-of-the-art modeling framework to improve congestion by changing the configuration/ enforcement of urban logistics loading/unloading bays. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 111, 360–369.
- Alho, A., de Abreu e Silva, J., y de Sousa, J. (2017). Improving mobility by optimizing the number, location and usage of loading/unloading bays for urban freight vehicles. *Transportation Research Part D*, in press.
- Allen, J., y Browne, M. (2008). *Project Work Module 9 (Urban Freight Transport): Review of Survey Techniques Used in Urban Freight Studies*. Londres: University of Westminster.
- Barceló, J. (2010). *Fundamentals of Traffic Simulation*. Nueva York, USA: Springer.
- Barceló, J. y Casas, C. (2015). Dynamic Network Simulation with Aimsun. En R. Kitamura y M. Kuwahara (Eds.). *Simulation Approaches in Transportation Analysis*. (pp. 57-98). USA: Springer.
- Barceló, J. y Casas, J. (2014). Methodological Notes On the Calibration and Validation of Microscopic Traffic Simulation Models. *Transportation Research Board*. Congreso llevado a cabo en el LXXXIII reunión anual del Transportation Research Board, Washington, DC.
- Barlett, R. S. y Newton, W. H. (1982). *Goods Vehicle Trip Generation and Attraction by Industrial and Commercial Premises*. Berkshire, Inglaterra: Transport and Road Research Laboratory.
- Betanzo, E. (2015a). Perspectivas del crecimiento urbano: la actividad comercial minorista y el transporte de bienes en la zona metropolitana de Querétaro. *CIENCIA ergo sum*, 22(1), pp. 63-74.
- Betanzo, E. (2015b). *Generación de Indicadores de desempeño del transporte de carga en ciudades mexicanas en apoyo al diseño de políticas energéticas y de desarrollo sustentable*. Informe de Investigación, Universidad Autónoma de Querétaro, México.

- Betanzo, E. (2017). *De la logística urbana a las políticas públicas en materia ambiental, una propuesta basada en indicadores*. Querétaro, México: Editorial Universitaria.
- Betanzo, E., Romero, J., y Obregón, S. (2013). Un referencial para evaluar la gestión pública en transporte urbano de carga. *Gestión y Política Pública*, 22(2), pp. 313-35.
- Brogan, J. D. (1980). Improving truck trip-generation techniques through trip-end stratification. *Transportation Research Record*, 771, 1-6.
- Bueno, C. O. (2012). *Impacto de movilidad inducido por la urbanización dispersa. Caso de estudio: Zona metropolitana de Querétaro (1995-2010)* (tesis de maestría). Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.
- Cal y Mayor, R. y Cárdenas, J. (2018). *Ingeniería Transito: Fundamentos y Aplicaciones*. Ciudad de México, México: Alfaomega.
- Casas, J., Ferrer, J. L., Garcia, G., Perarnau, J. y Torday, A. (2010). Traffic Simulation with Aimsun. En, J. Barceló (Ed.), *Fundamentals of Traffic Simulation* (pp. 173-232). Nueva York, USA: Springer.
- Chiabaut, N. y Buisson, C. (2009). Replications in Stochastic Traffic Flow Models: Incremental Method to Determine Sufficient Number of Runs. En C. Appert-Rolland, F. Chevoir, P. Gondret, S. Lassarre, J. P. Lebacque, y M. Schreckenberg (Eds.). *Traffic and Granular Flow '07* (pp. 35-44). Springer.
- Comi, A, Delle, P., Filippi, F. y Nuzzolo, A. (2012). Urban Freight Transport Demand Modelling: A State of the Art. *European Transport\Trasporti Europei*, 51(7), 1-17.
- Comi, A., Buttarazzia, B., Schiraldia, M. M., Innarellaa, R., Variscoa, M. and Rosatib, L. (2017). DynaLOAD: a simulation framework for planning, managing and controlling urban delivery bays. *Transportation Research Procedia*, 22, 335–344.
- Dablanc, L. (2006). Goods transport in large European cities: Difficult to organize, difficult to modernize. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(3), 280-285.
- Delaître, L., y Routhier, J. L. (2010). Mixing two French tools for delivery areas scheme decision making. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2, 6274–6285.
- Dezi, G., Dondi, G., y Sangiorgi, C. (2010). Urban freight transport in Bologna: Planning commercial vehicle loading/unloading zones. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2(3), 5990–6001.

- Diario Oficial del Distrito Federal (2001). *Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito en Áreas Urbanas y Suburbanas, Tomo I.*, México, DF: Gaceta Oficial del Distrito Federal.
- Dorado, M. L. (2014). *Simulación de un Agente Enrutador de Vehículos a Través de un Sistema Basado en Tiempos de Viaje* (tesis de maestría). Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.
- Ferrara, A., Sacone, S. y Siri, S. (2018). *Freeway Traffic Modelling and Control*. Glasgow, Inglaterra: Springer.
- Field, A., Miles, J. y Field, Z. (2012). *Discovering Statistics Using R*. Londres, Inglaterra: SAGE.
- González, O. (2009). *Industrialización y mercados segmentados de transporte*. Querétaro, México: Universidad Autónoma de Querétaro.
- Guenzel, P. J., Berckmans, T. R., y Cannel, C. F. (1983). *General Interview Techniques: A Self-Instructional Workbook for Telephone and Personal Interviewer Training*. Michigan, USA: The University of Michigan.
- Hartgen, D. T., Fields, G., Layzell A., y San Jose, E. (2014). How Employers View Traffic Congestion: Results of a National Survey. *Transportation Research Record*, 2319, 56-66.
- HCM (2000). *High Capacity Manual*. Washington, DC: Transportation Research Board.
- Herzog, B. (2011). *Transporte Urbano de Carga para Ciudades en Desarrollo*. Eschborn, Alemania: Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
- Holguín-Veras, J., Amaya Lealb, J., Sánchez-Díaz, I., Browne, M. and Wojtowicz, J. (2018). State of the art and practice of urban freight management Part I: Infrastructure, vehicle-related, and traffic operations. *Transportation Research Part A*, in press.
- Holguín-Veras, J., Jaller, M., Sánchez-Díaz, I., Campbell, S. y Lawson, C. (2014). Freight Generation and Freight Trip Generation Models. En L. Tavasszy y G. De Jong (Eds.). *Modelling Freight Transport* (pp.43-63). Londres, Inglaterra: Elsevier.
- Holguín-Veras, J., Lawson, C., Jaller, M., Sánchez-Díaz, I. y Campbell, S. (2012). *NCFRP Proyecto 25: Freight Trip Generation and Land Use: Handbook*. Washington, DC: Transport Research Board.
- Holguín-Veras, J., Lawson, C., Wang, C., Jaller, M., Gonzales, C., Campbell, S., Kalahashti, L., Wojtowicz, J., y Ramirez, D. (2017). *NCFRP Reporte 37: Using commodity Flow survey microdata and other establishment data to estimate the generation of freight, freight trips, and service trips*. Washington, DC: Transport Research Board.

- Hourdakis, J., Michalopoulos, P. G y Kottommannil, J. (2003). A Practical Procedure for Calibrating Microscopic Traffic Simulation Models. *Transportation Research Record*, 1852, 130-139.
- Iding, M., Meester, W. y Tavasszy, L. (2005). Freight trip generation by firms. *From Industry to Advanced Services - Perspectives of European Metropolitan Regions*. Congreso llevado a cabo en el XLII reunion del European Regional Science Association, Dortmund, Alemania.
- Institute of Transportation Engineers (2017). *Trip generation manual*. Washington, DC: ITE.
- Instituto Nacional de estadística y geografía (2013). *Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte, México SCIAN 2013*. Aguascalientes, México: INEGI.
- Instituto Nacional de estadística y geografía (2015). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas*. México: INEGI. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue>.
- Jaller, M., Holguín-Veras, J., y Darville, S. (2012). Parking in the city: Challenges for freight Traffic. *Transportation Research Record*, 2379, 46-56.
- Kelli, L., Affonso, R., Goncalves, D., Gomes, B. y Correa, S. (2017). Analysis of Freight Trip Generation Model for Food and Beverage in Belo Horizonte (Brazil). *Region*, 4(1),17-30.
- Klodefirtas, M. y Antoniou, C. (2013). Simulation-Based Assessment of Double-Parking Impacts on Traffic and Environmental Conditions. *Transportation Research Record*, 2390, 121-130.
- Law, M. A. (2015). *Simulation Modeling and Analysis*. Arizona, USA: McGrill-Hill.
- Lawson, C., Holguín-Veras, J., Sánchez-Díaz, I., Jaller, M., Campbell, S. y Powers, E. (2012). Estimated generation of freight trips based on land use. *Transportation Research Record*, 2269, 65-72.
- McLeod, F. y Cherrett, T. (2014). Loading bay booking and control for urban freight. *International Journal of Logistics Research and Applications: A Leading Journal of Supply Chain Management*, 14(69), 385-397.
- Melo, S. M. (2010). *Evaluation of urban goods distribution initiatives towards mobility and sustainability: indicators, stakeholders and assessment tools* (tesis de doctorado). Universidad de Oporto, Portugal.
- Muñuzuri, J., Cortés, P., Grosso, R., y Gaudix, J. (2012). Selecting the location of minihubs for freight delivery in congested downtown areas. *Journal of Computational Science*, 3(4), 228-237.

- Muñuzuri, J., Racero, J. y Larrañeta, J. (2002). Parking search modelling in freight transport. En L. J. Sucharov, C. A. Brebbia, F. G. Benitez y F. Benitez (Eds.). *Urban Transport VIII* (pp. 335-344). Southampton, Inglaterra: WIT Press.
- Novak, D. C., Hodgdon, C., Guo, F. y Aultman-Hall, L. (2011). Nationwide Freight Generation Models: A Spatial Regression Approach. *Networks and Spatial Economics*, 11, 23-41.
- Ogden, K (1992). *Urban goods movement: A guide to policy and planning*. Hants, Inglaterra: Ashgate
- Ortiz, L. (2006). *Calibración de un modelo de microsimulación para flujo mixto interrumpido, con aplicación a la ciudad de Concepción* (tesis de licenciatura)., Universidad del Bío-Bío, Región del Biobío, Chile.
- Ortuzar, J. D. (2016). *Modelos de demanda de transporte*. Ciudad de México, México: Alfaomega.
- Ortuzar, J. D. y Willumsen, L. G. (2011). *Modelling Transport*. Nueva York, USA: John Wiley and Sons.
- Padilla, X., Antún, J. P. y Alarcón, R. (2018). *Distribución urbana de mercancías*. Ciudad de México, México: Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano.
- Prieto, J. D. (2015). *Optimización de las líneas de transporte público en la Zona Metropolitana de Querétaro* (tesis de maestría). Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.
- Ramírez, E. (2012). *Comparación de la Interacción Vehicular Inducida por el Empleo de Carriles Preferenciales para el Transporte Público Utilizando Microsimulación de Tráfico* (tesis de maestría). Universidad Autónoma de Querétaro, México.
- Richardson, A. Ampt, E. S. y Meyburg, A. H. (1995). J., *Survey Methods for Transport Planning*. Victoria, Australia: University of Melbourne.
- Rivera, J. C. (2012). *Transporte de bienes en áreas periurbanas: ordenamiento urbano y de la actividad comercial en la Zona Metropolitana de Querétaro* (tesis de maestría). Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.
- Russo, F. y Comi, A. (2010). A model system for the ex-ante assessment of city logistics measures. *Research in Transportation Economics*, 31, 81-87.
- Sánchez-Díaz, I., Holguín-Veras, J. y Wang, Q. (2014). An exploratory analysis of spatial effects on freight trip attraction. *Transportation*, 43, 1-20.
- Secretaría de Comunicaciones y Transporte (2017). *NOM-012-SCT-2-2017: Pesos y dimensiones máximas*. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Federación.

- Secretaría de desarrollo social, Subsecretaría de desarrollo urbano y ordenación del territorio. (s.a.). *Programa de asistencia técnica en transporte urbano para las ciudades medias mexicanas, Manual de estudios de ingeniería de tránsito, Tomo II*. México: Subsecretaría De Desarrollo Urbano Y Ordenación Del Territorio.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2016). *Estrategia Nacional de Cambio Climático 2014-2018*. Ciudad de México, México: Gobierno de México.
- Secretaría Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (2018). *Manual de calles*. México: SEDATU.
- Silva, J. L. (2016). *Generación de Datos sobre el Transporte de Carga en Establecimientos Comerciales en la Ciudad de Querétaro* (tesis de licenciatura). Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.
- Suárez, C. (2014). *Costo y Tiempo en Edificación*. México: DF: LIMUSA.
- Taniguchi, E. y Thompson, R. G. (2015). *City Logistic: Mapping The Future*. Florida, USA: CRC Press.
- Taniguchi, E., Fwa, T. F. y Thompson, R. G. (2014). *Urban Transportation Logistic: Health, Safety, and Security Concerns*. Florida, USA: CRC Press.
- Taniguchi, E., Thompson, R. G., Yamada, T. y Duin R. V. (2001). *City Logistics: Network Modelling and Intelligent Transport System*. Yorkshire del Oeste, Inglaterra: Emerald.
- Torres, G., Hernández, S. y Ruvalcaba, J. I. (2012). *Publicación Técnica No. 381: Actualización de la metodología para estimar el valor del tiempo de los usuarios de la red carretera nacional*. Querétaro, México: Instituto Mexicano del Transporte.
- Transport Simulation Systems (2013). *Aimsun 7 Dynamic Simulators User's Manual*. España: TSS.
- Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (1988). *Manual para el Diseño de Estacionamientos*. Puebla, México: UPAEP.
- Vandenbulcke, G., Steenberghen, T. y Thomas, I. (2007). *Accessibility indicators to places and transports Final Report*. Bruselas, Belgica : Politique Scientifique Fédérale.

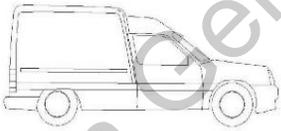
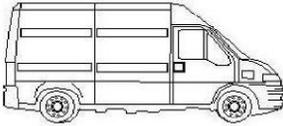
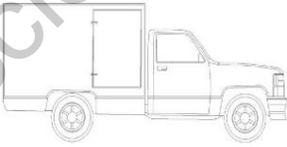
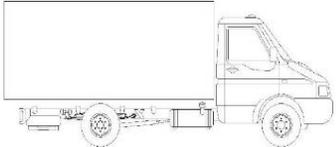
10. ANEXOS

ANEXO I: Instrumentos utilizados en las encuestas a establecimientos comerciales.

Universidad Autónoma de Querétaro Facultad de Ingeniería, División de Investigación y Posgrado Proyecto de investigación: "Planificación de bahías para maniobras de carga/descarga en áreas urbanas"			
INFORMACIÓN PRELIMINAR			
Encuestador: _____	Folio del encuestador: _____		
Encuesta Número: _____	Fecha de la encuesta: _____		
Hora de la encuesta: _____	Clave de formato: <input style="width: 50px;" type="text"/>		
SECCIÓN 1.- DATOS GENERALES DEL ESTABLECIMIENTO			
Nombre: _____	Estado: _____		
Colonia: _____	Municipio: _____		
Calle y No.: _____	C.P.: _____		
Horario de servicio: _____	Coordenadas: X _____ Y _____		
SECCIÓN 2.- OBSERVACIÓN EN EL EXTERIOR DEL ESTABLECIMIENTO			
(1) Tipo de establecimiento:	Sede <input type="checkbox"/>	Cadena / Franquicia <input type="checkbox"/>	Código SCIAN: _____
(2) Actividad comercial:	Comercio al por mayor <input type="checkbox"/>	Comercio al por menor <input type="checkbox"/>	Transporte, correo y almacenamiento <input type="checkbox"/>
(3) El establecimiento se ubica sobre:	Lateral Vía Rápida <input type="checkbox"/>	Vialidad (un solo sentido) <input type="checkbox"/>	Callejón o Cerrada <input type="checkbox"/>
	Vialidad c/camellón <input type="checkbox"/>	Vialidad (Dos sentidos) <input type="checkbox"/>	Andador <input type="checkbox"/>
(4) Cuenta con estacionamiento propio para los clientes:	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	
(5) Número de cajones asignado para los clientes:	_____		
(6) Número de camiones descargando en el momento de la encuesta:	_____		
(7) Número de camiones estacionados en la calle (durante la encuesta):	_____		
(8) Número de camiones estacionados en doble fila (durante la encuesta):	_____		
(9) Distancia (en metros) a la calle más cercana perteneciente a la vía rápida:	_____		
(10) Número de carriles en la vialidad:	(11) Ancho de la vialidad:	_____	
(12) Ancho de carriles:	(13) Ancho de la banqueta:	_____	
SECCIÓN 3.- PREGUNTAS AL ESTABLECIMIENTO			
(14) Superficie efectiva (en m2) del establecimiento:	_____		
(15) Número de empleados de tiempo completo en el establecimiento:	_____		
(16) Número de empleados de medio tiempo en el establecimiento:	(17) Número aproximado de camiones de reparto que llegan por día:	_____	
(18) Horarios del día de la mayor concentración de llegada de camiones de reparto:	(19) Número aproximado de camiones de reparto en los horarios de máxima afluencia:	_____	
(20) Días de la semana de la mayor concentración de los camiones:	(21) Número de camiones de reparto en los días máxima afluencia:	_____	
(22) Frecuencia de llegada (en hrs) de los camiones de reparto en los días de máxima afluencia:	(23) Número aproximado de clientes por día:	_____	
(24) Horarios del día de la mayor concentración de clientes:	(25) Número aproximado de clientes en los horarios de máxima afluencia:	_____	

FUENTE: Betanzo, E. (2015) Generación de Indicadores de desempeño del transporte de carga en ciudades mexicanas en apoyo al diseño de políticas energéticas y de desarrollo sustentable. Informe de Investigación, Universidad Autónoma de Querétaro, México.

Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería, División de Investigación y Posgrado
Proyecto de investigación: "Planificación de bahías para maniobras de carga/descarga en áreas urbanas"

<p>(26) días de la semana de la mayor concentración de clientes: _____</p> <p>(28) Número aproximado de productos que expande: _____</p> <p>(30) Productos abastecidos en mayor cantidad (volumen) a la semana: _____</p> <p>(32) Tiempo aproximado de las actividades del proveedor (desde el arribo hasta la partida): _____</p> <p>(34) Tiempo aproximado de carga de los camiones (en su caso): _____</p>	<p>(27) Número de clientes en los días de máxima afluencia: _____</p> <p>(29) Productos que son abastecidos más veces a la semana: _____</p> <p>(31) Proveedor mas frecuente en la semana: _____</p> <p>(33) Tiempo aproximado de descarga de los camiones: _____</p>
<p>(35) Equipo mecanico para las maniobras:</p> <p style="text-align: center;">Manual <input type="checkbox"/> Carretilla <input type="checkbox"/> diablo <input type="checkbox"/></p> <p style="text-align: center;">Otro: <input type="checkbox"/> Cual: _____</p>	
<p>(36) ¿Los proveedress usan equipo electrónico de mano para manejar pedidos?:</p> <p style="text-align: center;">Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></p>	
<p>(37) ¿Se entregan productos de distintas marcas con un mismo proveedor?:</p> <p style="text-align: center;">Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></p>	
<p>(38) ¿Se surte de productos con camión propio o de la franquicia?:</p> <p style="text-align: center;">Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></p>	
<p>(39) ¿Los camiones tienen problemas al estacionarse?:</p> <p style="text-align: center;">Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> A veces <input type="checkbox"/></p>	
<p>(40) Tiempo aproximado en estacionarse: _____</p>	
<p>(41) Cual de las siguientes medidas llevan a cabo los camiones de reparto al no encontrar estacionamiento:</p> <p style="text-align: center;">Estacionarse en doble fila <input type="checkbox"/> Estacionarse en la acera <input type="checkbox"/> Estacionarse retirado al establecimiento <input type="checkbox"/></p> <p style="text-align: center;">Se retiran y regresan otro día <input type="checkbox"/> Se mantienen conduciendo hasta encontrar un estacionamiento cercano <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/></p>	
<p>(42) Tipo de camión de reparto más utilizado por el proveedor:</p>	
 <p>VL <input type="checkbox"/></p>	 <p>V <input type="checkbox"/></p>
 <p>PKP1 <input type="checkbox"/></p>	 <p>C2 <input type="checkbox"/></p>
<p>(43) ¿Los camiones de reparto encuentran en disposición sus espacios asignados?:</p> <p style="text-align: center;">Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></p>	
<p>Comentarios:</p>	

INFORMACIÓN PRELIMINAR

Encuestador: _____ Folio del encuestador: _____
 Encuesta Número: _____ Fecha de la encuesta: _____
 Hora de la encuesta: _____ Clave de formato: _____

SECCION 1. DATOS GENERALES DEL ESTABLECIMIENTO

Nombre: _____ Calle y No.: _____
 Colonia: _____ Horario de servicio: _____
 Tipo de establecimiento (sede/franquicia): _____ Clase de actividad: _____

SECCION 2. PREGUNTAS AL ENTIDAD PROPIETARIA O CONTROLADORA

(1) Número aproximado de camiones de carga que llegan al establecimiento

En un día común: _____
 Por semana (en su caso): _____

(2) Si la respuesta fue en un día común: Bajo su consideración ¿en cuál de los siguientes horarios se presenta el mayor número de camiones de carga? Si la respuesta fue por semana: ¿En cuál de los siguientes horarios usualmente llega el camión de carga?:

- 06:00 - 08:00
- 08:00 - 10:00
- 10:00 - 12:00
- 12:00 - 14:00
- 14:00 - 17:00
- 17:00 - 22:00
- 22:00 - 06:00

Otro (por favor describa): _____

(3) ¿Cuántos camiones aproximados llegan en ese horario?

(4) ¿Qué día de la semana considera usted que se presenta el mayor número de proveedores? ***(seleccionar más de una categoría si el encuestado no está conforme a un día específico):**

- Lunes
- Martes
- Miércoles
- Jueves
- Viernes
- Sábado
- Domingo

(5) ¿Cuántos camiones de carga llegan en ese día? ***(el número de camiones debe ser igual o mayor a la respuesta de la pregunta 1):**

(6) Número aproximado de clientes que percibe el establecimiento en un día común:

(7) ¿Qué día de la semana considera usted que se presenta el mayor número de clientes? ***(seleccionar más de una categoría si el encuestado no está conforme a un día específico):**

- Lunes
- Martes
- Miércoles
- Jueves
- Viernes
- Sábado
- Domingo

(8) ¿Cuántos clientes llegan en ese día?

(9) ¿Cuántos metros cuadrados tiene el establecimiento?:

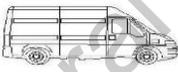
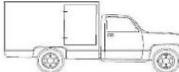
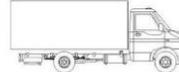
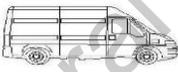
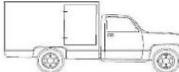
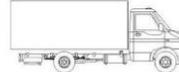
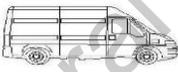
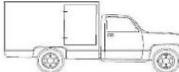
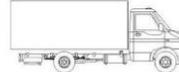
(10) ***En caso de ubicarse en un edificio.** Número de plantas que ocupa el establecimiento:

Número de empleados en el establecimiento de

(11) Tiempo completo: _____
 (12) Medio tiempo: _____

(13) ¿Cuántos productos aproximadamente integran su inventario?:

- (14) ¿Qué producto es mas abastecido por semana?
- Refrescos
 - Cervezas
 - Botanas (papas fritas, galletas, pastelitos, etc.)
 - Pan
 - Carnes (ya sea roja o blanca)
 - Medicamentos
 - Ropa
 - Calzado
 - Producto relacionado a la clase de actividad

<p>(15) ¿Los camiones tienen problemas al estacionarse? <u>Si la respuesta es no, pasarse a la pregunta No. (19):</u></p> <p style="text-align: right;">Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></p> <p>(16) ¿Cuánto tiempo le toma al proveedor estacionarse?:</p> <p style="text-align: center;">-----</p> <p>(17) Cual de las siguientes medidas llevan a cabo los proveedores al no encontrar estacionamiento *(seleccionar solo uno):</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 80%;">Se estacionan en doble fila</td> <td style="text-align: right;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Se estacionan en la banqueta</td> <td style="text-align: right;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Se estacionan en zonas para discapacitados</td> <td style="text-align: right;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Se retiran y regresan otro día</td> <td style="text-align: right;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Se mantienen conduciendo hasta encontrar un estacionamiento cercano</td> <td style="text-align: right;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Otro (por favor describa):</td> <td style="text-align: right;">-----</td> </tr> </table> <p>(18) *En caso de estar cerca a espacios carga/descarga ¿Los proveedores encuentran disponibles sus espacios designados?:</p> <p style="text-align: right;">Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></p> <p>(19) *En caso de que la calle no disponga de espacios carga/descarga ¿Está de acuerdo con que se implementen espacios de estacionamiento carga/descarga sobre esta calle?:</p> <p style="text-align: right;">Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></p>	Se estacionan en doble fila	<input type="checkbox"/>	Se estacionan en la banqueta	<input type="checkbox"/>	Se estacionan en zonas para discapacitados	<input type="checkbox"/>	Se retiran y regresan otro día	<input type="checkbox"/>	Se mantienen conduciendo hasta encontrar un estacionamiento cercano	<input type="checkbox"/>	Otro (por favor describa):	-----	<p>(20) ¿Proveedor más frecuente durante la semana?:</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 80%;">Coca - Cola</td> <td style="text-align: right;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Pepsi</td> <td style="text-align: right;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Bimbo</td> <td style="text-align: right;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Sabritas</td> <td style="text-align: right;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Barcel</td> <td style="text-align: right;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Marinela</td> <td style="text-align: right;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Propio de la franquicia o sede</td> <td style="text-align: right;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Otro (por favor describa):</td> <td style="text-align: right;">-----</td> </tr> </table> <p>(21) ¿Tiempo aproximado de las actividades del proveedor desde que llegan hasta que se retiran?:</p> <p style="text-align: center;">-----</p> <p>(22) ¿Qué tiempo aproximado le toma al proveedor en descargar la mercancía?:</p> <p style="text-align: center;">-----</p> <p>(23) *En su caso ¿Qué tiempo aproximado le toma al proveedor en subir la mercancía?:</p> <p style="text-align: center;">-----</p> <p>(24) ¿Qué equipo mecánico usan regularmente los proveedores para las maniobras de traslado de mercancías?</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 80%;">Manual</td> <td style="text-align: right;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Carretilla</td> <td style="text-align: right;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Diablo</td> <td style="text-align: right;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Otro (por favor describa):</td> <td style="text-align: right;">-----</td> </tr> </table> <p>(25) ¿Los proveedores usan equipo electrónico de mano para manejar pedidos?:</p> <p style="text-align: right;">Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></p>	Coca - Cola	<input type="checkbox"/>	Pepsi	<input type="checkbox"/>	Bimbo	<input type="checkbox"/>	Sabritas	<input type="checkbox"/>	Barcel	<input type="checkbox"/>	Marinela	<input type="checkbox"/>	Propio de la franquicia o sede	<input type="checkbox"/>	Otro (por favor describa):	-----	Manual	<input type="checkbox"/>	Carretilla	<input type="checkbox"/>	Diablo	<input type="checkbox"/>	Otro (por favor describa):	-----
Se estacionan en doble fila	<input type="checkbox"/>																																				
Se estacionan en la banqueta	<input type="checkbox"/>																																				
Se estacionan en zonas para discapacitados	<input type="checkbox"/>																																				
Se retiran y regresan otro día	<input type="checkbox"/>																																				
Se mantienen conduciendo hasta encontrar un estacionamiento cercano	<input type="checkbox"/>																																				
Otro (por favor describa):	-----																																				
Coca - Cola	<input type="checkbox"/>																																				
Pepsi	<input type="checkbox"/>																																				
Bimbo	<input type="checkbox"/>																																				
Sabritas	<input type="checkbox"/>																																				
Barcel	<input type="checkbox"/>																																				
Marinela	<input type="checkbox"/>																																				
Propio de la franquicia o sede	<input type="checkbox"/>																																				
Otro (por favor describa):	-----																																				
Manual	<input type="checkbox"/>																																				
Carretilla	<input type="checkbox"/>																																				
Diablo	<input type="checkbox"/>																																				
Otro (por favor describa):	-----																																				
<p>(26) Vehículo de reparto más utilizado por los proveedores *(seleccionar solo uno):</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 25%;">Van ligera (capacidad: menos de 0.7 t)</td> <td style="width: 25%;">Cargo van (capacidad: 1.5 - 3.5 t)</td> <td style="width: 25%;">Camioneta Pick Up (capacidad: hasta 1 t)</td> <td style="width: 25%;">Camión doble eje C2 (capacidad: 2.5 - 10 t)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/></td> </tr> </table>		Van ligera (capacidad: menos de 0.7 t)	Cargo van (capacidad: 1.5 - 3.5 t)	Camioneta Pick Up (capacidad: hasta 1 t)	Camión doble eje C2 (capacidad: 2.5 - 10 t)	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>																												
Van ligera (capacidad: menos de 0.7 t)	Cargo van (capacidad: 1.5 - 3.5 t)	Camioneta Pick Up (capacidad: hasta 1 t)	Camión doble eje C2 (capacidad: 2.5 - 10 t)																																		
 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>																																		
<p>SECCIÓN 3. CARACTERÍSTICAS DEL ENTORNO CONSTRUIDO</p>																																					
<p>(27) El establecimiento se ubica sobre:</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 80%;">Lateral v/la rápida</td> <td style="text-align: right;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Vialidad (Dos sentidos)</td> <td style="text-align: right;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Vialidad (un solo sentido)</td> <td style="text-align: right;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Vialidad c/camellón</td> <td style="text-align: right;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Callejón o Cerrada</td> <td style="text-align: right;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Andador</td> <td style="text-align: right;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </table> <p>(28) Cuenta con estacionamiento propio para los clientes:</p> <p style="text-align: right;">Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></p> <p>(29) Número de cajones asignado para los clientes:</p> <p style="text-align: center;">-----</p> <p>(30) Número de camiones descargando en el momento de la encuesta:</p> <p style="text-align: center;">-----</p> <p>(31) Número de camiones estacionados en la calle (durante la encuesta):</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	Lateral v/la rápida	<input type="checkbox"/>	Vialidad (Dos sentidos)	<input type="checkbox"/>	Vialidad (un solo sentido)	<input type="checkbox"/>	Vialidad c/camellón	<input type="checkbox"/>	Callejón o Cerrada	<input type="checkbox"/>	Andador	<input type="checkbox"/>	<p>(32) Número de camiones estacionados en doble fila (durante la encuesta):</p> <p style="text-align: center;">-----</p> <p>(33) Número de carriles en la vialidad:</p> <p style="text-align: center;">-----</p> <p>(34) Número de carriles exclusivo para estacionamiento:</p> <p style="text-align: center;">-----</p> <p>(35) Ancho de la vialidad:</p> <p style="text-align: center;">-----</p> <p>(36) Ancho de carriles:</p> <p style="text-align: center;">-----</p> <p>(37) Ancho de la banqueta:</p> <p style="text-align: center;">-----</p>																								
Lateral v/la rápida	<input type="checkbox"/>																																				
Vialidad (Dos sentidos)	<input type="checkbox"/>																																				
Vialidad (un solo sentido)	<input type="checkbox"/>																																				
Vialidad c/camellón	<input type="checkbox"/>																																				
Callejón o Cerrada	<input type="checkbox"/>																																				
Andador	<input type="checkbox"/>																																				

ANEXO II: Documentos implicados en las encuestas a establecimiento comerciales.

 UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO 

QUERÉTARO, QRO., A 3 DE OCTUBRE DE 2018

ASUNTO: CARTA DE PRESENTACIÓN

A QUIEN CORRESPONDA
PRESENTE.

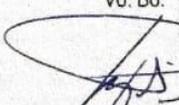
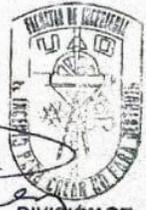
EL QUE SUSCRIBE, ING. JORGE DE JESÚS OCHOA OLÁN, ESTUDIANTE DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES Y MOVILIDAD EN LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO (UAQ), ME PRESENTO A USTED COMO RESPONSABLE DE LA INVESTIGACIÓN TITULADA "PLANIFICACIÓN DE SISTEMAS DE BAHÍAS PARA MANIOBRAS CARGA/DESCARGA EN ÁREAS URBANAS", BAJO LA SUPERVISIÓN DEL DIRECTOR TÉCNICO DR. EDUARDO BETANZO QUEZADA Y AGRADEZCO DE ANTEMANO SU COLABORACIÓN A LA ENCUESTA DE ESTUDIO DE GENERACIÓN DE VIAJES DE CARGA.

LA INFORMACIÓN QUE SE SIRVA BRINDAR SERÁ DE CARÁCTER CONFIDENCIAL Y NO SERÁ UTILIZADA PARA PROPÓSITOS AJENOS A LA INVESTIGACIÓN. SU PARTICIPACIÓN AYUDARÁ EN GRAN MANERA A MEJORAR LA MOVILIDAD EN LA CIUDAD DE QUERÉTARO.

SIN OTRO PARTICULAR, LE ENVÍO UN CORDIAL SALUDO.

ATENTAMENTE


ING. JORGE DE JESÚS OCHOA OLÁN
REPRESENTANTE DE LA INVESTIGACIÓN
No. DE EXPEDIENTE: 272874

Vo. Bo. 

DIVISIÓN DE
DR. MARÍA DE LA LUZ PÉREZ REA
COORDINADORA DE LA MAESTRÍA EN VÍAS
TERRESTRE Y MOVILIDAD

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
Cerro de las Campanas s/n, Col. las Campanas
C.P. 76010 Querétaro, Qro. Tel 192 12 00 Ext 6011

SOMOS UAQ
EDUCAR CRECER CONSOLIDAR

QUERETARO, QRO., A 3 DE OCTUBRE DE 2018

CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

**A QUIEN CORRESPONDA
PRESENTE.**

El proyecto de investigación por nombre **"planificación de sistemas de bahías para maniobras carga/descarga en áreas urbanas usando herramientas de microsimulación"**, perteneciente a la **Universidad Autónoma de Querétaro**, aborda el estudio de una planeación sistematizada de áreas de estacionamiento para los autotransportistas urbanos de mercancías, que busca reducir la interferencia de los camiones de carga en los flujos vehiculares, lo que podría derivar a una mejora potencial en la movilidad urbana en la ciudad de Querétaro y a las actividades logísticas de los proveedores; por lo que el objetivo del cuestionario es buscar información referente a las operación logísticas a través de los establecimientos minoristas, examinando en qué medida el transporte urbano de mercancía es afectado por la inexistencia de infraestructura de zonas carga/descarga, o en su defecto, a la gestión de éstos espacios de forma no planeada.

Su participación en el proyecto de investigación es libre y voluntaria. Esto significa que usted está en libertad de participar o no en el mismo, si así lo decidiera durante cualquier etapa del estudio. Si esto ocurre, déjele saber su decisión a la persona a cargo de la investigación.

La participación que usted nos brinde en el cuestionario es **anónima y confidencial**. Esto quiere decir que la hoja del cuestionario **no llevará nombre o información que lo identifique**. La información que usted brinde se utilizará solo con propósito del estudio.

Para cualquier duda o aclaración sobre el cuestionario realizado, puede comunicarse al siguiente número telefónico perteneciente a la coordinación de la maestría en vías terrestre y movilidad: 192 12 99 ext. 6062 o al correo electrónico: jochoa02@alumnos.uaq.mx.

He leído esta hoja de consentimiento y he escuchado la explicación dada por el investigador. Se me ha dado la oportunidad de hacer preguntas acerca de este proyecto y las mismas me han sido contestadas a mi satisfacción. Mi firma es este documento me certifica que yo soy mayor de edad, que tengo capacidad legal para decidir y que consiento en participar.

Firma del participante / Fecha



Ing. Jorge de Jesús Ochoa Olán
Representante de la investigación

Este documento será firmado por duplicado, uno para cada parte.

ANEXO III: Instrumento utilizado en la encuesta de observación de vehículos de carga.

**Encuesta de Observación de Vehículos de Carga
Formato de Recogida de Datos por Establecimiento Comercial**

Observador: _____ Nombre del establecimiento: _____ Colonia: _____
 Dirección: _____ Fecha: _____ Hora: _____

Camion No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Hora de llegada (hh:mm)												
¿Tuvó problemas al estacionarse? (Si/No)												
Tiempo aproximado en la maniobras de estacionamiento (min)												
Tipo de camión (VL, V, PKP, C2L, C2)												
Empresa que pertenece el proveedor												
Tiempo aproximado en las maniobras de descarga (min)												
El vehículo se estacionó en: (a) la calle / (b) espacio designado / (c) doble fila / (d) la banqueta												
Distancia entre el vehículo estacionado y el establecimiento objetivo: (a) menos de 20 m / (b) entre 20 y 50 m / (c) más de 50 m												
Equipo mecánico usado para el acarreo de suministros (manual, diablito, carretilla)												
Número de entregas por parada												
Hora de partida (hh:mm)												

Hora	10:00 - 11:15	11:15 - 11:30	11:30 - 11:45	11:45 - 12:00	12:00 - 12:15	12:15 - 12:30	12:30 - 12:45	12:45 - 13:00	13:00 - 13:15	13:15 - 13:30	13:30 - 13:45	13:45 - 14:00
Número de clientes												

ANEXO IV: Volúmenes de tráfico en cada intersección del ZAT.

Intervalo de tiempo	Intersección A: Miguel Hidalgo y Regules													Intersección B: Miguel Hidalgo y 19 de Julio						
	1			2			3			4			Total	1			2			Total
	Car	Bus	Truck	Car	Bus	Truck	Car	Bus	Truck	Car	Bus	Truck		Car	Bus	Truck	Car	Bus	Truck	
12:00-12:15	96	1	0	14	0	0	25	0	2	44	0	0	182	136	1	0	4	0	0	141
12:15-12:30	75	3	3	10	0	0	32	0	1	32	0	3	159	103	3	6	4	0	0	116
12:30-12:45	76	1	2	6	0	0	37	0	1	22	0	0	145	97	1	2	1	0	0	101
12:45-13:00	99	3	2	15	0	0	42	0	0	32	0	2	195	127	4	4	4	0	0	139
13:00-13:15	74	2	2	11	0	0	25	0	0	35	0	0	149	104	2	2	5	0	0	113
13:15-13:30	72	2	0	6	0	1	31	0	1	37	0	0	150	103	2	0	6	0	0	111
13:30-13:45	79	3	2	8	0	0	38	0	0	34	0	0	164	111	2	2	2	0	0	117
13:45-14:00	67	2	1	10	0	1	38	0	2	33	0	0	154	99	2	1	1	0	0	103
Total	638	17	12	80	0	2	268	0	7	269	0	5	1298	880	17	17	27	0	0	941

Intervalo de tiempo	Intersección C: Miguel Hidalgo e Ignacio Perez													Intersección D: Miguel Hidalgo y Nicolás Campa												
	1			2			3			4			Total	1			2			3			4		Total	
	Car	Bus	Truck	Car	Bus	Truck	Car	Bus	Truck	Car	Bus	Truck		Car	Bus	Truck	Car	Bus	Truck	Car	Bus	Truck	Car	Bus		Truck
12:00-12:15	93	1	1	43	0	0	49	0	1	6	0	0	194	86	1	2	13	0	1	35	0	1	20	0	0	159
12:15-12:30	70	0	0	33	3	3	65	0	1	13	0	0	188	69	0	2	14	0	0	27	0	2	29	0	1	144
12:30-12:45	70	1	3	27	0	0	41	0	1	18	0	0	161	73	1	0	15	0	0	43	0	1	27	0	0	160
12:45-13:00	82	2	3	45	2	1	62	0	0	12	0	0	209	74	2	3	20	0	0	39	0	0	20	0	0	158
13:00-13:15	68	1	4	36	1	0	73	0	1	7	0	0	191	63	1	2	12	0	0	39	0	1	30	0	0	148
13:15-13:30	77	1	0	26	1	0	61	0	1	12	0	2	181	79	1	3	10	0	0	38	0	1	24	0	1	157
13:30-13:45	82	1	1	29	1	1	58	0	0	17	0	0	190	88	1	1	11	0	0	46	0	3	20	0	1	171
13:45-14:00	73	1	1	26	1	0	52	0	0	20	0	0	174	81	1	1	12	0	0	35	0	0	16	0	0	146
Total	615	8	13	265	9	5	461	0	5	105	0	2	1488	613	8	14	107	0	1	302	0	9	186	0	3	1243

Intervalo de tiempo	Intersección E: Miguel Hidalgo y Quintana Roo							Intersección F: Miguel Hidalgo y Leona Vicario						
	1			2			Total	1			2			Total
	Car	Bus	Truck	Car	Bus	Truck		Car	Bus	Truck	Car	Bus	Truck	
12:00-12:15	95	1	2	11	0	0	109	95	1	0	1	0	0	99
12:15-12:30	77	0	3	21	0	0	101	77	0	0	2	0	0	82
12:30-12:45	82	1	0	18	0	0	101	82	1	0	2	0	0	85
12:45-13:00	84	2	3	10	0	0	99	84	2	0	1	0	0	88
13:00-13:15	93	1	2	0	0	0	96	93	1	0	3	0	0	98
13:15-13:30	91	1	4	12	0	0	108	91	1	0	1	0	0	98
13:30-13:45	87	1	2	21	0	0	111	87	1	0	1	0	1	91
13:45-14:00	87	1	1	10	0	0	99	87	1	0	1	0	0	90
Total	696	8	17	103	0	0	824	696	8	0	12	0	1	731

Intervalo de tiempo	Intersección G: Miguel Hidalgo y Ezequiel Montes						
	1			2			Total
	Car	Bus	Truck	Car	Bus	Truck	
12:00-12:15	206	18	6	30	0	1	99
12:15-12:30	174	13	3	23	0	0	82
12:30-12:45	248	12	3	27	0	0	85
12:45-13:00	206	19	3	25	0	1	88
13:00-13:15	224	15	6	24	0	0	98
13:15-13:30	214	16	3	15	0	0	98
13:30-13:45	278	20	4	19	0	0	91
13:45-14:00	224	11	1	20	0	0	90
Total	1774	124	29	183	0	2	731

ANEXO V: Matriz OD por tipo de vehículo.

Matriz OD del vehículo tipo "Sedan"

O/D	C	D	E	H	I	K	M	Total
A	53	18	176	71	68	53	45	484
B	178	0	0	0	0	98	80	356
F	0	0	306	0	0	39	31	376
G	0	0	0	201	0	68	56	325
J	0	0	0	0	0	5	3	8
L	0	0	0	0	0	780	122	902
Total	231	18	482	272	68	1043	337	2451

Matriz OD del vehículo tipo "Hatchback"

O/D	C	D	E	H	I	K	M	Total
A	14	5	45	18	17	14	12	125
B	45	0	0	0	0	25	21	91
F	0	0	78	0	0	10	8	96
G	0	0	0	51	0	17	14	82
J	0	0	0	0	0	1	1	2
L	0	0	0	0	0	199	31	230
Total	59	5	123	69	17	266	87	626

Matriz OD del vehículo tipo "Pick-up"

O/D	C	D	E	H	I	K	M	Total
A	5	2	15	6	6	5	4	43
B	15	0	0	0	0	9	7	31
F	0	0	27	0	0	3	3	33
G	0	0	0	17	0	6	5	28
J	0	0	0	0	0	0	0	0
L	0	0	0	0	0	68	11	79
Total	20	2	42	23	6	91	30	214

Matriz OD del vehículo tipo "SUV"

O/D	C	D	E	H	I	K	M	Total
A	9	3	29	12	11	9	7	80
B	29	0	0	0	0	16	13	58
F	0	0	50	0	0	6	5	61
G	0	0	0	33	0	11	9	53
J	0	0	0	0	0	1	1	2
L	0	0	0	0	0	127	20	147
Total	38	3	79	45	11	170	55	401

Matriz OD del vehículo tipo "Autobús"

O/D	C	D	E	G	H	I	K	M	Total
A	0	0	9	0	0	0	8	0	17
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L	0	0	0	0	0	0	124	0	124
Total	0	0	9	0	0	0	132	0	141

Matriz OD del vehículo tipo "Camión de carga"

O/D	C	D	E	H	I	K	M	Total
A	2	0	5	1	0	3	2	13
B	7	0	0	0	0	3	2	12
F	0	0	5	0	0	2	0	7
G	0	0	0	9	0	2	1	12
J	0	0	0	0	0	1	0	1
L	0	0	0	0	0	29	2	31
Total	9	0	10	10	0	40	7	76

ANEXO VI: Modelos de vehiculos mas representativos del ZAT.

Auto												
Vehiculo			Frecuencia	Dimensiones				Potencia neta		Torque		Aceleracion 0-100 Km/h (s)
Marca	Modelo	Tipo		Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Ejes (m)	hp	rpm	lb-ft	rpm	
Nissan	Tsuru	Sedan	83	4.325	1.65	1.381	2.43	105	6000	102	4000	11.8
Nissan	Versa	Sedan	52	4.492	1.695	1.506	2.6	106	5600	105	4000	13.2
Volkswagen	Jetta	Sedan	33	4.659	1.778	1.482	2.651	115	5200	125	4000	10.3
Chevrolet	Aveo	Sedan	31	4.315	1.709	1.506	2.479	103	5800	107	3600	11.9
Nissan	Sentra	Sedan	23	4.625	1.761	1.505	2.7	129	6000	128	3600	10.6
Chevrolet	Optra	Sedan	23	4.515	1.725	1.445	2.6	109	5800	111	4000	10.3
Chevrolet	Chevy	Compacto	21	3.859	1.909	1.42	2.443	100	5600	102	3200	NA
Honda	CRV	SUV	15	4.58	1.82	1.655	2.62	172.6	6200	166	4000	8.8
Honda	Civic	Sedan	15	4.637	1.799	1.433	2.7	151.9	6500	140	4300	8.4
Nissan	March	Compacto	14	3.827	1.665	1.531	2.45	106	5600	104	4000	12.4
Chevrolet	Chevy	Sedan	12	4.155	1.909	1.42	2.443	NA	NA	NA	NA	NA
Volkswagen	Vento	Sedan	11	4.384	1.699	1.466	2.552	105	5250	113	3750	10.8
Ford	Figo	Sedan	11	4.249	1.699	1.525	2.491	121	6500	109	4250	11.8
Chevrolet	Tornado	Pick-Up	11	4.515	1.70	1.636	2.669	105	5400	119	3000	13.4
Chevrolet	Matiz	Compacto	10	3.495	1.495	1.485	2.345	65	5400	67	4200	16.9
Chevrolet	Spark	Compacto	10	3.64	1.597	1.522	2.375	81	6400	80	4800	12.1
Nissan	Tiida	Sedan	8	4.487	1.695	1.556	2.6	106	5600	105	4000	11.1
Chevrolet	Trax	SUV	8	4.248	1.776	1.657	2.555	140	6300	129	3800	10.6
Seat	Ibiza	Compacto	7	4.061	1.693	1.445	2.469	110	5800	114	3800	10.4
Volkswagen	Gol	Compacto	7	3.899	1.656	1.464	2.465	101	5750	103	3250	10.9
Volkswagen	Volkswagen	Compacto	7	4.06	1.55	1.5	2.4	50	4000	71	2200	16.2
Mazda	CX7	SUV	7	4.68	1.87	1.645	2.75	161	6000	161	3500	8.2
Toyota	Yaris	Sedan	7	4.36	1.695	1.5	2.57	106	6000	103	4000	11.7
Ford	Explorer	SUV	7	5.037	2.004	1.778	2.865	290	6500	255	4000	13.2

Chevrolet	Beat	Sedan	7	3.995	1.597	1.522	2.375	81	6400	80	4800	12.1
Chrysler	Voyager	SUV	6	4.733	1.92	1.82	2.878	149.9	5200	167	4000	13.2
Volkswagen	Derby	Sedan	6	4.137	1.64	1.414	2.44	97	5500	106	2500	NA
Nissan	Hardbody D-21	Pick-up	6	4.9	1.69	1.615	2.709	123	5600	128	3200	NA
Nissan	NP-300 Doble cabina	Pick-Up	6	5.258	1.79	1.724	3.15	161	3600	158	6000	11
Mazda	Sedan2	Sedan	5	4.06	1.695	1.505	2.57	106	6000	103	4000	9.1
Ford	Fusion	Sedan	5	4.872	1.91	1.478	2.85	175	6000	175	4500	9.8
Chevrolet	Sonic	Sedan	5	4.397	1.735	1.516	2.525	115	6000	114	4000	9.5
Nissan	X-Trail	SUV	5	4.64	1.82	1.71	2.705	170	6000	172	4000	11.1
Volkswagen	Pointer	Compacto	5	3.916	1.621	1.415	2.468	99	5250	119	3000	11.3
Toyota	Prius	Sedan	5	4.54	1.76	1.49	2.7	96	5200	105	4000	10.6
Nissan	Altima	Sedan	5	4.863	1.83	1.477	2.775	182	6000	180	4000	8.5
Ford	Fiesta	Sedan	5	4.4	1.72	1.47	2.489	120	6350	112	4250	11.7
Nissan	Murano	SUV	4	4.888	1.916	1.722	2.825	260	6400	240	4400	10.5
Nissan	Platina	Sedan	4	4.171	1.639	1.437	2.472	110	5750	107	3750	9.7
Kia	Rio	Sedan	4	4.384	1.724	1.45	2.58	121	6300	111	4850	11.2
Volkswagen	Bora	Sedan	4	4.376	1.735	1.446	2.513	100.6	5600	107	3800	12.8
Hyundai	Grand i10	Compacto	4	3.765	1.66	1.52	2.425	85.8	6000	88	4000	14.7
Ford	Fiesta	Compacto	4	3.969	1.722	1.495	2.489	98.63	6000	125	4000	11.2
Ford	Ecosport	SUV	4	4.24	1.76	1.69	2.521	109	5500	112	4250	12.7
Ford	Figo	Compacto	4	3.795	1.525	1.69	2.491	121	6500	109	4250	NA
Jeep	Grand Cherokee	SUV	4	4.822	1.943	1.761	2.914	295	6400	260	4000	9.2
Volkswagen	Polo	Sedan	4	4.384	1.699	1.465	2.552	105	5250	113	3750	9.5
Ford	Ranger	Pick-up	4	4.788	1.696	1.615	2.893	100	4600	133	2600	11.4
Chevrolet	LUV	Pick-up	3	4.92	1.61	1.61	3.025	77	4000	NA	NA	11.6
Chevrolet	S-10	Pick-up	3	4.885	1.734	1.668	2.75	138	3500	185	2400	9.9
Ford	F-150	Pick-up	3	5.608	1.991	1.831	3.518	255	3000	210	5000	10.3
Chevrolet	Silverado Conquest	Pick-up	2	4.93	2.25	1.86	2.985	166	3800	43.1	2000	NA

ANEXO VII: Mediciones de los parámetros globales.

Velocidad deseada

No.	Tecnologico y Regules			Regules y 19 de Abril			19 de Abril e Ignacio Perez			Ignacio Perez y Nicolas Campa		
	Auto	Bus	Camion	Auto	Bus	Camion	Auto	Bus	Camion	Auto	Bus	Camion
1	18	23	25	24	20	20	29	35	25	28	-	20
2	22	25	29	24	29	21	25	18	23	17	-	18
3	30	17	28	23	17	39	27	20	18	24	-	19
4	24	22	22	23	28	22	29	19	21	26	-	-
5	24	31	35	27	17	20	30	-	27	26	-	-
6	23	24	-	18	-	23	32	-	19	23	-	-
7	23	-	-	20	-	18	30	-	28	26	-	-
8	30	-	-	31	-	23	30	-	-	33	-	-
9	20	-	-	18	-	23	22	-	-	24	-	-
10	24	-	-	20	-	25	25	-	-	21	-	-
11	25	-	-	26	-	19	21	-	-	26	-	-
12	38	-	-	26	-	-	26	-	-	22	-	-
13	29	-	-	22	-	-	26	-	-	21	-	-
14	28	-	-	23	-	-	24	-	-	23	-	-
15	24	-	-	17	-	-	28	-	-	19	-	-
16	28	-	-	23	-	-	25	-	-	23	-	-
17	20	-	-	21	-	-	25	-	-	29	-	-
18	27	-	-	20	-	-	20	-	-	20	-	-
19	32	-	-	20	-	-	26	-	-	19	-	-
20	29	-	-	26	-	-	27	-	-	17	-	-
21	26	-	-	19	-	-	23	-	-	20	-	-
22	30	-	-	18	-	-	21	-	-	26	-	-
23	26	-	-	27	-	-	22	-	-	24	-	-
24	31	-	-	23	-	-	24	-	-	30	-	-
25	26	-	-	22	-	-	28	-	-	24	-	-
26	24	-	-	-	-	-	16	-	-	-	-	-
27	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Aceleración máxima

Vehículo	Velocidad inicial (km/h)	Velocidad final (km/h)	Tiempo (s)	Aceleración (m/s ²)
Sedan	0	24	4	1.67
SUV	0	25	4	1.74
Sedan	0	22	4	1.53
Sedan	0	23	5	1.28
SUV	0	20	4.5	1.23
Sedan	0	22	4.8	1.27
Sedan	0	24	3.8	1.75
Sedan	0	25	3.5	1.98
Pick-up	0	18	4.8	1.04
Sedan	0	20	4.3	1.29
SUV	0	20	4	1.39
Bus	0	17	3.8	1.24
SUV	0	26	3.8	1.90
SUV	0	27	3.5	2.14
Sedan	0	21	4	1.46
Hatchback	0	24	3.4	1.96
SUV	0	19	4.8	1.10
SUV	0	22	4.4	1.39
Sedan	0	20	4	1.39
Bus	0	20	6	0.93
Sedan	0	18	3.7	1.35
Sedan	0	22	3.7	1.65
Sedan	0	28	3.4	2.29
Pick-up	0	20	4.3	1.29
Bus	0	24	5	1.33
SUV	0	18	3.9	1.28
SUV	0	21	4	1.46
SUV	0	23	3.4	1.88
Sedan	0	17	5	0.94
Hatchback	0	25	5	1.39
SUV	0	20	3.8	1.46
Sedan	0	21	5.8	1.01
Pick-up	0	27	3.2	2.34
SUV	0	23	3.9	1.64
Bus	0	26	6.3	1.15
Sedan	0	20	4.4	1.26
Hatchback	0	21	4.3	1.36
SUV	0	23	4.4	1.45
Sedan	0	22	3.5	1.75
Hatchback	0	25	3.9	1.78
Sedan	0	23	3.8	1.68
Sedan	0	24	3.9	1.71
Sedan	0	20	4.1	1.36
Sedan	0	25	3.5	1.98
Hatchback	0	21	5.3	1.10
Sedan	0	25	3.3	2.10

Desaceleración máxima

Vehículo	Velocidad inicial (km/h)	Velocidad final (km/h)	Tiempo (s)	Desaceleración (m/s ²)
Sedan	31	0	2.8	3.08
Sedan	28	0	3.2	2.43
SUV	36	0	5.3	1.89
Bus	34	0	3.8	2.49
Sedan	33	0	4	2.29
Sedan	36	0	4.5	2.22
Hatchback	33	0	5.2	1.76
Sedan	32	0	4.5	1.98
SUV	27	0	4.7	1.60
Sedan	35	0	3.5	2.78
Sedan	38	0	3.5	3.02
Hatchback	22	0	4.3	1.42
Hatchback	33	0	3	3.06
SUV	36	0	4.5	2.22
Sedan	31	0	3.8	2.27
Camion	34	0	3.4	2.78
Sedan	36	0	3.8	2.63
Sedan	37	0	3.4	3.02
SUV	29	0	4.2	1.92
SUV	31	0	4.2	2.05
Sedan	34	0	4.1	2.30
Sedan	32	0	3.6	2.47
SUV	38	0	3	3.52
SUV	37	0	3	3.43
Sedan	36	0	3.2	3.13
Sedan	27	0	4.5	1.67
Sedan	30	0	3.3	2.53
Sedan	31	0	3.1	2.78
Sedan	34	0	3.3	2.86
Sedan	34	0	3.2	2.95
Sedan	32	0	3.5	2.54
Sedan	33	0	2.8	3.27

Distancia mínima entre vehículos

Tipo de vehículo	Distancia entre vehículo (m)	Tipo de vehículo	Distancia entre vehículo (m)
Sedan	1.94	Sedan	1.20
Sedan	1.30	Sedan	1.67
Hatchback	1.76	Sedan	1.67
Sedan	2.22	SUV	2.04
Sedan	1.48	Sedan	2.59
SUV	2.22	Sedan	3.15
Sedan	0.93	SUV	3.79
SUV	1.85	Hatchback	2.41
SUV	1.30	Sedan	4.81
Sedan	1.20	Sedan	1.39
SUV	2.59	Sedan	2.96
SUV	2.96	Sedan	1.20
Pick-up	1.57	Sedan	3.50
Sedan	2.78	Bus	2.04
Pick-up	1.11	Sedan	1.11
Sedan	1.67	SUV	2.41
SUV	3.80	Sedan	3.33
Bus	2.04	Hatchback	3.70
Hatchback	1.48	Pick-up	4.07
Sedan	1.57	Sedan	2.04
Sedan	1.85	Sedan	2.59
Hatchback	2.41	Hatchback	1.85
Bus	2.78	Pick-up	2.41
Sedan	1.39	Sedan	2.04
Sedan	2.22	Pick-up	2.22
Sedan	3.15	Sedan	3.90
Camion	1.85	Camion	2.41
Sedan	1.94	Hatchback	2.22
Hatchback	1.11	Camion	1.85
Sedan	1.48	Sedan	7.50
SUV	3.15	Sedan	4.44
Sedan	1.48	Sedan	1.20
SUV	1.20	Hatchback	2.59
Hatchback	7.12	Sedan	2.41
Sedan	2.59	Pick-up	2.59
Pick-up	1.85	Sedan	1.67
Sedan	1.48	Sedan	1.20

Tiempo de reacción en parada

Tipo de vehículo	Tiempo de reacción (s)	Tipo de vehículo	Tiempo de reacción (s)	Tipo de vehículo	Tiempo de reacción (s)
Sedan	1.1	SUV	2.2	Sedan	2
Sedan	3	Camión	3.8	Sedan	2.5
Camión	1.9	Sedan	1.7	Sedan	2.6
Sedan	1	SUV	1.2	SUV	0.9
SUV	2.3	Sedan	1.9	Sedan	1.5
Sedan	0.7	Sedan	1.3	Sedan	4.1
Sedan	2.3	Sedan	2.3	Sedan	1.8
Hatchback	1.9	Pick-up	3.6	Hatchback	1.3
Sedan	1.7	Sedan	2.4	Pick-up	1.3
Sedan	1.3	SUV	0.9	Sedan	2
Camión	2.6	Hatchback	1.5	Sedan	1.9
Camión	1.5	Sedan	3.2	Pick-up	2.5
Sedan	2.9	Sedan	3	Pick-up	2.4
SUV	1.4	Sedan	1.5	Sedan	0.8
SUV	1.4	SUV	1.1	Sedan	2.7
SUV	1.5	Pick-up	1.9	SUV	2.3
Sedan	1	SUV	0.8	Sedan	2.3
Hatchback	3	Sedan	2	Pick-up	2.4
Bus	1.8	Sedan	1.6	Pick-up	2.3
Hatchback	1.1	SUV	1	Sedan	1
SUV	1.4	Hatchback	1.3	Sedan	2.5
Hatchback	1.7	Sedan	1.8	Sedan	2.2
Hatchback	2.9	Pick-up	4	Sedan	5.3
Sedan	1	Sedan	0.8	Sedan	1.4
Sedan	0.9	Sedan	1.4	Sedan	1.3
Sedan	1.2	Pick-up	2.5	SUV	1
Hatchback	3.8	Sedan	2.3	Sedan	2.1
Sedan	1.8	Sedan	0.8	Sedan	1.7
Sedan	1.5	SUV	3	Sedan	2.1
Pick-up	2.1	Sedan	2.4	Hatchback	2.2
Hatchback	1.1	SUV	2.1	SUV	7.3
Sedan	1.5	Sedan	1.8	Sedan	0.8
Camión	2.6	SUV	4	SUV	1.8
Sedan	2	Sedan	1.6	Hatchback	1.3

ANEXO VIII: Distribución de llegada y al tiempo de permanencia de los vehículos privados enfrente de la escuela primaria Constitución.

Tipo de vehículo	Hora de llegada	Hora de salida	Intervalos de llegada (min)	Tiempo de parada (s)
SUV	12:30:00 p. m.	12:30:13 p. m.	-	13
Pick-up	12:30:13 p. m.	12:30:43 p. m.	0.5	4
Sedan	12:30:43 p. m.	12:32:43 p. m.	2	6
SUV	12:32:43 p. m.	12:33:43 p. m.	1	5
Pick-up	12:33:43 p. m.	12:34:43 p. m.	1	16
Sedan	12:34:43 p. m.	12:35:43 p. m.	1	7
Sedan	12:35:43 p. m.	12:36:03 p. m.	0.3	3
Sedan	12:36:03 p. m.	12:36:23 p. m.	0.3	6
Sedan	12:36:23 p. m.	12:36:43 p. m.	0.3	4
Pick-up	12:36:43 p. m.	12:37:43 p. m.	1	5
Pick-up	12:37:43 p. m.	12:38:13 p. m.	0.5	7
Hatchback	12:38:13 p. m.	12:38:43 p. m.	0.5	5
Sedan	12:38:43 p. m.	12:39:13 p. m.	0.5	3
Hatchback	12:39:13 p. m.	12:39:43 p. m.	0.5	4
Sedan	12:39:43 p. m.	12:40:43 p. m.	1	5
Sedan	12:40:43 p. m.	12:41:13 p. m.	0.5	4
Sedan	12:41:13 p. m.	12:41:43 p. m.	0.5	9
Sedan	12:41:43 p. m.	12:42:13 p. m.	0.5	4
Sedan	12:42:13 p. m.	12:42:43 p. m.	0.5	7
Pick-up	12:42:43 p. m.	12:43:13 p. m.	0.5	3
Pick-up	12:43:13 p. m.	12:43:43 p. m.	0.5	3
Sedan	12:43:43 p. m.	12:44:13 p. m.	0.5	4
Sedan	12:44:13 p. m.	12:44:43 p. m.	0.5	4
Hatchback	12:44:43 p. m.	12:45:43 p. m.	1	15
Bus	12:45:43 p. m.	12:46:43 p. m.	1	13
Sedan	12:46:43 p. m.	12:49:43 p. m.	3	14
Sedan	12:49:43 p. m.	12:50:43 p. m.	1	16
Hatchback	12:50:43 p. m.	12:51:43 p. m.	1	10
SUV	12:51:43 p. m.	12:52:43 p. m.	1	8
Sedan	12:52:43 p. m.	12:56:43 p. m.	4	4
Sedan	12:56:43 p. m.	01:01:43 p. m.	5	7

ANEXO IX: Modelación AVC entre las diferentes combinaciones de variables predictoras y modelos tipo.

Modelo tipo: $f_i = \alpha + \beta E_i$

Modelos de predictivos de Atracción de Viajes de Carga mediante la variable de Cientes																			
SCIAN	Código	Actividad	Obs.	α	t-test	p-value	Significancia	β	t-test	p-value	Significancia	R2	R2 Ajust	F-Test	P-value	Min	Media	Max	Validación
461110	Imcab	Abarrotes	19	2.16512	2.81	0.012044	*	0.01236	4.417	0.00038	***	0.534	0.507	19.51	0.0003773	10	229	600	SI
463310	Imcal	Calzado	9	0.082954	0.407	0.6965	-	0.00491	3.451	0.0107	*	0.63	0.577	11.91	0.01067	9	106.6	350	NO
464111	Imcf	Farmacias	5	-0.91271	-2.165	0.1628	-	0.02882	7.31	0.0182	*	0.964	0.9459	53.44	0.0182	25	80	200	NO
464111	Imcms	Minisúpers	7	1.40212	1.647	0.16048	-	0.00969	5.859	0.00205	**	0.873	0.8474	34.33	0.002053	200	474.4	800	NO
465311	Imcp	Papelería	4	-0.1587	-14.85	0.0428	*	0.01079	117.78	0.00541	**	1	0.9999	13870	0.005405	20	80	200	NO
465912	Imcr	Regalos	3	-0.02041	-0.015	0.991	-	0.0449	1.155	0.454	-	0.571	0.1429	1.333	0.4544	20	33.33	50	NO
461160	Imcre	Repostería	4	1.263492	1.251	0.337	-	-0.0046	-0.333	0.771	-	0.053	-0.421	0.1111	0.7706	30	65	120	NO
463211	Imcro	Ropa	11	0.1398	6.058	0.000189	***	6.3E-05	0.203	0.84327	-	0.005	-0.106	0.04141	0.8433	3	48.18	200	NO

Modelos de predictivos de Atracción de Viajes de Carga mediante la variable de Empleos																			
SCIAN	Código	Actividad	Obs.	α	t-test	p-value	Significancia	β	t-test	p-value	Significancia	R2	R2 Ajust	F-Test	P-value	Min	Media	Max	Validación
461110	Imeab	Abarrotes	19	5.2287	3.037	0.00745	**	-0.1503	-0.143	0.88835	-	0.001193	-0.05756	0.02031	0.8884	1	1.521	3	NO
463310	Imeal	Calzado	9	0.70202	1.34	0.222	-	-0.02718	-0.203	0.845	-	0.005862	-0.1362	0.04128	0.8448	1.8	3.539	7	NO
464111	Imef	Farmacias	5	-1.3636	-3.499	0.0395	*	0.9556	9.996	0.00213	**	0.9709	0.9611	99.92	0.002131	1.35	3.43	7	NO
464111	Imems	Minisúpers	7	2.0085	1.468	0.2021	-	1.1642	3.168	0.0249	*	0.6675	0.601	10.04	0.02487	1.8	3.429	5	NO
465311	Imep	Papelería	4	1.5211	2.073	0.174	-	-0.3136	-1.491	0.275	-	0.5263	0.2895	2.222	0.2745	0.45	2.938	5	NO
465912	Imer	Regalos	3	-0.5317	-0.15	0.905	-	0.873	0.577	0.667	-	0.25	-0.5	0.3333	0.6667	2	2.3	2.9	NO
461160	Imere	Repostería	4	0.45557	1.581	0.255	-	0.08622	2.723	0.113	-	0.7875	0.6813	7.413	0.1126	0.9	5.9	17.7	NO
463211	Imero	Ropa	11	0.143542	4.419	0.00167	**	-0.0003	-0.025	0.98053	-	6.99E-05	-0.111	0.00063	0.9805	0.9	2.286	5	NO

Modelos de predictivos de Atracción de Viajes de Carga mediante la variable de Área del establecimiento																			
SCIAN	Código	Actividad	Obs.	α	t-test	p-value	Significancia	β	t-test	p-value	Significancia	R2	R2 Ajust	F-Test	P-value	Min	Media	Max	Validación
461110	Imaab	Abarrotes	19	4.59464	3.436	0.00315	**	0.01693	0.342	0.7362	-	0.006851	-0.05157	0.1173	0.7362	6	23.95	60	NO
463310	Imaal	Calzado	9	0.445873	1.147	0.289	-	0.001088	0.5	0.633	-	0.03443	-0.1035	0.2496	0.6327	24	147	340	NO
464111	Imaf	Farmacias	5	0.43209	0.271	0.804	-	0.02259	1.204	0.315	-	0.3257	0.101	1.449	0.315	8	65.6	160	NO
464111	Imams	Minisúpers	7	5.8747	3.239	0.317	-	0.00168	0.08	0.557	-	0.001288	-0.1985	0.00645	0.9391	17	74.57	170	NO
465311	Imap	Papelería	4	0.945559	1.323	0.023	*	-0.00097	-0.698	0.939	-	0.1961	-0.2059	0.4879	0.5572	50	355	970	NO
465912	Imar	Regalos	3	1.03687	0.777	0.579	-	0.01014	0.385	0.766	-	0.129	-0.7419	0.1481	0.7661	20	43.33	80	NO
461160	Imare	Repostería	4	0.444113	1.305	0.322	-	0.004839	2.27	0.151	-	0.7204	0.5806	5.152	0.1513	15	107.5	310	NO
463211	Imaro	Ropa	11	0.134232	5.199	0.000565	***	0.000127	0.452	0.662072	-	0.02218	-0.08646	0.2042	0.6621	12	68.05	250	NO

Modelo tipo: $f_i = \beta E_i$

Modelos de predictivos de Atracción de Viajes de Carga mediante la variable de Clientes																
SCIAN	Código	Actividad	Obs.	β	t-test	p-value	Significancia	R2	R2 Ajust	F-Test	P-value	Min	Media	Max	Validación	
461110	lpcab	Abarrotes	19	0.018919	10.39	4.96E-09	***	0.857	0.8491	107.9	4.96E-09	10	229	600	SI	
463310	lpcal	Calzado	9	0.005336	5.92	0.000354	***	0.8141	0.7909	35.04	0.0003538	9	106.6	350	SI	
464111	lpcf	Farmacias	5	0.022436	5.744	0.0105	*	0.9167	0.8889	32.99	0.01048	25	80	200	SI	
464111	lpcms	Minisúpers	7	0.012203	16.78	0.00000286	***	0.9791	0.9757	281.6	0.00000286	200	474.4	800	SI	
465311	lpcp	Papelería	4	0.00986	14.05	0.00503	**	0.99	0.985	197.4	0.005029	20	80	200	SI	
465912	lpcr	Regalos	3	0.044361	4.604	0.0441	*	0.9138	0.8707	21.19	0.04409	20	33.33	50	SI	
461160	lpcre	Repostería	4	0.010748	0.006902	0.217	-	0.447	0.2626	2.425	0.2173	30	65	120	NO	
463211	lpcro	Ropa	11	0.001288	2.547	0.029	*	0.3934	0.3328	6.486	0.02902	3	48.18	200	NO	

Modelos de predictivos de Atracción de Viajes de Carga mediante la variable de Empleos															
SCIAN	Código	Actividad	Obs.	β	t-test	p-value	Significancia	R2	R2 Ajust	F-Test	P-value	Min	Media	Max	Validación
461110	lpeab	Abarrotes	19	2.8354	6.142	8.4E-06	***	0.677	0.6591	37.73	8.43E-06	1	1.521	3	SI
463310	lpeal	Calzado	9	0.1349	2.248	0.0547	.	0.3872	0.3106	5.055	0.0547	1.8	3.539	7	NO
464111	lpef	Farmacias	5	0.6741	6.686	0.0026	**	0.9179	0.8973	44.7	0.002602	1.35	3.43	7	SI
464111	lpems	Minisúpers	7	1.6608	10.61	4.1E-05	***	0.9494	0.9409	112.5	4.13E-05	1.8	3.429	5	SI
465311	lpep	Papelería	4	0.05349	0.325	0.766	-	0.03408	-0.2879	0.1059	0.7663	0.45	2.938	5	NO
465912	lper	Regalos	3	0.6494	3.311	0.0804	.	0.8457	0.7686	10.96	0.08037	2	2.3	2.9	NO
461160	lpere	Repostería	4	0.1187	4.02	0.0276	*	0.8434	0.7912	16.16	0.02764	0.9	5.9	17.7	SI
463211	lpero	Ropa	11	0.04409	4.037	0.00237	**	0.6197	0.5817	16.29	0.002374	0.9	2.286	5	SI

Modelos de predictivos de Atracción de Viajes de Carga mediante la variable de Área del establecimiento															
SCIAN	Código	Actividad	Obs.	β	t-test	p-value	Significancia	R2	R2 Ajust	F-Test	P-value	Min	Media	Max	Validación
461110	lpaab	Abarrotes	19	0.1672	5.747	0.000019	***	0.6472	0.6276	33.02	1.9E-05	6	23.95	60	SI
463310	lpaal	Calzado	9	0.003144	2.494	0.0373	*	0.4374	0.3671	6.22	0.03729	24	147	340	NO
464111	lpaf	Farmacias	5	0.02652	2.538	0.0641	.	0.617	0.5212	6.444	0.06409	8	65.6	160	NO
464111	lpams	Minisúpers	7	0.05997	3.497	0.0129	*	0.6709	0.616	12.23	0.01287	17	74.57	170	SI
465311	lpap	Papelería	4	0.000303	0.269	0.805	-	0.02358	-0.3019	0.07244	0.8053	50	355	970	NO
465912	lpar	Regalos	3	0.02764	2.262	0.152	-	0.719	0.5785	5.118	0.1521	20	43.33	80	NO
461160	lpare	Repostería	4	0.006712	3.833	0.0313	*	0.8305	0.7739	14.69	0.03129	15	107.5	310	SI
463211	lparo	Ropa	11	0.001205	3.36	0.00724	**	0.5303	0.4834	11.29	0.00724	12	68.05	250	NO

Modelo tipo: $f_i = \alpha$

Modelos de predictivos de Atracción de Viajes de Carga											
SCIAN	Código	Actividad	Obs.	α	t-test	p-value	Significancia	Min	Media	Max	Validación
461110	licab	Abarrotes	19	5	8.238	0.000000161	***	1	5	12	SI
463310	lical	Calzado	9	0.6058	2.882	0.0204	*	0.07143	0.6058	2	SI
464111	licf	Farmacias	5	1.914	1.793	0.147	-	0.14286	1.914	5	NO
464111	licms	Minisúpers	7	6	7.099	0.000392	***	4	6	10	SI
465311	licp	Papelería	4	0.6	1.277	0.291	-	0.04762	0.6	2	NO
465912	licr	Regalos	3	1.4762	2.818	0.106	-	0.42857	1.4762	2	NO
461160	licre	Repostería	4	0.9643	2.482	0.0891	.	0.14286	0.9643	2	NO
463211	licro	Ropa	11	0.14286	8.563	0.00000646	***	0.07143	0.1428	0.14286	SI

Modelo tipo: $f_i = \alpha + \beta_1 E_{1i} + \beta_2 E_{2i} + \dots + \beta_n E_{ni}$

Modelos de predictivos de Atracción de Viajes de Carga mediante las variable de Clientes + Área																				
SCIAN	Código	Actividad	Obs.	α	t-test	p-value	Significancia	β_1	t-test	p-value	Significancia	β_2	t-test	p-value	Significancia	R2	R2 Ajust	F-Test	P-value	Validación
461110	lcaab	Abarrotes	19	2.310562	2.131	0.04892	*	0.01246	4.267	0.00059	***	-0.01	-0.197	0.84646	-	0.5355	0.4774	9.222	0.002168	NO
463310	lcaal	Calzado	9	-0.25736	-0.933	0.38697	-	0.00531	4.09	0.00643	**	0.002	1.647	0.15062	-	0.7451	0.6602	8.77	0.01656	NO
464111	lcaf	Farmacias	5	-1.18371	-1.885	0.31	-	0.02804	5.937	0.106	-	0.008	0.691	0.615	-	0.9756	0.9268	19.98	0.1562	NO
464111	lcams	Minisúpers	7	1.864944	2.137	0.0994	.	0.01019	6.387	0.00308	**	-0.01	-1.304	0.26208	-	0.9108	0.8662	20.42	0.007955	NO
465311	lcap	Papelería	4	-0.17028	-	-	-	0.01084	-	-	-	2E-05	-	-	-	-	-	-	-	NO
465912	lcar	Regalos	3	-0.75	-	-	-	0.11786	-	-	-	-0.04	-	-	-	-	-	-	-	NO
461160	lcare	Repostería	4	-0.75971	-1.735	0.333	-	0.01396	2.94	0.209	-	0.008	5.627	0.112	-	0.913	16.74	0.1703	0.1703	NO
463211	lcaro	Ropa	11	0.132808	4.841	4.841	**	-0.0002	-0.368	-0.368	-	3E-04	0.531	0.60994	-	0.03845	-0.2019	0.16	0.8548	NO

Modelos de predictivos de Atracción de Viajes de Carga mediante las variable de Cientes + Empleos																				
SCIAN	Código	Actividad	Obs.	α	t-test	p-value	Significancia	β_1	t-test	p-value	Significancia	β_2	t-test	p-value	Significancia	R2	R2 Ajust	F-Test	P-value	Validación
461110	Iceab	Abarrotes	19	2.569777	1.896	0.076099	-	0.012406	4.314	0.000535	***	-0.27212	-0.368	0.717864	-	0.5383	0.4805	9.326	0.002066	NO
463310	Iceal	Calzado	9	-0.04417	-0.107	-0.107	-	0.005024	3.236	3.236	*	0.032411	0.364	0.364	-	0.6378	0.5171	5.283	0.0475	NO
464111	Icef	Farmacias	5	-1.26121	-4.145	0.151	-	0.007454	0.716	0.604	-	0.677454	2.109	0.282	-	0.9934	0.9801	75.01	0.08137	NO
464111	Icems	Minisúpers	7	1.510558	1.669	0.1705	-	0.012797	2.808	0.0484	*	-0.46135	-0.737	0.5021	-	0.8881	0.8321	15.87	0.01253	NO
465311	Icep	Papelería	4	-0.18092	-	-	-	0.010891	-	-	-	0.005952	-	-	-	-	-	-	-	NO
465912	Icer	Regalos	3	4.2698	-	-	-	0.1571	-	-	-	-3.4921	-	-	-	-	-	-	-	NO
461160	Icere	Repostería	4	-0.55879	-5.541	0.1137	-	0.012133	10.833	0.0586	.	0.124482	22.95	0.0277	*	0.9982	0.9946	278	0.04237	NO
463211	Icero	Ropa	11	0.1439	4.19	0.00304	**	0.000104	0.255	0.80497	-	-0.00265	-0.17	0.86952	-	0.008147	-0.2398	0.03286	0.9678	NO

Modelos de predictivos de Atracción de Viajes de Carga mediante las variable de Área + Empleos																				
SCIAN	Código	Actividad	Obs.	α	t-test	p-value	Significancia	β_1	t-test	p-value	Significancia	β_2	t-test	p-value	Significancia	R2	R2 Ajust	F-Test	P-value	Validación
461110	laeab	Abarrotes	19	4.87463	2.403	0.0287	*	0.0183	0.356	0.7265	-	-0.2057	-0.188	0.8533	-	0.00904	-0.1148	0.07298	0.9299	NO
463310	laeal	Calzado	9	0.64873	1.181	0.282	-	0.001944	0.703	0.508	-	-0.09289	-0.555	0.599	-	0.08155	-0.2246	0.2664	0.7747	NO
464111	laef	Farmacias	5	-1.56793	-8.732	0.01286	*	0.007003	3.69	0.06624	.	0.88128	18.953	0.00277	**	0.9963	0.9925	266.8	0.003734	NO
464111	laems	Minisúpers	7	2.52201	2.526	0.06496	.	-0.0242	-2.416	0.07311	.	1.54066	5.054	0.00721	**	0.8648	0.7971	12.79	0.01829	NO
465311	laep	Papelería	4	1.618422	1.605	0.355	-	0.000884	0.369	0.775	-	-0.45354	-0.964	0.512	-	0.5832	-0.2505	0.6995	0.6456	NO
465912	laer	Regalos	3	-15.8095	-	-	-	-0.1571	-	-	-	10.4762	-	-	-	-	-	-	-	NO
461160	laere	Repostería	4	0.56557	0.349	0.349	-	0.01447	0.569	0.569	-	0.33117	0.475	0.475	-	0.871	0.6131	3.377	0.3591	NO
463211	laero	Ropa	11	0.141041	4.129	0.0033	**	0.000195	0.54	0.6037	-	-0.00501	-0.33	0.7502	-	0.03528	-0.2059	0.1463	0.8662	NO

Modelos de predictivos de Atracción de Viajes de Carga mediante la variable de Cientes + Área + Empleo																								
SCIAN	Cod.	Actividad	Obs.	α	t-test	p-value	Signif.	β_1	t-test	p-value	Signif.	β_2	t-test	p-value	Signif.	β_3	t-test	p-value	Signif.	R2	R2 Ajust	F-Test	p-value	Valid.
461110	lcaeab	Abarrotes	19	2.657	1.742	0.102	-	0.012	4.152	0.001	***	-0.005	-0.143	0.888	-	-0.257	-0.333	0.744	-	0.539	0.447	5.843	0.008	NO
463310	lcaaal	Calzado	9	-0.140	-0.374	0.724	-	0.005	3.735	0.014	*	0.002	1.572	0.177	-	-0.048	-0.508	0.633	-	0.758	0.612	5.210	0.054	NO
464111	lcaef	Farmacias	5	-1.441	-	-	-	0.009	-	-	-	0.006	-	-	-	0.625	-	-	-	-	-	-	-	NO
464111	lcaems	Minisúpers	7	1.937	1.880	0.157	-	0.008	1.289	0.288		-0.012	-0.926	0.423	-	0.277	0.271	0.804	-	0.913	0.826	10.490	0.042	NO
465311	lcaep	Papelería	4	-0.170	-	-	-	0.011	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NO
465912	lcaer	Regalos	3	-0.750	-	-	-	0.118	-	-	-	-0.039	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NO
461160	lcaere	Repostería	4	-0.477	-	-	-	0.011	-	-	-	-0.003	-	-	-	0.165	-	-	-	-	-	-	-	NO
463211	lcaero	Ropa	11	0.138	3.695	0.008	**	0.000	-0.284	0.785	-	0.000	0.529	0.613	-	-0.004	-0.239	0.818	-	0.046	-0.363	0.113	0.950	NO

Modelo tipo: $\ln(VAC) = \alpha + \beta \ln(E_i)$

Modelos de predictivos de Atracción de Viajes de Carga mediante la variable de Cientes																			
SCIAN	Código	Actividad	Obs.	α	t-test	p-value	Significancia	β	t-test	p-value	Significancia	R2	R2 Ajust	F-Test	P-value	Min	Media	Max	Validación
461110	nlcab	Abarrotes	19	-1.32959	-3.159	0.00573	**	0.54259	6.734	3.5E-06	***	0.727	0.7113	45.35	0.000003501	10	229	600	NO
463310	nlcal	Calzado	9	-3.5049	-2.33	0.0526	.	0.5838	1.696	0.1338	-	0.291	0.1899	2.875	0.1338	9	106.6	350	NO
464111	nlcf	Farmacias	5	-7.84	-5.764	0.0288	*	1.729	5.219	0.0348	*	0.932	0.8974	27.24	0.0348	25	80	200	NO
464111	nlcms	Minisúpers	7	-2.0635	-2.425	0.05977	.	0.6269	4.479	0.00652	**	0.801	0.7606	20.06	0.006523	200	474.4	800	NO
465311	nlcp	Papelería	4	-7.5202	-15.17	0.0419	*	1.5502	12.25	0.0519	.	0.993	0.9868	150.1	0.05186	20	80	200	NO
465912	nlcr	Regalos	3	-5.352	-1.437	0.387	-	1.61	1.494	0.376	-	0.691	0.3811	2.232	0.3755	20	33.33	50	NO
461160	nlcre	Repostería	4	0.4163	0.074	0.947	-	-0.201	-0.147	0.897	-	0.011	-0.4841	0.02147	0.8969	30	65	120	NO
463211	nlcro	Ropa	11	-2.44545	-8.414	0.0000148	***	0.13656	1.61	0.142	-	0.224	0.1374	2.592	0.1418	3	48.18	200	NO

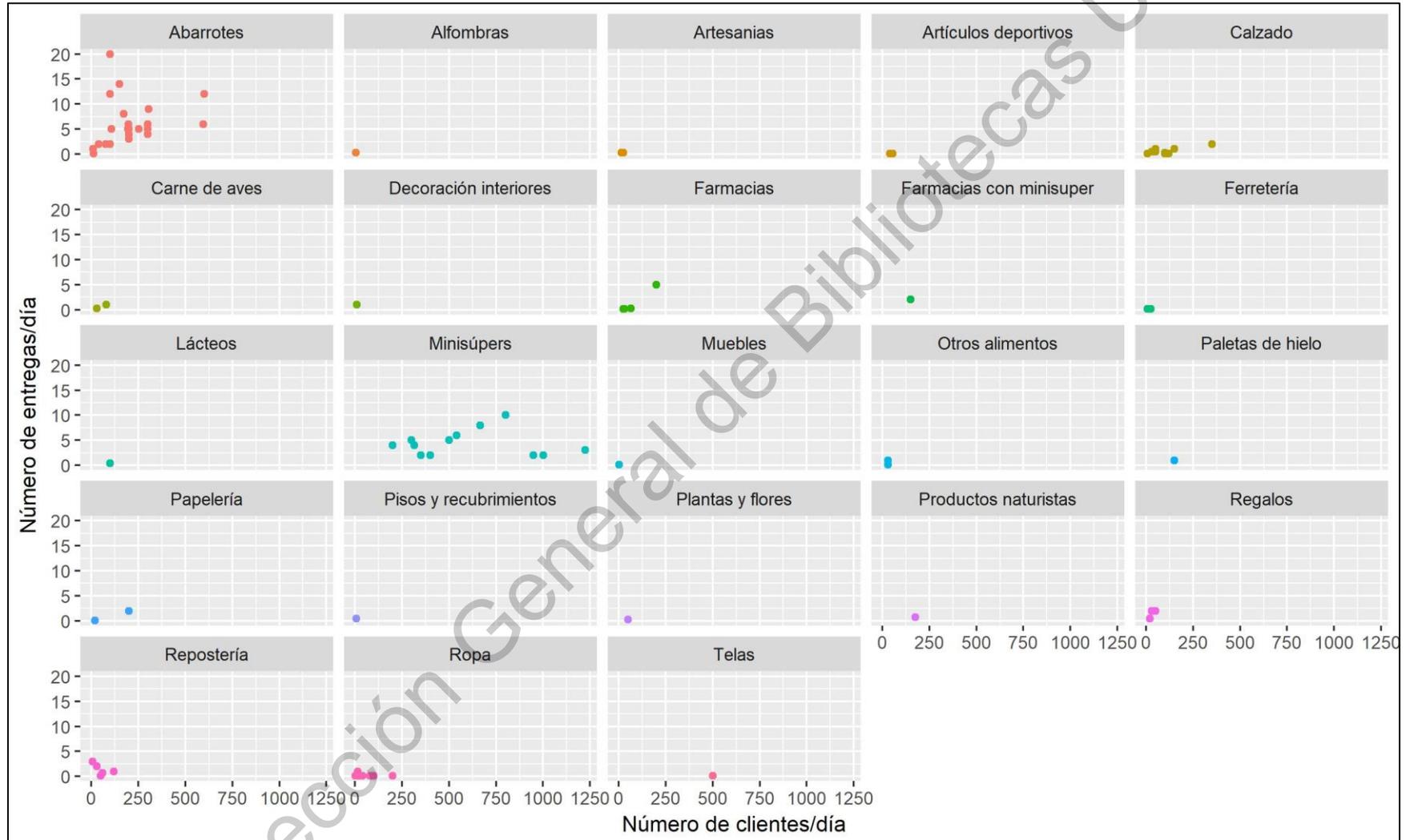
Modelos de predictivos de Atracción de Viajes de Carga mediante la variable de Empleos																			
SCIAN	Código	Actividad	Obs.	α	t-test	p-value	Significancia	β	t-test	p-value	Significancia	R2	R2 Ajust	F-Test	P-value	Min	Media	Max	Validación
461110	nleab	Abarrotes	19	1.4741	7.657	6.59E-07	***	-0.04	-0.106	0.917	-	0.000666	-0.05812	0.01132	0.9165	1	1.521	3	NO
463310	nleal	Calzado	9	-0.92632	-0.835	0.431	-	-0.08191	-0.092	0.929	-	0.001204	-0.1415	0.008437	0.9294	1.8	3.539	7	NO
464111	nlef	Farmacias	5	-2.9268	-6.593	0.0071	**	2.4308	6.613	0.00704	**	0.9358	0.9144	43.73	0.007041	1.35	3.43	7	NO
464111	nlems	Minisúpers	7	1.09	5.259	0.0033	**	0.5736	3.382	0.0196	*	0.6958	0.635	11.44	0.01963	1.8	3.429	5	SI
465311	nlep	Papelería	4	-0.7987	-0.862	0.48	-	1.074	-1.4	0.297	-	0.4949	0.2423	1.959	0.2965	0.45	2.938	5	NO
465912	nler	Regalos	3	-1.514	-0.505	0.702	-	2.073	0.577	0.667	-	0.25	-0.5	0.3333	0.6667	2	2.3	2.9	NO
461160	nlere	Repostería	4	-0.9587	-1.444	0.285	-	0.5406	1.3	0.323	-	0.458	0.1869	1.69	0.3233	0.9	5.9	17.7	NO
463211	nlero	Ropa	11	-2.06134	-12.99	3.91E-07	***	0.08618	0.49	0.636	-	0.02599	-0.08223	0.2402	0.6358	0.9	2.286	5	NO

Modelos de predictivos de Atracción de Viajes de Carga mediante la variable de Área del establecimiento																			
SCIAN	Código	Actividad	Obs.	α	t-test	p-value	Significancia	β	t-test	p-value	Significancia	R2	R2 Ajust	F-Test	P-value	Min	Media	Max	Validación
461110	nlaab	Abarrotes	19	0.2586	0.366	0.719	-	0.3967	1.73	0.102	-	0.1497	0.09972	2.994	0.1017	6	23.95	60	NO
463310	nlaal	Calzado	9	-3.6028	2.2032	0.146	-	0.5482	1.189	0.273	-	0.168	0.04909	1.413	0.2733	24	147	340	NO
464111	nlaf	Farmacias	5	-3.5188	-1.254	0.299	-	0.8292	1.145	0.335	-	0.3041	0.07213	1.311	0.3353	8	65.6	160	NO
464111	nlams	Minisúpers	7	1.50168	1.632	0.164	-	0.05724	0.26	0.805	-	0.01332	-0.184	0.06748	0.8054	17	74.57	170	NO
465311	nlap	Papelería	4	0.03237	0.007	0.995	-	-0.30763	-0.356	0.756	-	0.05944	-0.4108	0.1264	0.7562	50	355	970	NO
465912	nlar	Regalos	3	-0.865	-0.196	0.877	-	0.2908	0.24	0.85	-	0.0543	-0.8914	0.05742	0.8503	20	43.33	80	NO
461160	nlare	Repostería	4	-1.8624	-0.762	0.526	-	0.3585	0.62	0.599	-	0.1612	-0.2582	0.3843	0.5985	15	107.5	310	NO
463211	nlaro	Ropa	11	-2.4869	-4.543	0.0014	**	0.1229	0.893	0.3952	-	0.08136	-0.02071	0.7971	0.3952	12	68.05	250	NO

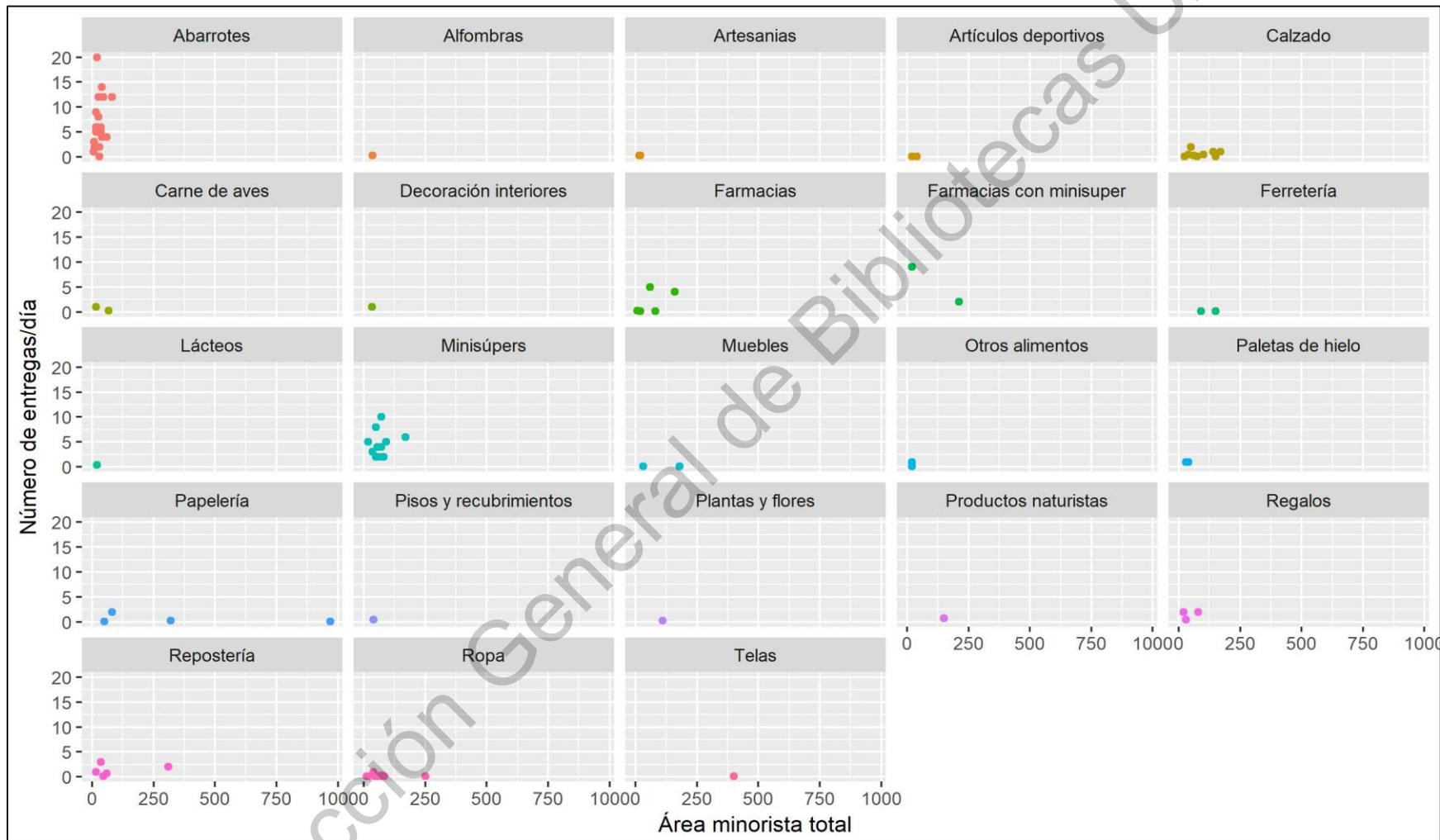
Clases de actividad con registros menores de 3

SCIAN	Actividad	Obs.	α
466311	Alfombras	1	0.143
465915	Artesanías	2	0.143
465215	Artículos deportivos	2	0.107
461122	Carne de aves	2	0.643
466319	Decoración interiores	1	1
464112	Farmacias con minisúper	2	5.5
467111	Ferretería	2	0.143
461150	Lácteos	1	0.429
466111	Muebles	2	0.143
461190	Otros alimentos	2	0.571
461170	Paletas de hielo	2	1
467112	Pisos y recubrimientos	1	0.429
466312	Plantas y flores	1	0.286
464113	Productos naturistas	1	0.714
463111	Telas	1	0.143

Gráfica de dispersión: Número de clientes/día vs Número de entregas/día.



Gráfica de dispersión: Área minorista total vs Número de entregas/día.



ANEXO X: Procedimientos de agregación.

Caso de estudio

SCIAN	Clase de Actividad	No. de establecimientos	% del total	Empleos totales	α	β	Entregas por día
461110	Abarrotes	111	5.76%	283		2.835	802.42
461213	Bebidas no alcohólicas y hielo	2	0.10%	5	1.000		2.00
463113	Mercería y bonetería	24	1.24%	71	0.143		3.43
464122	Artículos ortopédicos	10	0.52%	30.5	0.143		1.43
465111	Perfumería y cosméticos	41	2.13%	119	0.071		2.93
465112	Joyería y relojes	56	2.90%	140	0.071		4.00
465215	Artículos deportivos	28	1.45%	75.5	0.107		3.00
465311	Papelería	56	2.90%	162	0.600		33.60
468211	Refacciones para automóviles	15	0.78%	57	0.143		2.14
469110	Ventas por internet	2	0.10%	5	1.000		2.00
461121	Carnes rojas	52	2.70%	163.5	0.643		33.43
461122	Carne de aves	28	1.45%	70	0.643		18.00
461123	Pescados y mariscos	4	0.21%	10	0.643		2.57
461130	Frutas y verduras	51	2.65%	133	0.429		21.86
461140	Granos alimenticios	16	0.83%	40	0.143		2.29
461150	Lácteos	20	1.04%	66.5	0.429		8.57
461160	Repostería	35	1.82%	98.5		0.119	11.69
461170	Paletas de hielo y helados	28	1.45%	75.5	1.000		28.00
461190	Otros alimentos	36	1.87%	104	0.571		20.57
461211	Vinos y licores	2	0.10%	5	0.714		1.43
461212	Cerveza	2	0.10%	5	0.714		1.43
461220	Cigarros	1	0.05%	2.5	0.714		0.71
462111	Supermercados	7	0.36%	166	0.000		0.00
462112	Minisúpers	36	1.87%	384		1.661	637.75
462210	Tienda departamentales	4	0.21%	308	1.000		4.00
463111	Telas	6	0.31%	86.5	0.143		0.86
463112	Blancos	11	0.57%	27.5	0.143		1.57
463211	Ropa	273	14.16%	2030		0.044	89.50
463212	Ropa de bebé	12	0.62%	30		0.044	1.32
463213	Lencería	28	1.45%	84		0.044	3.70
463214	Vestimenta regional y vestidos de novia	26	1.35%	65		0.044	2.87
463215	Bisutería y accesorios	55	2.85%	402.5		0.044	17.75
463216	Ropa de cuero	9	0.47%	22.5		0.044	0.99
463217	Pañales desechables	1	0.05%	2.5		0.044	0.11
463218	Sombreros	5	0.26%	18		0.044	0.79

463310	Calzado	81	4.20%	403.5		0.135	54.43
464111	Farmacias sin minisúper	32	1.66%	152.5		0.674	102.80
464112	Farmacias con minisúper	10	0.52%	67	5.500		55.00
464113	Productos naturistas	47	2.44%	123	0.714		33.57
464121	Lentes	58	3.01%	195	0.143		8.29
465211	Discos y casetes	15	0.78%	37.5	0.143		2.14
465212	Juguetes	23	1.19%	57.5	0.143		3.29
465213	Bicicletas	2	0.10%	5	0.143		0.29
465216	Instrumentos musicales	19	0.99%	53	0.143		2.71
465312	Libros	18	0.93%	345.5	0.071		1.29
465313	Revistas y periódicos	26	1.35%	65	0.071		4.64
465911	Mascotas	9	0.47%	22.5	0.143		1.29
465912	Regalos	52	2.70%	152		0.649	98.71
465913	Artículos religiosos	10	0.52%	25	0.143		1.43
465914	Artículos desechables	7	0.36%	51	0.143		1.00
465915	Artesanías	62	3.22%	188.5	0.143		8.86
465919	Artículos de uso personal	9	0.47%	22.5	0.143		1.29
466111	Muebles	28	1.45%	103.5	0.143		4.00
466112	Electrodomésticos	12	0.62%	35.5	0.143		1.71
466114	Cristalería	14	0.73%	46	0.143		2.00
466211	Mobiliario de cómputo	16	0.83%	40	0.143		2.29
466212	Teléfonos	52	2.70%	174.5	0.143		7.43
466311	Alfombras	4	0.21%	10	0.143		0.57
466312	Plantas y flores	28	1.45%	84	0.286		8.00
466313	Antigüedades y obras de arte	11	0.57%	27.5	0.143		1.57
466314	Lamparas	2	0.10%	5	0.143		0.29
466319	Artículos de decoración	25	1.30%	106	1.000		25.00
466410	Artículos usados	75	3.89%	193	0.143		10.71
467111	Ferretería y tlapalería	32	1.66%	96.5	0.143		4.57
467112	Pisos y recubrimientos	2	0.10%	5	0.429		0.86
467113	Pintura	12	0.62%	44	0.143		1.71
467114	Vidrios y espejos	11	0.57%	33	0.143		1.57
467115	Artículos de limpieza	13	0.67%	43.5	0.143		1.86
467117	Artículos para albercas	1	0.05%	2.5	0.143		0.14
468112	Autos usados	2	0.10%	5	0.143		0.29
468213	Llantas	4	0.21%	21	0.143		0.57
468311	Motocicletas	6	0.31%	15	0.143		0.86
468319	Otros vehículos de motor	1	0.05%	2.5	0.571		0.57
468411	Gasolina y diesel	3	0.16%	49.5	1.000		3.00
468420	Aceites y grasas	1	0.05%	2.5	0.143		0.14
Total general		1928	100%	8459			2229.44

Zona de análisis de tráfico

SCIAN	Actividad	No. de establecimientos	% del total	Empleos totales	α	β	Entregas por día
461110	Abarrotes	10	7.58%	25		2.835	70.89
461140	Granos alimenticios	1	0.76%	2.5	0.143		0.14
463216	Ropa de cuero	1	0.76%	2.5		0.044	0.11
464122	Artículos ortopédicos	4	3.03%	10	0.143		0.57
461121	Carnes rojas	5	3.79%	12.5	0.643		3.21
461122	Carne de aves	6	4.55%	15	0.643		3.86
461130	Frutas y verduras	12	9.09%	30	0.429		5.14
461150	Lácteos	3	2.27%	7.5	0.429		1.29
461160	Repostería	2	1.52%	5		0.119	0.59
461190	Otros alimentos	3	2.27%	7.5	0.571		1.71
462112	Minisúpers	2	1.52%	10.5		1.661	17.44
463113	Mercería y bonetería	3	2.27%	7.5	0.143		0.43
463211	Ropa	15	11.36%	37.5		0.044	1.65
463213	Lencería	2	1.52%	5		0.044	0.22
463215	Bisutería y accesorios	5	3.79%	12.5		0.044	0.55
463217	Pañales desechables	1	0.76%	2.5		0.044	0.11
463310	Calzado	5	3.79%	12.5		0.135	1.69
464111	Farmacias sin minisúper	3	2.27%	7.5		0.674	5.06
464113	Productos naturistas	4	3.03%	10	0.714		2.86
464121	Lentes	4	3.03%	15.5	0.143		0.57
465112	Joyería y relojes	1	0.76%	2.5	0.071		0.07
465211	Discos y casetes	2	1.52%	5	0.143		0.29
465212	Juguetes	3	2.27%	7.5	0.143		0.43
465215	Artículos deportivos	2	1.52%	5	0.107		0.21
465311	Papelería	7	5.30%	17.5	0.600		4.20
465313	Revistas y periódicos	1	0.76%	2.5	0.071		0.07
465912	Regalos	5	3.79%	12.5		0.649	8.12
465914	Artículos desechables	2	1.52%	5	0.143		0.29
465915	Artenasínas	1	0.76%	2.5	0.143		0.14
466111	Muebles	1	0.76%	2.5	0.143		0.14
466211	Mobiliario de cómputo	1	0.76%	2.5	0.143		0.14
466212	Teléfonos	2	1.52%	5	0.143		0.29
466311	Alfombras	1	0.76%	2.5	0.143		0.14
466312	Plantas y flores	1	0.76%	2.5	0.286		0.29
466319	Artículos de decoración	2	1.52%	5	1.000		2.00
466410	Artículos usados	4	3.03%	10	0.143		0.57
467111	Ferretería	2	1.52%	5	0.143		0.29
467114	Vidrios y espejos	1	0.76%	2.5	0.143		0.14
467115	Artículos de limpieza	2	1.52%	5	0.143		0.29
Total general		132	100.00%	341			136.19

ANEXO XI: Base de datos de las encuestas de observación de vehículos de carga.

folioOb servad or	nombre	actividad	SCIAN	Latitud	Longitud	camionNo	horaLlegada	proble masEst acionar	tiempo Estacio nar	camion Tipo	empresaP rov	tiempoDe scargar	distancia Estacio	equipo Mec	entrega sCamio n	entregasP arada	horaSalid a	tiempoAc tividad
SM-01	Jada	Abarrotes	461110	20.59319996	-100.4000764	Camión 1	10:00:00	1	0	3.00	0.00	10	1	1	2	0.5	10:30:00	30.00
SM-01	La Congregacion	Abarrotes	461110	20.594306	-100.39025	Camión 1	9:50:00	1	0	0.00	2.00	5	4	0	1	1	10:12:00	22.00
SM-01	Super Q	Minisupers	462112	20.59446602	-100.3904665	Camión 1	9:20:00	0	5	4.00	7.00	5	4	0	1	1	10:32:00	72.00
CP-01	Cremeria Y Sallhiv.	Abarrotes	461110	20.592595	-100.398554	Camión 1	10:26:00	0	2	4.00	10.00	20	2	NA	4	0.25	10:50:00	24.00
CP-01	Extra	Minisupers	462112	20.60055371	-100.3807184	Camión 1	9:33:00	0	1	2.00	7.00	3	1	NA	1	1	9:45:00	12.00
SM-01	La Quinta	Abarrotes	461110	20.59361665	-100.3796974	Camión 1	9:40:00	0	2	4.00	0.00	3	1	1	1	1	9:53:00	13.00
SM-02	Milerio II	Abarrotes	461110	20.59650141	-100.3863153	Camión 1	10:55:00	NA	NA	NA	11.00	NA	2	0	1	1	10:57:00	2.00
SM-03	Maxi Vinos	Minisupers	462112	20.59101445	-100.3824416	Camión 1	10:22:00	1	0	4.00	4.00	4	0	0	1	1	10:26:00	4.00
SM-04	Oxxo	Minisupers	462112	20.59120002	-100.3916802	Camión 1	9:31:00	0	0	3.00	9.00	14	0	1	1	1	9:48:00	17.00
SM-06	Mini Lupis	Abarrotes	461110	20.59145531	-100.3796271	Camión 1	11:35:00	1	0	2.00	12.00	3	0	0	1	1	11:41:00	6.00
SM-01	Jada	Abarrotes	461110	20.59319996	-100.4000764	Camión 2	10:21:00	1	0	2.00	6.00	6	0	0	1	1	10:29:00	8.00
SM-01	La Congregacion	Abarrotes	461110	20.594306	-100.39025	Camión 2	9:20:00	0	2	2.00	5.00	8	1	0	2	0.5	9:45:00	25.00
SM-01	Super Q	Minisupers	462112	20.59446602	-100.3904665	Camión 2	9:54:00	0	NA	3.00	0.00	NA	2	2	1	1	10:17:00	23.00
CP-01	Extra	Minisupers	462112	20.60055371	-100.3807184	Camión 2	NA	0	NA	3.00	1.00	8	2	NA	1	1	NA	NA
SM-01	La Quinta	Abarrotes	461110	20.59361665	-100.3796974	Camión 2	9:45:00	0	5	2.00	12.00	1	1	0	1	1	9:52:00	7.00
SM-03	Maxi Vinos	Minisupers	462112	20.59101445	-100.3824416	Camión 2	10:18:00	1	0	2.00	12.00	3	0	0	1	1	10:40:00	22.00
SM-04	Oxxo	Minisupers	462112	20.59120002	-100.3916802	Camión 2	10:08:00	1	0	0.00	12.00	1	3	0	1	1	10:12:00	4.00
SM-06	Mini Lupis	Abarrotes	461110	20.59145531	-100.3796271	Camión 2	12:28:00	1	0	4.00	4.00	2	0	0	1	1	12:40:00	12.00
SM-01	La Congregacion	Abarrotes	461110	20.594306	-100.39025	Camión 3	10:12:00	0	2	2.00	5.00	8	1	0	1	1	10:34:00	22.00
SM-01	Super Q	Minisupers	462112	20.59446602	-100.3904665	Camión 3	10:55:00	1	0	2.00	12.00	1	4	0	1	1	10:58:00	3.00
CP-01	Extra	Minisupers	462112	20.60055371	-100.3807184	Camión 3	11:10:00	0	1	2.00	3.00	5	1	NA	1	1	11:28:00	18.00
SM-01	La Quinta	Abarrotes	461110	20.59361665	-100.3796974	Camión 3	10:24:00	1	1	2.00	6.00	2	1	0	1	1	10:29:00	5.00
SM-03	Maxi Vinos	Minisupers	462112	20.59101445	-100.3824416	Camión 3	11:10:00	1	0	4.00	8.00	1	0	0	1	1	11:17:00	7.00
SM-01	La Congregacion	Abarrotes	461110	20.594306	-100.39025	Camión 4	10:20:00	0	16	4.00	0.00	8	4	0	1	1	10:34:00	14.00
SM-01	Super Q	Minisupers	462112	20.59446602	-100.3904665	Camión 4	10:21:00	1	0	4.00	4.00	4	1	1	4	0.25	11:07:00	46.00
SM-03	Maxi Vinos	Minisupers	462112	20.59101445	-100.3824416	Camión 4	11:45:00	1	0	3.00	1.00	4	1	0	1	1	11:53:00	8.00
SM-01	La Congregacion	Abarrotes	461110	20.594306	-100.39025	Camión 5	10:21:00	1	0	4.00	4.00	8	1	1	4	0.25	11:07:00	46.00
SM-01	La Congregacion	Abarrotes	461110	20.594306	-100.39025	Camión 6	11:14:00	1	0	2.00	2.00	5	4	0	1	1	11:23:00	9.00

Dirección General de Bibliotecas UAQ