



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE  
ESCUELA DE INGENIERIA

**MÉTODO DE LOCALIZACIÓN DE  
BAHÍAS DE CARGA Y DESCARGA:  
APLICACIÓN AL PLAN INTEGRAL DE  
MOVILIDAD DE SANTIAGO CENTRO**

**MARÍA ALEJANDRA CUEVAS DE LA FUENTE**

Tesis para optar al grado de  
Magister en Ciencias de la Ingeniería

Profesor Supervisor:  
**RICARDO GIESEN ENCINA**

Santiago de Chile, (septiembre, 2016)

© 2016, María Alejandra Cuevas



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE  
ESCUELA DE INGENIERIA

**MÉTODO DE LOCALIZACIÓN DE  
BAHÍAS DE CARGA Y DESCARGA:  
APLICACIÓN AL PLAN INTEGRAL DE  
MOVILIDAD DE SANTIAGO CENTRO**

**MARÍA ALEJANDRA CUEVAS DE LA FUENTE**

Tesis presentada a la Comisión integrada por los profesores:

**RICARDO GIESEN ENCINA**

**HOMERO LARRAÍN IZQUIERDO**

**MABEL LEVA HENRÍQUEZ**

**CRISTIAN ANDRES TEJOS NUNEZ**

Para completar las exigencias del grado de  
Magister en Ciencias de la Ingeniería

Santiago de Chile, (septiembre, 2016)

Para quienes me acompañaron en este  
proceso.

## AGRADECIMIENTOS

Esta tesis no hubiera sido posible sin el apoyo del Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (CEDEUS), el programa MISTI – PUC *Seed Fund* del *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), y la División de Desarrollo Logístico (DDL) del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT).

Quiero agradecer al profesor Ricardo Giesen por su apoyo y supervisión. Al equipo del *Megacity Logistics Lab* del MIT, Matthias Winckenbach y Daniel Merchán, por su colaboración en este proyecto y en el artículo desarrollado. De la División de Desarrollo Logístico, a Mabel Leva por darme la oportunidad de trabajar con ellos y posteriormente participar en la comisión de esta tesis; a Lissette Isa, por su guía y liderazgo, a Soledad Retamal, Lidia Miranda y Julio Mora, con quienes trabajé durante esos días y me ayudaron a lo largo del proceso.

Finalmente, quiero agradecer a todos los que me apoyaron durante el proceso: mi familia, Diego, mis amigos, la directiva y equipo del Centro de Alumnos 2016 y a todos mis compañeros y profesores del Departamento de Ingeniería de Transporte y Logística.

## INDICE GENERAL

|   | Pág. |
|---|------|
| DEDICATORIA .....   | ii   |
| AGRADECIMIENTOS .....   | iv   |
| Indice General .....  | v    |
| Indice De Tablas .....  | vii  |
| Indice de Figuras .....   | ix   |
| RESUMEN.....  | xii  |
| ABSTRACT.....   | xiii |
| 1. Introducción.....  | 1    |
| 2. Revisión bibliografica.....                                      | 6    |
| 2.1. Definiciones y características de la logística urbana.....     | 6    |
| 2.2. Actores involucrados en la logística urbana.....               | 7    |
| 2.3. Logística urbana y los proyectos de planificación urbana ..... | 9    |
| 2.4. Políticas de logística urbana.....                             | 12   |
| 2.4.1. Políticas basadas en restricciones .....                     | 14   |
| 2.4.2. Bahías de carga y descarga .....                             | 16   |
| 2.4.3. Centros de consolidación urbana .....                        | 18   |
| 2.4.4. Distribución nocturna .....                                  | 20   |
| 2.4.5. Incentivo a vehículos limpios .....                          | 21   |
| 2.5. Métodos Cuantitativos .....                                    | 21   |
| 2.5.1. Métodos utilizados para localización de bahías.....          | 21   |
| 2.5.2. Métodos de teoría de colas .....                             | 23   |
| 2.5.3. Problemas de localización .....                              | 26   |
| 2.5.4. Análisis espacial de sistemas de espera .....                | 28   |
| 3. Metodología propuesta .....                                      | 36   |
| 3.1. Procedimientos analíticos de los modelos.....                  | 36   |
| 3.1.1. Cuantificación de bahías.....                                | 36   |
| 3.1.2. Esquema de la localización de las bahías .....               | 37   |

|                    |   |     |
|--------------------|---|-----|
| 3.1.3.             | Análisis espacial de los sistemas de bahías .....                   | 38  |
| 3.2.               | Desarrollo de la propuesta de bahías.....                           | 39  |
| 3.2.1.             | Modelo agregado de bahías .....                                     | 40  |
| 3.2.2.             | Modelo integral de bahías.....                                      | 40  |
| 4.                 | Caso de Estudio: centro histórico de Santiago .....                 | 43  |
| 4.1.               | Recolección de información para la zona del caso de estudio.....    | 43  |
| 4.2.               | Caracterización y descripción de la zona .....                      | 44  |
| 4.2.1.             | Características de la demanda.....                                  | 44  |
| 4.2.2.             | Características de las restricciones a la logística en la zona..... | 53  |
| 4.2.3.             | Características de los procesos de distribución .....               | 62  |
| 4.3.               | Propuesta de localización de bahías .....                           | 72  |
| 4.3.1.             | Modelo agregado de bahías .....                                     | 72  |
| 4.3.2.             | Proceso de trabajo con la mesa técnica del plan.....                | 75  |
| 4.3.3.             | Modelo integral de bahías.....                                      | 78  |
| 4.4.               | Análisis de la propuesta .....                                      | 83  |
| 4.4.1.             | Análisis de sensibilidad .....                                      | 83  |
| 4.4.2.             | Análisis de cobertura geográfica y satisfacción de la demanda.....  | 87  |
| 4.4.3.             | Análisis utilizando el modelo hipercubo .....                       | 93  |
| 5.                 | Conclusiones.....   | 103 |
| 5.1.               | Principales resultados y contribuciones .....                       | 103 |
| 5.2.               | Extensiones .....   | 106 |
| BIBLIOGRAFIA ..... |   | 109 |
| A N E X O S .....  |   | 118 |
| Anexo A:           | Otras soluciones de logística urbana.....                           | 119 |
| Anexo B:           | Preguntas encuesta.....   | 120 |
| Anexo C:           | Distribución por bloques de la zona .....                           | 124 |
| Anexo D:           | Priorización de bahías y tasas de llegada.....                      | 125 |
| Anexo E:           | Tasas de ocupación del modelo integral de bahías .....              | 129 |
| Anexo F:           | Probabilidad de necesitar servicios entre zonas.....                | 131 |

## INDICE DE TABLAS

|  | Pág. |
|--|------|
| Tabla 4-1: Patentes municipales de la comuna de Santiago, año 2015.....  | 45   |
| Tabla 4-2: Detalle patentes comerciales en el centro histórico de Santiago, año 2015 ...                                       | 46   |
| Tabla 4-3: Distribución locales comerciales del km2 de Santiago, según Merchán <i>et al.</i> 2015.....                         | 47   |
| Tabla 4-4: Cantidad de locales comerciales en ejes prioritarios .....  | 48   |
| Tabla 4-5: Resultados encuesta generadores de carga, División de Desarrollo Logístico del MTT .....                            | 53   |
| Tabla 4-6: Resultados preguntas sustentabilidad, encuesta a locales .....  | 65   |
| Tabla 4-7: Estimación cantidad de entregas diarias por tipo de local, según Merchán <i>et al.</i> 2015.....                    | 66   |
| Tabla 4-8: Comparación entre promedios de entregas diarias .....   | 66   |
| Tabla 4-9: Cantidad de entregas diarias para el kilómetro cuadrado central de Santiago, según Merchán <i>et al.</i> 2015 ..... | 67   |
| Tabla 4-10: Tasas de entregas por hora por período del día para distintas estimaciones de entrega, según Merchán (2014).....   | 69   |
| Tabla 4-11: Cantidad observada de estacionamientos disponibles para el público en algunos ejes prioritarios .....              | 70   |
| Tabla 4-12: Cantidad de bahías propuesta por el <i>Megacity Logistics Lab</i> del MIT, según Blanco <i>et al.</i> (2014).....  | 73   |
| Tabla 4-13: Cantidad necesaria de bahías por cuadra, centro histórico de Santiago .....  | 83   |
| Tabla 4-14: Análisis de sensibilidad para distintas tasas de llegada.....  | 85   |
| Tabla 4-15: Análisis de sensibilidad de la tasa de servicio, para una tasa de llegada de 200 camiones por hora .....           | 86   |
| Tabla 4-16: Análisis de sensibilidad de la tasa de servicio, para una tasa de llegada de 330 camiones por hora .....           | 86   |
| Tabla 4-17: Demanda cubierta según distancia de influencia.....  | 91   |
| Tabla 4-18: Tasas de ocupación promedio según número de bahías por cuadra .....  | 94   |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 4-19: Tasas de ocupación promedio según número de bahías por cuadra, para la versión II del modelo integral de bahías .....                                   | 96  |
| Tabla 4-20: Tasas de ocupación promedio y máxima según caso de la versión III del modelo integral de bahías.....  | 99  |
| Tabla 4-21: Camiones en cola: promedios y tiempos de espera .....   | 100 |
| Tabla 4-22: Probabilidad de ocurrencia de despachos entre zonas por escenario .....   | 102 |
| Tabla A.A-1: Otras soluciones de logística urbana basados en Cuevas <i>et al.</i> (2013)....  | 119 |
| Tabla A.D-1: Preferencias de bahías por bloque, para el modelo integral de bahías ....  | 125 |
| Tabla A.D-2: Preferencias de bahías por bloque, para el modelo integral de bahías versión II, para aquellos bloques que consideran la nueva bahía de Monjitas ..... | 126 |
| Tabla A.D-3: Preferencias de bahías por bloque, para el modelo integral de bahías versión II para bahías con cambio de prioridades, opción 1 .....                  | 127 |
| Tabla A.D-4: Preferencias de bahías por bloque, para el modelo integral de bahías versión II para bahías con cambio de prioridades, opción 2.....                   | 127 |
| Tabla A.D-5: Tasas de llegadas en primera prioridad para cada cuadra con bahías.....  | 128 |
| Tabla A.E-1: Tasas de ocupación promedio por cuadra, parte I.....   | 129 |
| Tabla A.E-2: Tasas de ocupación promedio por cuadra, parte II .....   | 130 |
| Tabla A.F-1: Probabilidad de necesitar un servicio en otra cuadra, parte I.....   | 131 |
| Tabla A.F-2: Probabilidad de necesitar un servicio en otra cuadra, parte II.....  | 132 |

## INDICE DE FIGURAS

|   | Pág. |
|---|------|
| Figura 1-1: Mapa centro histórico de Santiago .....   | 4    |
| Figura 2-1: Ejemplos de bahías de carga y descarga por Dezi <i>et al</i> (2010).....                                    | 17   |
| Figura 2-2: Demarcación de zonas de carga y descarga, Plan de Movilidad Sustentable, Buenos Aires Ciudad .....          | 17   |
| Figura 2-3: Esquema de bomberos y paramédicos de Saint Paul, Minnesota .....  | 29   |
| Figura 3-1: Comparación modelos agregado e integral de bahías .....   | 42   |
| Figura 4-1: Distribución de locales comerciales en los ejes prioritarios .....  | 48   |
| Figura 4-2: Rangos horarios de carga y descarga para el Eje Compañía – Merced, División de Desarrollo Logístico .....   | 50   |
| Figura 4-3: Distribución de los rubros de los locales encuestados .....   | 52   |
| Figura 4-4: Área de restricción, Ordenanza Municipal N°79/1998 – División de Desarrollo Logístico.....                  | 54   |
| Figura 4-5: Decreto Municipal N°1.476/2013 – División de Desarrollo Logístico.....                                      | 56   |
| Figura 4-6: Camiones realizando carga y descarga en Moneda a las 7:45 am del viernes 12 de agosto, 2016 .....           | 57   |
| Figura 4-7: Decreto no respetado por los automovilistas, ni fiscalizado – Ejemplo: calle Monjitas, Santiago Centro..... | 57   |
| Figura 4-8: Incoherencias entre el decreto y la señalética en el área – Ejemplo: calle Agustinas, Santiago Centro.....  | 59   |
| Figura 4-9: Prioridades Plan Integral de Movilidad – Ilustre Municipalidad de Santiago .....                            | 61   |
| Figura 4-10: Plan centro del Plan Integral de Movilidad – Ilustre Municipalidad de Santiago.....                        | 62   |
| Figura 4-11: Comparación de promedio de entregas semanales por rubro.....   | 64   |
| Figura 4-12: Estimación de distribución de entregas por rubro y período del día de Merchán (2014).....                  | 68   |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 4-13: Ejemplo de escenarios estimados de distribución de entregas totales por hora, según Merchán (2014).....                             | 68  |
| Figura 4-14: Camión realizando descarga en Hermanos Amunátegui, Santiago.....  | 71  |
| Figura 4-15: Furgoneta realizando descarga, calle Bandera, Santiago .....  | 71  |
| Figura 4-16: Paso 1 - Ubicación homogénea de bahías, según Blanco <i>et al.</i> 2014 .....   | 74  |
| Figura 4-17: Paso 2 - Verificación de distancia máxima, según Blanco <i>et al.</i> 2014 .....  | 74  |
| Figura 4-18: Organigrama Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones - Subsecretaría de Transportes.....                                      | 76  |
| Figura 4-19: Camiones en calle Agustinas, Santiago .....   | 79  |
| Figura 4-20: Camión mal estacionado, calle San Martín, Santiago .....  | 80  |
| Figura 4-21: Camión esperando en segunda fila, calle Agustinas, Santiago .....   | 80  |
| Figura 4-22: Propuesta modelo integral de para el centro histórico de Santiago.....  | 82  |
| Figura 4-23: Gráfico de comparación entre tasas de llegada .....   | 85  |
| Figura 4-24: Cobertura geográfica de las bahías con 150 metros de alcance .....  | 88  |
| Figura 4-25: Cobertura geográfica de las bahías con 200 metros de alcance .....  | 89  |
| Figura 4-26: Distribución locales comerciales del kilómetro cuadrado según datos del <i>Megacity Logistics Lab</i> del MIT, utilizando QGIS..... | 90  |
| Figura 4-27: Cobertura con área de influencia de 150 metros .....  | 91  |
| Figura 4-28: Cobertura con área de influencia de 200 metros .....  | 92  |
| Figura 4-29: Cobertura con área de influencia de 250 metros .....  | 92  |
| Figura 4-30: Tiendas del centro, cubiertas por 150 metros, 200, 250 y no cubiertas .....   | 93  |
| Figura 4-31: Comparación de tasas de ocupación según cantidad de bahías, modelo original (V1).....   | 95  |
| Figura 4-32: Comparación de tasas de ocupación según cantidad de bahías, modelo con extra cuadra (V2).....                                       | 97  |
| Figura 4-33: Comparación de tasas de ocupación según cantidad de bahías, modelo con cantidad variable de bahías (V3).....                        | 99  |
| Figura A.B-1: Encuesta a locales - Datos Generales .....   | 120 |
| Figura A.B-2: Encuesta a locales - Preguntas de inventario .....   | 121 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura A.B-3: Encuesta a locales - Preguntas de carga y descarga ..... | 122 |
| Figura A.B-4: Encuesta a locales - Otras preguntas .....               | 123 |
| Figura A.C-1: Distribución de bloques en el kilómetro cuadrado .....   | 124 |

## RESUMEN

Entre las medidas de logística urbana más comunes se encuentran el uso de bahías de carga y descarga. En esta tesis se presenta una propuesta de localización de bahías en el contexto de un plan de movilidad urbana. En primer lugar, se obtiene un modelo agregado de bahías utilizando teoría de colas y modelos de localización de instalaciones. Debido a la visión integral y a los múltiples actores que participan de un plan de movilidad, la propuesta debe ser adaptada según los requerimientos del plan y el contexto de la zona de estudio derivando en un modelo integral de bahías. Para la evaluación de este, se utiliza un modelo hipercubo de colas, que incorpora la dimensión espacial y las preferencias en su análisis. Como enseñanza del proceso se nota que, al comparar ambos modelos, el modelo agregado no observa la congestión local existente en la zona debido a que asume una distribución homogénea de la demanda en el área. Finalmente, otras limitaciones y extensiones también son discutidas, entre ellas posibles mejoras a los modelos y también medidas complementarias para el caso de estudio de Santiago Centro.

Palabras Claves: logística urbana, bahías de carga y descarga, planes de movilidad urbana, localización de bahías.

## **ABSTRACT**

Loading and unloading bays are one of the most common urban logistics measure used. This thesis presents a proposal for location of bays in the context of an urban mobility plan. First, an aggregate model of bays is determinate using queue theory and facility location models. The proposal must be adapted to an integral model of bays, according to the context of the area of study and the requirements caused by the comprehensive vision and multiple actors involved in a mobility plan. This adaptation is evaluated using a hypercube queueing model, which incorporates spatial dimension and preferences in its analysis. One of the main lessons in this process is notice when comparing both models. The aggregate model does not observe the local congestion that may exist in the area, because of its assumption of a homogenous distribution of the demand in the area. Finally, other limitations and extensions are also discussed, including possible improvements to the models and other complementary measures to the case study of Santiago Centro.

Keywords: urban logistics, loading and unloading bays, urban mobility plans, bays location

## 1. INTRODUCCIÓN

Todo bien, consumido o utilizado, ha pasado por un proceso logístico para llegar a su destino. En el mundo actual, no solo las personas deben movilizarse para r sus distintas actividades, sino que también, para poder realizar estas labores, necesitan distintos productos y materiales que deben viajar hacia ellas para poder hacerlo. Por lo mismo, un importante aspecto del funcionamiento económico de las ciudades es el transporte de carga. Este proceso no solo es necesario, sino que fundamental para el desarrollo de las zonas urbanas, pero también genera distintas externalidades. A su vez, el movimiento de carga urbana comparte el espacio vial con el transporte de pasajeros. Esto tiende a generar roces entre ambos sistemas, especialmente con respecto a los trayectos realizados durante la hora punta (Rodrigue, 2013). Considerando que actualmente la mitad de la población mundial vive en zonas urbanas, y se espera que para el 2045 esta cantidad aumente 1,5 veces según datos del Banco Mundial (World Bank, 2016), es necesario afrontar la logística urbana de manera eficiente y sostenible.

Dada las características de los procesos del transporte de carga, es que es importante considerar a la logística dentro de los planes de movilidad de las ciudades, sin embargo, esto en general no ocurre. Al contrario, comúnmente las autoridades imponen medidas que regulan estos procesos sin una profunda comprensión de los mismos o con regulaciones inadecuadas para el contexto de la ciudad y sus operaciones (Dablanc, 2007; Muñuzuri, Cortés, Guadix, y Onieva, 2012). Adicionalmente, las ciudades han planificado el transporte de carga de la misma forma que hace 20 años, sin actualizar sus medidas (Dablanc, Giuliano, Holliday y O'Brien, 2013). Considerando los planes de movilidad urbana, la logística no ha sido adecuadamente considerada en ellos (Lindholm y Blinge, 2014; Muñuzuri, Cortés, Grosso, y Guadix, 2012; Rodrigue, 2013), por lo mismo, el desafío pendiente es cómo incorporarla en este tipo de plan de cada ciudad.

Cada camión en cierta área se encuentra allí con por alguna razón, el transporte de carga no se hace por ocio o diversión (Lindholm, 2013). En otras palabras, cada vehículo que se encuentre en la zona ha ido a dejar carga a algún local, a recoger productos o a realizar

algún servicio. En consecuencia, los camiones deben entrar a las zonas céntricas para poder realizar labores de carga y descarga. Los transportistas buscan realizar sus operaciones de la manera más eficiente posible (Lindholm, 2013), por lo tanto, de no necesitar entrar al centro urbano, que usualmente experimenta una alta congestión, no lo harán. Posteriormente, de entrar a la zona céntrica, el siguiente desafío al que se ven enfrentados los vehículos es la disponibilidad y ubicación del espacio de estacionamiento. Los camiones llevan productos requeridos por el comercio o necesarios para diferentes actividades en la zona, y en busca de la eficiencia, los vehículos de carga esperan estacionarse lo más cerca posible de su destino. De no existir una infraestructura adecuada, por ejemplo, una red de bahías exclusivas para carga y descarga, el camión no encontrará estacionamiento o quedará muy lejos de su destino. En el primer caso, el camión tiende a estacionarse ilegalmente, por ejemplo: en segunda fila o en las veredas. Esto podría ser inseguro y generar aún mayor congestión (A. R. Alho y de Abreu e Silva, 2014; Muñuzuri, Cortés, Guadix, et al., 2012), especialmente debido a que los estacionamientos ilegales son una de las principales causas de congestión en las zonas urbanas (Wenneman et al., 2015). En el segundo caso, el vehículo encuentra estacionamiento, pero a una distancia considerable de su destino. Esto podría generar cosas extras de tiempo, manipulación y hasta desgaste físico del trabajador que mueve los bienes, a la vez que aumentan los riesgos en términos de seguridad de la carga como de seguridad social de los trabajadores. Incluso podría ser ilegal, según las regulaciones de trabajo existentes o si el tipo de carga posee restricciones especiales, como sucede con la cadena de frío o los productos de valor. Una opción sería tener infraestructura dedicada para el transporte de carga, evitando así que genere congestión al transporte de pasajeros. Sin embargo, los costos de la infraestructura en los centros urbanos tienden a ser elevados, por lo mismo, este tipo de iniciativa es poco realista en transporte de carga urbano. Por lo tanto, se debe encontrar una manera de compartir la infraestructura existente entre el transporte de carga y el de pasajero, sea público o privado. En consecuencia, una propuesta de bahías de carga y descarga debe absorber de manera eficiente la demanda por estacionamiento existente y también obedecer las características de la zona, para así lograr generar un real cambio en

el comportamiento de los transportistas. Sin una formulación correcta, los camiones mantendrán su conducta, sin mejorar la situación experimentada en el área. Por lo mismo, es válido preguntarse: ¿cómo implementar un plan que permita atender adecuadamente a los camiones en el centro de una ciudad?

En esta investigación se busca comprobar cómo es posible incorporar soluciones de logística urbana, específicamente de localización de bahías, en un proyecto de movilidad para el centro urbano de una ciudad. A partir de un modelo agregado de bahías, es necesario realizar una adaptación para incorporar las características de la zona de estudio como los intereses de distintos actores involucrados en el plan de movilidad. Este proyecto no espera indicar cómo obtener información, ni cómo definir si utilizar o no bahías de carga y descarga; sino que busca mostrar un proceso esquemático que podría replicarse en cualquier centro urbano del mundo.

Específicamente en este trabajo se estudia el caso correspondiente al centro histórico de la comuna de Santiago. Es decir, el área comprendida entre la Alameda por el sur, la Ruta 5 por el poniente, el río Mapocho por el norte y el Cerro Santa Lucía por el oriente, tal como se observa en la Figura 1-1, la comuna de Santiago, en su totalidad, atrae aproximadamente un millón novecientos mil viajes y genera una cantidad similar de viajes. Sin embargo, es el centro histórico donde se concentran la mayor cantidad de actividades en la comuna. Esta zona corresponde a 1,7 kilómetros cuadrados de los 23 aproximados que tiene la comuna, mientras que en términos de patentes comerciales corresponde a 70.000 de los casi 200.000 permisos (Ilustre Municipalidad de Santiago, 2015a), es decir, un poco menos del 7% de la comuna concentra el 39% de las patentes comerciales.

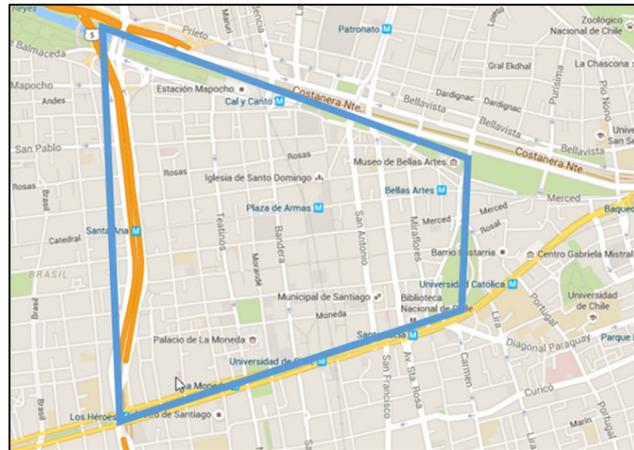


Figura 1-1: Mapa centro histórico de Santiago

Dada la complejidad de la zona y el aumento de las externalidades negativas debido a los distintos modos de transporte, tanto de pasajeros como carga, las autoridades han comenzado a tomar medidas para evitar el colapso de la misma. Lo anterior se realizará a través del Plan Integral de Movilidad (PIM) que incluye la creación de siete vías prioritarias para el transporte público (Compañía – Merced, Santo Domingo, San Martín, Hermanos Amunátegui, Bandera, San Antonio y Mac Iver), la incorporación de la comuna al sistema de bicicletas públicas, nuevas ciclovías en Teatinos y Rosas, y la eliminación del estacionamiento en superficie (Ilustre Municipalidad de Santiago, 2015b), entre otras propuestas. Históricamente, en esta zona y, en el caso del transporte de carga, las medidas se han enfocado en regulaciones restrictivas, tanto en tamaño como en horarios, y dependiendo del tipo de combustible que usan los vehículos. Como parte original del plan, se planteaba restringir aún más a los procesos de carga y descarga, limitándolos al horario nocturno (Ilustre Municipalidad de Santiago, 2015b). Sin embargo, otro actor involucrado en el transporte de carga de Santiago, la División de Desarrollo Logístico (DDL) del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT) se ha comprometido a generar nuevas propuestas para la logística de la zona. Como consecuencia, se solicitó apoyo al *Megacity Logistics Lab* del Massachusetts Institute of Technology (MIT), quienes generaron una propuesta de bahías para carga y descarga a través de un modelo agregado.

No obstante, este modelo es más bien un punto de partida teórico para la solución real, dado que vale preguntarse ¿cómo reaccionará el transporte de carga a estas medidas? Por otro lado, ¿son estas medidas atingentes a la realidad de la logística urbana del centro de Santiago? Y, de no ser así, ¿cómo debe adaptarse esta propuesta a la realidad de la zona de estudio? Finalmente, dado el plan de movilidad de la zona, ¿qué cambios son necesarios para lograr una solución concordante con una visión integral de la ciudad?

El objetivo de la investigación es proponer una metodología para localizar bahías de carga y descarga para mejorar la operación logística de Santiago Centro e incorporarlas en un plan de movilidad. Específicamente se espera: (1) determinar la localización de bahías de carga y descarga de acuerdo al contexto del centro urbano y a la realidad de su Plan de Movilidad; (2) analizar la cobertura geográfica y satisfacción de la demanda cubierta por la propuesta de localización, (3) cuantificar el sistema propuesto bajo un análisis espacial de sistemas de espera utilizando un modelo hipercubo de colas; (4) y lograr generar una solución logística concordante con una visión integral del sistema de estudio.

Para lograr los objetivos mencionados, esta tesis se estructura de la siguiente manera: en primer lugar, se presenta una revisión bibliográfica a distintas políticas de logística urbana sustentable, de visión de las autoridades de estos procesos y de métodos cuantitativos para la localización de bahías. A continuación, en el capítulo tres se presenta la metodología para la determinación de la cantidad y ubicación de las bahías desde el punto de vista teórico en conjunto con su análisis espacial. En el capítulo cuatro, se presenta el caso de estudio para el centro de Santiago, en tres secciones: características de la zona, propuesta de localización de bahías y su adaptación al Plan Integral de Movilidad, y el análisis respectivo a la propuesta realizada. Finalmente, se concluye con los principales aprendizajes y limitaciones del proyecto, en conjunto con sus posibles extensiones.

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA**

En búsqueda de una propuesta de localización de bahías para centros urbanos, y bajo el contexto de incorporarlos a planes de movilidad, es necesario evaluar distintos aspectos en esta investigación. En primer lugar, se define qué entendemos por logística urbana y sus características. En segundo lugar, se explica la clasificación de actores involucrados en procesos logísticos. Un tercer aspecto analizado es la literatura sobre proyectos de logística urbana que cuentan con un trabajo colaborativo entre diferentes actores y la visión de las autoridades de la logística dentro de la planificación urbana. En la cuarta sección, se realiza una revisión a las distintas políticas de logística urbana sustentable enfatizando en las medidas más utilizadas y también en los estudios sobre utilización de bahías de carga y descarga como solución. Al incorporar la propuesta de bahías a un plan movilidad urbano, es necesario entender cómo interactúan los involucrados y los resultados en otras experiencias internacionales. Finalmente, en quinto lugar, se explican distintos métodos cuantitativos ya utilizados o que podrían ser útiles en generaciones de propuestas de bahías de carga y descarga.

### **2.1. Definiciones y características de la logística urbana**

Un primer aspecto para comprender la logística urbana es definir qué se entiende por ella. Existen múltiples definiciones sobre este concepto o similares (L. Dablanc, 2008; Hicks, 1977; OECD, 2003; Ogden, 1992), cada una con sus propias implicancias y limitaciones (Lindholm, 2013). Sin embargo, para este estudio, la logística urbana se refiere a las operaciones de última milla, es decir, aquellas que llevan productos al local donde serán finalmente comprados o consumidos. Otros tipos de transporte de carga urbano, no serán considerados en este análisis. Por otro lado, la distribución de última milla tiende a relacionarse con tres tipos de procesos: despachos a locales comerciales, despacho a oficinas o personas; y operaciones de servicio y mantención. En este análisis, como se menciona anteriormente, será puesto en la entrega a los locales comerciales. Sin embargo, no todos los locales corresponden a rubros relacionados con el transporte de carga. Para esta

diferenciación, se utilizará la clasificación de Holguín-Veras, Ban, Jaller, Destro, y Marquis (2010) donde, a pesar de que todos los locales tienden a requerir o enviar productos para sus operaciones, la mayor generación y atracción la producen los locales relacionados a la industria del transporte de carga. En este grupo se encuentra: agricultura, silvicultura y pesca; industria minera; construcción; manufactura; transporte, comunicación y otras utilidades y servicios públicos; venta al por mayor; comercio minorista o *retail*; comida y servicios alimenticios. A su vez, los rubros no relacionados directamente con el transporte de carga son: finanzas, seguros y bienes raíces; servicios; y la administración pública.

Desde el punto de vista de la ciudad, en búsqueda de una zona urbana más integral y sostenible, las medidas de logística también deben apuntar hacia una sustentabilidad urbana. De tal manera, la logística urbana sustentable considera por un lado la optimización eficiente y equitativa de los procesos y del movimiento de bienes en la ciudad bajo las necesidades económicas, ambientales y sociales, mientras que, por otro, la reducción, en la medida de lo posible, de las externalidades negativas (UK Round Table on Sustainable Development, 1996).

## **2.2. Actores involucrados en la logística urbana**

La logística urbana es compleja debido a la alta cantidad de actores o *stakeholders* involucrados en los procesos de decisión que la definen. Por un lado, se encuentran los operadores privados del sistema: productores y distribuidores, transportistas, locales comerciales y consumidores. Adicionalmente, también los residentes y usuarios de las vías urbanas se ven afectados por estos procesos. Finalmente, el sector público también impacta a los procesos logísticos, sean autoridades locales, regionales o nacionales. La clasificación anterior es utilizada transversalmente por varios autores como Allen, Browne, Woodburn, y Leonardi (2012); Anderson, Allen, y Browne (2005); Holguín-Veras y Jaller (2014); Russo y Comi (2011); Witkowski y Kiba-Janiak (2014); entre otros. Es más, Holguín-Veras y Jaller (2014) explican que una de las principales dificultades de la logística urbana es que ningún

actor posee una visión completa del proceso. Los autores explican que la principal fuente de información deben ser los locales comerciales, pero su visión debe ser complementada con la de otros actores. En general, en los procesos de última milla, los tres principales son los transportistas, locales comerciales y la autoridad. Sin embargo, al agrupar en categorías, se asume cierta homogeneidad en cada grupo, es decir, cada conjunto de actores posee objetivos y características similares, por lo que cada organismo individual toma decisiones o se ve afectado por las decisiones de los demás de manera similar al resto de su grupo. Sin embargo, poco se ha investigado sobre la real homogeneidad, o heterogeneidad, de cada grupo (Muñuzuri, Onieva, Cortés, y Guadix, 2016). En otras palabras, podría existir diferencias sustanciales dentro de un mismo grupo de actores. Un ejemplo de esto es el caso mostrado por Muñuzuri *et al.* (2016): en el cual existen diferencias sustanciales entre los transportistas de distintos subgrupos, ya que responden de manera diferente a nuevas políticas según el rubro al que están asociados. En el caso de los locales comerciales, las diferencias entre rubros pueden ser aún más notorias, como por ejemplo en el análisis de políticas realizado por Domínguez *et al.* (2012). En consecuencia, es posible que este mismo problema ocurra con todas las categorías de actores, y debe ser considerado a la hora de evaluar un proyecto de logística urbana.

Una de las pocas excepciones de esta clasificación es la desarrollada por Ballantyne, Lindholm y Whiteing (2013) donde diferencia a los actores de los *stakeholders*. En el contexto tradicional, un *stakeholder* o actor es un individuo o grupo que afecta o se ve afectado por las decisiones que tome una organización (Freeman, 2004). Sin embargo, los autores diferencian al *stakeholder* como aquel que posee interés en el sistema, de transporte de carga en este caso, y a los actores, a aquellos con directa influencia sobre el mismo. En consecuencia, todo actor es *stakeholder*, pero no viceversa (Ballantyne *et al.*, 2013). Por ejemplo, bajo esta clasificación, los residentes no son considerados actores con influencia directa en el sistema.

Con respecto a las autoridades, en general estas son clasificadas también como un gran conjunto. Poca diferenciación existe, la cual generalmente considera el área de influencia de cada una, en otras palabras, si la autoridad es local, regional o nacional (Abel y Karrer, 2006). Otra excepción es la distribución de Anand, Quak, van Duin, y Tavasszy (2012) que define al sector público como las autoridades de tráfico, infraestructura, puertos, u otras, y las municipalidades. Sin embargo, la más interesante es la utilizada por Ballantyne *et al.* (2013) debido a su nueva clasificación de involucrados en el proceso. Para estos autores, las autoridades son actores debido a que regulan los procesos, creando oportunidades o barreras a las operaciones logísticas. Sin embargo, también incluyen, pero como *stakeholder*, a los operadores del transporte público, por su influencia sobre las autoridades en la toma de decisiones y, por lo tanto, su impacto indirecto sobre los procesos de transporte de carga. Adicionalmente, estos autores explicitan la existencia de diferentes departamentos (ambiental, planificación, tráfico, etc.) dentro de las autoridades locales y subrayan la importancia de la operación entre ellos para lograr una logística urbana sustentable (Ballantyne *et al.*, 2013).

### **2.3. Logística urbana y los proyectos de planificación urbana**

Otro aspecto importante a plantear es qué ocurre con los planes de movilidad urbana de las ciudades. En general, estos procesos son realizados por las autoridades con el fin de lograr una ciudad más sustentable y sostenible. Sin embargo, la logística urbana tiende a solo ser regulada o no ser considerada en este tipo de planes de movilidad (Lindholm y Blinge, 2014; Muñuzuri, Cortés, Grosso, y Guadix, 2012; Rodrigue, 2013). Los sistemas de transporte de carga y pasajeros comparten el espacio vial, por lo que las autoridades deben ser responsables de que los sistemas trabajen armónicamente juntos, sin contrarrestarse (Lindholm y Blinge, 2014). Sin embargo, existe una percepción de que el transporte de carga es un inconveniente o una disrupción al transporte de pasajeros (Ballantyne y Lindholm, 2014), por lo que

debe ser regulado o hasta prohibido (Laetitia Dablanc, 2007) y también de que recibe una menor atención frente al transporte de pasajeros (Lindholm y Blinge, 2014). A pesar que los planes de movilidad urbana sustentable deberían incluir medidas que mejoren la eficiencia de la logística y reduzcan sus externalidades (European Commission, 2013), su inclusión aún es limitada y sesgada frente al transporte de pasajeros (Rodrigue, 2013). En términos de sustentabilidad, el foco de las acciones realizadas por las autoridades está en el transporte de pasajeros (Lindholm, 2013). Vale la pena preguntarse por qué ocurre esto. Los principales factores, según Rodrigue (2013) son:

- Dado que la logística es operada casi en su totalidad por operadores privados, el sector público no entiende la complejidad ni el dinamismo de estos procesos.
- Por lo mismo, el transporte público es controlado y supervisado por las autoridades públicas.
- La logística urbana es parte de un proceso económico que depende de maximizar la disponibilidad de productos para el consumidor, con el fin de que este pueda comprarlos o consumirlos. Por lo mismo, es un proceso con fines de lucro y donde interactúan principalmente actores privados. Por otro lado, el transporte público tiene por objetivo maximizar la accesibilidad, en otras palabras, busca el bienestar social. En consecuencia, los objetivos, planes y mentalidad de cada actor de los procesos son diferentes.
- Existe una desigualdad en la comprensión de la movilidad urbana ya que los flujos de pasajeros son causados principalmente por los procesos locales de desplazamiento. Por otra parte, los flujos de carga son consecuencia de varios procesos de decisiones, que podrían incluso ser de carácter global, dependiendo de su cadena de abastecimiento.
- Adicionalmente, dado el compromiso público con estos temas, en la academia la movilidad y el transporte urbano tienden a seguir las mismas distribuciones. Existe un mayor énfasis en programas de transporte público

que de carga, lo que gatilla una menor preparación de profesionales en estos temas.

Análisis realizados en ciudades europeas concuerda con los factores anteriormente mencionados. Por un lado, el transporte de carga es algo asumido por el público general, por lo que no está en la agenda política de las autoridades (Ballantyne y Lindholm, 2014). Por otro lado, dado que la logística es un proceso económico, se asume que el mismo mercado será quien logre encontrar su propia eficiencia, lo cual no es totalmente cierto debido a que las regulaciones y medidas urbanas afectan estos procesos y podría ser que la optimización del transporte de pasajeros podría afectar negativamente los procesos de carga (Lindholm y Blinge, 2014). Finalmente, dentro de las autoridades urbanas locales existe una falta de conciencia y conocimiento de estos procesos (Lindholm y Blinge, 2014). No obstante, en los últimos años se ha comenzado a reconocer que se debe considerar a la logística dentro de los procesos de planificación (Ballantyne y Lindholm, 2014). La complejidad actual se debe a la falta de conocimiento que existe dentro de los profesionales que apoyan a las distintas autoridades. En general, no existe una persona encargada exclusivamente de los procesos logísticos en sí (Ballantyne y Lindholm, 2014; Lindholm y Blinge, 2014), y quienes ven estos temas, pocas veces tienen una educación en ellos, por ejemplo en Suecia, solo el 10% de los encargados es un profesional del área logística (Lindholm y Blinge, 2014). Las autoridades locales tienden a apoyarse en consultores privados, en autoridades vecinas o en las agencias regionales que manejen estos temas para poder suplir sus deficiencias en temas de carga urbana (Ballantyne y Lindholm, 2014). Un último factor en la falta de la inclusión de la logística corresponde a la falta de información existente sobre estos sistemas, debido a que pocas ciudades tienen estadísticas específicas para estos procesos (Ballantyne y Lindholm, 2014; Lindholm y Blinge, 2014).

Finalmente, es importante ver que en los planes de movilidad urbana, todos los departamentos o agencias públicas que formen parte de su elaboración también son actores con influencia directa sobre el transporte de carga según la clasificación de

Ballantyne *et al.* (2013) presentada en la sección anterior. Es más, la integración entre todos los departamentos es necesaria para lograr un transporte de carga sustentable, esto incluye no solo aquellos a cargo de la logística o del transporte público, sino que también desarrollo y planificación, infraestructura y planificación de transporte, entre otros (Lindholm y Blinge, 2014). Adicionalmente, en este tipo de proyecto, como sucede en general en proyectos públicos, los conflictos entre actores son más comunes debido a que no todos comparten los mismos intereses y metas como sucede en los proyectos privados (De Brucker, MacHaris, y Verbeke, 2013). En consecuencia, sin integración ni colaboración real, sería imposible lograr una ciudad cuya movilidad sea realmente sustentable.

#### **2.4. Políticas de logística urbana**

Distintas medidas y políticas con respecto a la logística urbana sustentable han sido analizadas por diversos autores a nivel mundial (ver entre otros Anderson *et al.*, 2005; Browne, Allen, Nemoto, Patier, y Visser, 2012; Holguín-Veras *et al.*, 2012; Lindholm, 2013; Russo y Comi, 2011). Dado que el efecto y las consecuencias de cada medida dependen considerablemente del contexto económico, social y urbano donde son analizadas, la comparación de las políticas en distintas urbes mundiales es un proceso complejo.

Existen múltiples clasificaciones de las distintas políticas de transporte de carga urbana (Lindholm, 2013; Russo y Comi, 2011). Sin embargo, es posible agrupar estas medidas según cómo buscan lograr un transporte de carga más sustentable. Según la clasificación de Cuevas, Giesen, y Muñoz (2013), las políticas pueden ser clasificadas en tres categorías:

- Políticas basadas en restricciones: las cuales son en general creadas desde los gobiernos e imponen regulaciones y límites a los actores privados del sistema. Sin embargo, los efectos de estas restricciones podrían ser contrarios a los esperados (Anderson *et al.*, 2005).

- Políticas que apuntan a una mayor eficiencia del proceso logístico urbano: en esta clasificación, se considera el gran conjunto de políticas que se enfocan en las variables económicas de los actores privados del sistema, es decir, aquellas que buscan mejorar la eficiencia de los procesos logísticos y disminuir los costos asociados a alguna etapa del proceso. Sin embargo, sus efectos podrían trascender otros aspectos de la sustentabilidad, dado que un proceso más eficiente trae externalidades positivas tanto social como ambientales.
- Políticas basadas en incentivos económicos con el fin disminuir externalidades: esta última categoría busca responder a las externalidades del transporte de carga, buscando disminuirlas sin imponer restricciones a los actores privados del sistema. A pesar de que hablamos de incentivos, esta agrupación incluye más allá de los subsidios o beneficios económicos, sino que también otro tipo de beneficios o hasta sanciones y penalizaciones.

En esta sección se discutirá sobre algunas políticas de cada categoría. De aquellas basadas en restricciones, dado su común uso por las autoridades de las ciudades, se analizarán restricciones a vehículos, restricciones temporales y zonas de bajas emisiones. Por otro lado, de las soluciones enfocadas en la eficiencia económica se analizará sobre: bahías de carga y descarga, por su impacto en los procesos logísticos; centros de consolidación urbana; debido a que es necesario evaluar por qué sí o por qué no podrían funcionar en una ciudad o no; distribución nocturna, para entender cuándo funciona y bajo qué características; y finalmente, de la categoría de incentivos se discutirá sobre aquellos utilizados para potenciar el uso de vehículos limpios, debido a su compatibilidad con otras medidas. Detalle sobre otras políticas, basado en Cuevas *et al.* (2013), se encuentran en el Anexo A: Otras soluciones de logística urbana.

### 2.4.1. Políticas basadas en restricciones

Tal como su nombre lo indica, este conjunto de políticas está caracterizado por utilizar algún tipo de restricción, sean decretos, ordenanzas o leyes, que limita el actuar de los agentes involucrados en el proceso logístico urbano. Es importante considerar que este tipo de medidas proviene generalmente desde organismos gubernamentales que muchas veces no entienden los efectos y objetivos de cada restricción. Según Muñuzuri, Cortés, Guadix y Onieva (2012) no todas las restricciones están realmente justificadas, sino que deben limitarse cuando ocurre alguno de los siguientes problemas:

- i) Altos niveles de contaminación
- ii) Evitar bloqueo de calles estrechas, al limitar el tamaño de los vehículos
- iii) Limitar el peso no para impedir circulación, solo cuando se busque prevenir y no dañar calles, puentes o edificios.

Las razones anteriores no ocurren en todas las ciudades, sin embargo, las restricciones a la carga pueden encontrarse en múltiples ciudades a lo largo de varios países como España, Japón, Reino Unido, Estados Unidos, Francia, Holanda, entre otros ejemplos (ver algunos casos en Anderson *et al.*, 2005; Browne *et al.*, 2012; Dablanc, Giuliano, Holliday, y O'Brien, 2013; Domínguez, Holguín-Veras, Ibeas, y dell'Olio, 2012; Muñuzuri, Cortés, Guadix, *et al.*, 2012; Muñuzuri, Larrañeta, Onieva, y Cortés, 2005; Russo y Comi, 2011). A pesar de su amplio uso, las regulaciones solo tienen un efecto limitado en los procesos de logística urbana, dado que estas operaciones dependen de otros factores, como la demanda, que no son controlados por las autoridades (Laetitia Dablanc *et al.*, 2013). Adicionalmente, estas imposiciones de las autoridades podrían ser realmente una barrera para lograr una transporte de carga realmente efectivo, eficiente y sustentable (Ballantyne y Lindholm, 2014). Por lo mismo, es importante considerarlas solo cuando sean realmente necesarias de aplicar.

En detalle, a continuación, se explican las tres políticas más comunes de esta categoría: restricciones a vehículos, zonas de bajas emisiones y restricciones de tiempo.

a) Restricciones a vehículos

Las ciudades tienden a restringir el peso, tamaño o dimensiones de los distintos vehículos dentro de cierta zona geográfica, como los centros históricos o económicos de la ciudad (Anderson *et al.*, 2005; Browne *et al.*, 2012; Russo y Comi, 2011; Subsecretaría de Transportes, 2009). Sin embargo, esta limitación podría significar en una mayor cantidad de vehículos de menor tamaño en las calles, por lo que aumenta la distancia total de viaje de los camiones y por ende sus externalidades negativas (Anderson *et al.*, 2005).

b) Zonas de bajas emisiones

Tal como su nombre lo indica, en cierta zona geográfica se restringe la cantidad máxima de emisiones, para disminuir los niveles de contaminación (Anderson *et al.*, 2005; Browne *et al.*, 2012; Russo y Comi, 2011). Esto concuerda con los criterios argumentados por Muñuzuri *et al.* (2012).

c) Restricciones de tiempo

Finalmente, un último conjunto de restricciones son las ventanas de tiempo, es decir, se prohíbe el ingreso de camiones o/y las operaciones de carga y descarga durante algún periodo determinado del día. Esto puede ser restringido a toda la ciudad, a alguna zona o en ciertas vías específicas (Anderson *et al.*, 2005; Browne *et al.*, 2012; Nourinejad, Wenneman, Habib, y Roorda, 2014; Russo y Comi, 2011). La idea detrás de este tipo de regulación es mover el transporte de carga fuera del horario punta del transporte de pasajeros, es decir, separar los vehículos de carga temporalmente del transporte de personas, en vez de hacerlo espacialmente (Nourinejad *et al.*, 2014). Sin embargo, solo funcionan cuando estas medidas logran realmente transferir un alto porcentaje de los movimientos de carga a los horarios

valles (Domínguez *et al.*, 2012), sin generar una condensación de las actividades en periodos cortos, dado que podría ser aún más perjudicial (Anderson *et al.*, 2005). Sin embargo, el momento en que se realice un proceso de carga y descarga no está determinado por la regulación horaria existente, sino que el momento y lugar de las operaciones logísticas son parte de un proceso de decisión complejo que depende de muchos otros factores (Laetitia Dablanc, 2007). Finalmente, también puede suceder que debido a una restricción horaria, los transportistas deban utilizar más de un vehículo para realizar todas sus entregas en el margen permitido, aunque la distribución completa podría realizarse en un solo camión de no existir una ventana de tiempo en la zona (Ballantyne y Lindholm, 2014).

#### **2.4.2. Bahías de carga y descarga**

Desde el punto de vista de la eficiencia de los procesos logísticos, una medida comúnmente utilizada son las bahías de carga y descarga u alguno otro espacio para estacionar o/y realizar este tipo de operaciones (Alho y de Abreu e Silva, 2014; Browne *et al.*, 2012; Dablanc *et al.*, 2013; Dezi, Dondi, y Sangiorgi, 2010; Muñuzuri, Cortés, Grosso, y Guadix, 2012; Muñuzuri, Cortés, Guadix, *et al.*, 2012; Nourinejad, Wenneman, Habib, y Roorda, 2014; entre otros). Por bahía de carga y descarga se refiere a la existencia de una determinada zona exclusiva para realizar estos procesos, es decir, una zona de estacionamiento dedicada para que los camiones y otros vehículos de carga puedan detenerse, descargar productos y llevarlos al local que los requiere. Adicionalmente, también pueden ser usadas para traspasar los productos a carros para realizar el último segmento del recorrido hacia el local. Un espacio reservado para vehículos de carga mejora la eficiencia de sus operaciones (Nourinejad *et al.*, 2014).

En términos de infraestructura y eficiencia, esta solución tiende a ser una buena medida en comparación a otras existentes, como los centros de consolidación urbana. En general, todos los actores del proceso usan o conocen los espacios de estacionamiento y sus componentes, dado que estos generalmente ya existen en las

zonas urbanas. Por lo mismo, el objetivo es ver cómo acomodar de una manera eficiente a los camiones en estos espacios. En términos prácticos, existe más de una posible configuración de bahías como se observa en la Figura 2-1 o incluso, podría corresponder solo a una zona con demarcación espacial, como muestra la Figura 2-2. Dado lo anterior, esta medida requiere un corto a mediano plazo de implementación y también resulta ser bastante eficiente en términos de costos. Adicionalmente, una ventaja de esta política es que busca manejar la logística urbana, medida, que según Dablanc *et al.* (2013) es más efectiva que las restricciones.

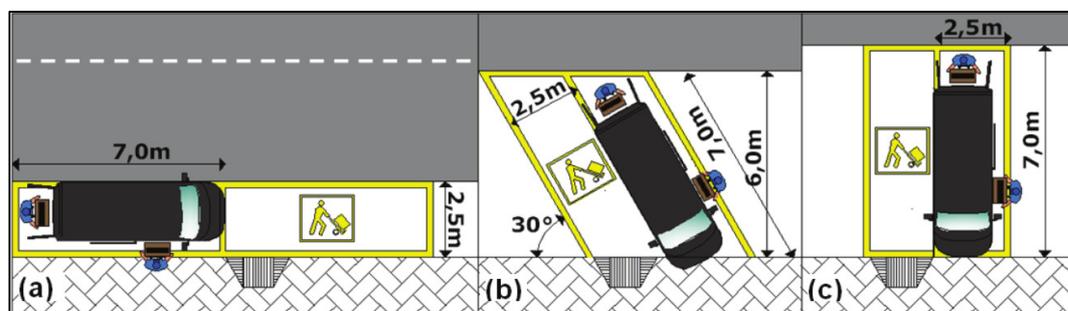


Figura 2-1: Ejemplos de bahías de carga y descarga por Dezi *et al* (2010)

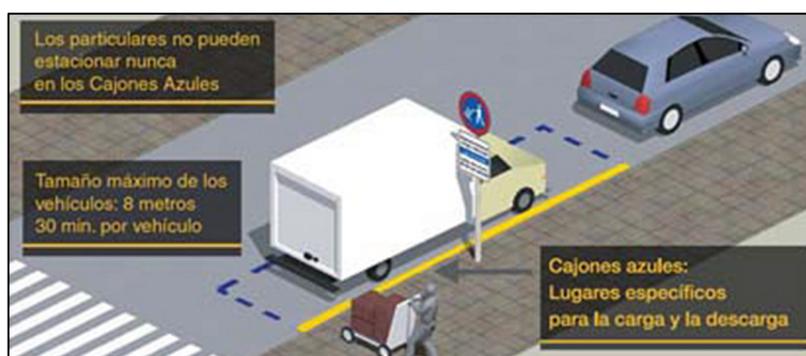


Figura 2-2: Demarcación de zonas de carga y descarga, Plan de Movilidad Sustentable, Buenos Aires Ciudad

La cantidad y localización de bahías depende de algunos factores como: densidad de locales comerciales, restricciones de tiempo existentes, distancia de caminata máxima posible, normas de seguridad, y la fiscalización existente. En general, una

adecuada política de bahías, considerando localización y tamaño, permite organizar y optimizar las operaciones de carga y descarga (Alho et al., 2014). Un detalle de métodos utilizados para definir la ubicación de bahías se encuentra en la sección 2.5.1. Adicionalmente, según Muñuzuri, Cortés, Grosso, y Guadix (2012b) a medida que crece la cantidad de bahías o *minihubs*, como ellos las definen, el costo total del transporte disminuye. Sin embargo, los autores son claros en indicar que este número es más bien una decisión política, según la realidad de la zona, sus requerimientos y las restricciones que cada autoridad local considere, pero que en general, se debe buscar una cantidad que permita cubrir la zona con una distancia de caminata de hasta 200 metros. No obstante, como se explicó anteriormente, de no existir una cantidad adecuada de bahías, los vehículos tienden a estacionar lo más cerca posible de su destino, aunque esto sea en doble fila, o en lugares donde no corresponde, generando congestión y problemas de seguridad (Alho & de Abreu e Silva, 2014; Muñuzuri, Cortés, Guadix, et al., 2012; Wenneman, Habib, & Roorda, 2015).

Un último aspecto a considerar al plantear una política de bahías de carga y descarga es la necesidad de complementar esta medida con un sistema de fiscalización que permita un correcto uso de las mismas. Las bahías, como espacio de estacionamiento, pueden ser utilizadas por vehículos particulares, o también por camiones para realizar actividades distintas a la carga y descarga (Alho et al., 2014; Dezi et al., 2010; Muñuzuri, Cortés, Guadix, et al., 2012), lo cual afecta la disponibilidad real de bahías en la zona urbana. Por lo tanto, es necesario contar con un sistema que permita un uso según su real objetivo, carga y descarga, con una alta rotación de vehículos.

#### **2.4.3. Centros de consolidación urbana**

Otra posible medida comúnmente utilizada, pero que requiere de un largo plazo de implementación, corresponde a los centros de consolidación o distribución urbana (UCC por sus siglas en inglés). Estos centros corresponden a sistemas cooperativos

donde la carga es consolidada, para luego distribuir en vehículos más pequeños, generalmente ecológicos. En general, al centro llegan múltiples transportistas, pero la carga consolidada es llevada desde el UCC a los locales por un único operador. En cambio, en los casos donde un centro opera como un sistema de transferencia de carga de camiones a vehículos limpios sin consolidación en operadores, es decir, cuando cada empresa ejecuta su propio proceso de transferencia y distribución, se hablará de centro de trasbordo.

Existen varios ejemplos de centros en la literatura en países como Francia, Japón, Inglaterra, Estados Unidos, Canadá, entre otros, la mayoría países desarrollados (Browne, Woodburn, y Allen, 2007; Domínguez *et al.*, 2012; Goldman y Gorham, 2006; Leonardi, Browne, Allen, Bohne, y Ruesch, 2014; Lindholm, 2012; Marinov, Zunder, y Islam, 2008; Russo y Comi, 2011; entre otros). Sin embargo, cómo opera un UCC puede variar entre diferentes sistemas: operación privada, con o sin el reconocimiento de las autoridades; sistemas público – privado; o sistemas cooperativos entre locales comerciales (Browne *et al.*, 2012). Un estudio comparativo de más de cien UCC en 17 países, principalmente de la Unión Europea, muestra que estos centros sí pueden ser beneficiosos, logrando operaciones logísticas más eficientes, y a la vez, reduciendo la congestión y otras externalidades negativas (Allen *et al.*, 2012). Sin embargo, estos autores son claros en dos aspectos: en primer lugar, este impacto podría ser limitado para el caso de UCC operando en zonas urbanas, debido que su escala de operación es más pequeña; pero también, la implementación de UCC se ve generalmente complicada por los aspectos financieros del proyecto. Es más, estos sistemas dependen fuertemente de subsidios públicos y del pago de los locales comerciales asociados, cuando son los transportistas quienes experimentan la mayor ganancia (Allen *et al.*, 2012). Dado que este análisis comparativo solo involucra a países desarrollados, en países en vías de desarrollo los problemas financieros pueden acrecentarse, dado el mayor impacto económico y organizacional que poseen. Adicionalmente, Lindholm (2012) muestra que para los transportistas la pérdida de control y de su contacto con el cliente es una

de las razones por no incorporarse a este tipo de proyecto. Por su parte, Domínguez *et al.* (2012) muestran que, en general, la disposición de los locales a utilizar este tipo de centro depende de tres factores: distancia, rubro del local y posibilidad de contar con un espacio propio de almacenamiento en el centro. Los autores muestran que este último aspecto posee mayor impacto en zonas urbanas donde el bien raíz posee un costo elevado, lo cual sucede generalmente en los centros de las ciudades dada la alta densidad de locales y oficinas.

#### **2.4.4. Distribución nocturna**

Realizar los procesos de traslado de productos en el horario nocturno puede ser causado por dos razones: elección o regulación. En el primer caso, la distribución nocturna es más eficiente que realizar estos procesos durante el día, dado que no existe congestión, mientras que, en el segundo, una consecuencia de las regulaciones de tiempo es la prohibición total de operaciones durante el día, forzándolas a la noche. Anderson *et al.* (2005) explican que cuando las restricciones temporales son buenas y generan verdaderamente un cambio de comportamiento en las empresas causando más distribución nocturna, los resultados son beneficios tanto para el comercio como desde el punto de vista ambiental. Sin embargo, (Domínguez *et al.*, 2012) comenta que esto podría simplemente trasladar los problemas a la noche. Adicionalmente, los residentes tienden a oponerse a esta medida y desde el punto de vista de los locales, el rechazo tiende a ser aún peor, debido a que implica cambios en la calidad de vida, ruidos, y menos seguridad en la noche (Domínguez *et al.*, 2012; Muñuzuri, Cortés, Guadix, *et al.*, 2012; Muñuzuri *et al.*, 2005). En el caso de los transportistas, en general, ellos están a favor de este tipo de medida, dado que su mayor eficiencia ayuda a abaratar costos (Holguín-Veras, Wang, y Browne, 2014). Sin embargo, son los locales quienes deben pagar los costos adicionales de este proceso, por lo mismo, existen casos en que se requiere entregar subsidios, dado que sin la participación voluntaria de los comercios, este sistema no funciona (Holguín-Veras *et al.*, 2014).

#### **2.4.5. Incentivo a vehículos limpios**

La última política a analizar corresponde a los incentivos asociados al uso de vehículos limpios. Esta medida es en general usada como complemento a alguna otra, como centros de consolidación o transbordo (Leonardi *et al.*, 2014). Los incentivos pueden corresponder a subsidios; utilización de vías peatonales o exclusivas de transporte público; a mayor flexibilidad frente a las regulaciones u otro permiso especial, por ejemplo, ventanas horarias más extensas; entre otros (Browne *et al.*, 2012; Russo y Comi, 2011). Una complicación es que no existe una definición única de qué se entiende por vehículo ecológico, dado que se combinan factores como las dimensiones, peso, emisiones y tipo de combustible, el cual puede ser eléctrico, a gas, o a tracción humana, como las bicicletas de carga.

### **2.5. Métodos Cuantitativos**

Las bahías de carga y descarga demuestran ser una medida adecuada para solucionar los problemas logísticos que se experimentan en zonas urbanas. Recopilando, entre sus principales ventajas se encuentran: su corto a mediano plazo de implementación; su bajo costo relativo, dado que implica acomodar eficientemente los estacionamientos; su facilidad de comprensión; y su impacto directamente los costos de los procesos. Por lo mismo, antes de generar una propuesta de bahías es importante analizar cómo otros autores han resuelto este problema y los métodos que han sido utilizados para evaluar bahías para carga y descarga.

#### **2.5.1. Métodos utilizados para localización de bahías**

Para localizar bahías se debe analizar dos componentes: qué factores considerar y qué método utilizar. En primer lugar, Alho *et al.* (2014) definen que los métodos de localización de bahías deben considerar tanto ubicación, cantidad, y tamaño de las bahías, como fiscalización para su correcto uso. Con respecto a la metodología a utilizar, se consideran dos posibles enfoques para determinar la localización de las

bahías: por una parte, existen los métodos basados en la optimización, mientras que, por otra, también existen procesos basados en la simulación. En general, cuál utilizar dependerá de qué características de la zona de estudio se buscan capturar con el modelo y también de la disponibilidad de información previa que se pueda obtener. Por un lado, los métodos de optimización buscan cierto objetivo que depende de la cantidad y/o de la ubicación de las bahías determinada, mientras que se encuentran sujetos a múltiples restricciones como costos, distancias de caminata, tiempo, etc. Cada problema en específico puede formularse de alguna manera según los objetivos buscados y para su determinación debe utilizarse un algoritmo de resolución exacta o alguna heurística que entregue una solución aproximada, según las necesidades y características del problema a evaluar. Por ejemplo, para determinar la localización de bahías en la ciudad de Sevilla, España, Muñuzuri, Cortés, Grosso, *et al.* (2012) resuelven un problema de localización correspondiente al *Uncapacitated single allocation p-hub median problem* utilizando un algoritmo genético de resolución. Otro ejemplo corresponde a la optimización desarrollada para Bolonia, Italia, por *Dezi et al.* (2010) donde determinan tamaño, cantidad y ubicación de las bahías. Dada la información recolectada de la ciudad, los autores primero definen el tamaño de la bahía dependiendo de las dimensiones del vehículo más grande en el área y la cantidad como el número necesario para absorber todas las operaciones de carga y descarga en una unidad temporal de análisis. Posteriormente, la localización se determina con la información de los locales (tipo, tamaño y ubicación) como la restricción de caminata máxima entre bahía y local. De no contar con la información previa, los autores proponen aproximar según las características del área y asumir una distancia radial de cada bahía. Si quedan espacios remanentes, se propone elegir entre minimizar el traslape entre bahías o maximizar la cobertura de las mismas (*Dezi et al.*, 2010).

Por otro lado, la simulación busca entender los procesos aleatorios de un sistema. Para el caso de bahías de carga y descarga, se busca entender el comportamiento de los actores del sistema bajo diferentes situaciones, por ejemplo, la disponibilidad o

no de estacionamiento en cierta zona. Por lo mismo, este tipo de modelación tiende a utilizar microsimulación, dado que el uso de las bahías responden al comportamiento individual de los vehículos (Alho et al., 2014). A través de diferentes escenarios de simulación se busca aquel que cumple con el objetivo buscado. En este caso, los autores proponen un esquema de modelación donde desde una estimación de la demanda por estacionamiento se busca encontrar la cantidad y localización de las bahías bajo la simulación del comportamiento de varios actores, tanto del transporte de carga como de pasajeros y otros elementos del sistema como las regulaciones (Alho et al., 2014). Otros métodos de microsimulación de procesos de carga y descarga corresponden a los propuestos por Delaitre (2009) y Nourinejad *et al.* (2014).

### 2.5.2. Métodos de teoría de colas

Para cuantificar se utilizará teoría de colas, según la cual un sistema está compuesto por las siguientes entidades:

- Usuarios: entidades que llegan a un sistema para ser atendidos. En este caso pueden ser personas, vehículos, procesos, etc.
- Servidores: quienes realizan el servicio a los usuarios; por ejemplo, un cajero. En general, un sistema de espera posee una cantidad ( $K$ ) de servidores con capacidad limitada.
- Cola: producto de la limitación de servidores y sus características. Los usuarios podrían llegar al sistema y encontrar a todos los servidores ocupados con otros usuarios. Por lo mismo, la acumulación de usuarios esperando es la cola que se produce en el sistema de espera.

Por otro lado, estos sistemas se describen por las siguientes características:

- Tasa de llegada ( $\lambda$ ): representa la distribución del proceso de llegada de los usuarios, que podría ser aleatoria o determinística.
- Tasa de servicio ( $\mu$ ): representa cantidad promedio de usuarios atendidos por un servidor.

- Cantidad esperada de usuarios en el sistema ( $L$ ): para cada cantidad  $n$  de usuarios en el sistema, existe una probabilidad  $P_n$  de encontrarse en esta situación. Por lo mismo, el numero esperado de usuarios en el sistema corresponde a:

$$L = \sum_0^{\infty} n * P_n \quad ( 2.1 )$$

- Cantidad esperada de usuarios en cola ( $L_q$ ): por otro lado, también existe una cantidad de usuarios esperando ser atendidos.

Una forma de describir un sistema de espera es utilizar la notación de Kendall, que define a cada sistema como A/S/K donde:

- A: parámetro que representa la distribución de tiempos entre llegadas.
- S: parámetro que representa la distribución de tiempos de servicio
- K: parámetro que corresponde al número de servidores del sistema

Los tiempos entre llegadas y de servicio pueden ser determinísticos (D); exponenciales o *markovianos* (M); o generales (G).

Por otro lado, las relaciones básicas existentes entre los elementos del sistema están definidas por el Teorema de Little, donde:

$$L = \lambda * W \quad ( 2.2 )$$

Donde se relaciona la cantidad esperada de usuarios en el sistema, definida en la ecuación 2.1 con la tasa de llegada ( $\lambda$ ) y el tiempo promedio que los usuarios están en el sistema ( $W$ ). Por otro lado, se tiene que  $\rho$  corresponde a la tasa de utilización del sistema:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad ( 2.3 )$$

Mientras que el tiempo esperado por usuario en el sistema se define como la suma del tiempo esperado en la cola y el tiempo promedio de atención en el servidor, es decir:

$$W = W_q + \frac{1}{\mu} \quad ( 2.4 )$$

Ahora bien, utilizando el teorema de Little también es posible obtener la cantidad esperada de personas en la cola del sistema, es decir, aquellas entidades que esperan ser atendidas. Es decir:

$$L_q = \lambda * W_q \quad ( 2.5 )$$

Considerando las dos ecuaciones anteriores, también es posible obtener la relación entre la cantidad de personas esperando en la cola del sistema con respecto a la cantidad total esperada de personas en el mismo, tal como:

$$L_q = L - \frac{\lambda}{\mu} \quad ( 2.6 )$$

El modelo básico de teoría de colas corresponde al M/M/1, es decir, el sistema de un servidor donde tanto los tiempos de llegada como de servicio son *markovianos*. En el caso que exista más de un servidor, por ejemplo  $K$ , corresponde al sistema M/M/K para el cual, adicional a las relaciones de sistemas explicadas anteriormente, específicamente se tiene que (Larson y Odoni, 2007):

$$L = \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\frac{\lambda}{k\mu} * \rho^k}{k! * \left(1 - \frac{\lambda}{k\mu}\right)^2} * P_0 \quad ( 2.7 )$$

Representa la cantidad de camiones en el sistema de espera ( $L$ ), dada una cantidad  $k$  de servidores en la zona y una probabilidad de que el sistema se encuentre vacío ( $P_0$ ). Esta probabilidad está representada por:

$$P_0 = \left( \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(\lambda/\mu)^i}{i!} + \frac{(\lambda/\mu)^k}{k!} * \frac{1}{1 - \lambda/k\mu} \right)^{-1} \quad ( 2.8 )$$

### 2.5.3. Problemas de localización

Los problemas de localización, en general, tienden a resolverse a través de alguno de los siguientes modelos:

a) Problemas de cobertura:

Como explica Snyder (2011) para cierta instalación, hablamos de su cobertura como la demanda alcanzable por un radio, en distancia, costos o tiempo, predefinido. En su reseña, el autor señala que, en general, este tipo de problemas se puede dividir en dos grupos:

- *Set covering location problem (SCLP)*: donde se busca minimizar la cantidad de instalaciones necesarias para poder cubrir a todos los clientes. Este fue formulado como un problema de programación entera y solucionado por Toregas, Swain, ReVelle, y Bergman en 1971.
- *Maximal Covering Location Problem (MCLP)*: Church y ReVelle en 1974 introdujeron este problema según el cual es posible tener una cantidad limitada de instalaciones a abrir, por lo que su objetivo es cubrir la mayor cantidad posible de demanda.

Adicionalmente, Snyder (2011) señala las principales extensiones existentes:

- *Backup coverage*: donde cada cliente está “cubierto” por más de un local. Esto podría ser una exigencia o una recomendación. Ejemplos de este problema fueron propuestos por Daskin, Hogan, y ReVelle (1988); Daskin y Stern (1981); y por Storbeck (1982).
- *Gradual coverage*: ocurre cuando los beneficios de la cobertura cambian con la distancia entre el cliente y el local que lo atiende. Un ejemplo de estos modelos es el *Weighted benefit maximal coverage*, propuesto por Church y

Roberts en 1983, que incluye beneficios no binarios por la cobertura en un problema de máxima cobertura.

- *Expected coverage*: esta extensión corresponde a problemas probabilísticos. La versión más general, corresponde al *Maximum expected covering location problem* (MEXCLP), propuesto por Daskin (1982), en el que se busca maximizar la cobertura esperada dada la información probabilística del uso de las instalaciones y la limitación del número máximo de localidades a abrir. Este problema asume que si un cliente está siendo cubierto por  $k$  instalaciones, las cuales están ocupadas con una probabilidad promedio  $q$  para cada una, entonces la probabilidad de que al menos una de esas instalaciones esté disponible es  $1 - q^k$ , dado que el caso de que todas estén ocupadas en cierto momento tiene probabilidad  $q^k$ . Posteriormente este problema fue generalizado, no considerando una probabilidad uniforme en todo el sistema, a través del *Maximum availability location problem* (MALP) de ReVelle y Hogan (1989).

b) Problemas de mediana:

Por otro lado, existen los problemas de mediana, más conocidos como *p-median problems*, donde, como explican Marianov y Serra (2011), se busca localizar de manera óptima  $p$  instalaciones tal que la suma de la distancia mínima entre cada cliente y el local que lo atiende sea mínima. En este caso, la cantidad de locales a instalar se determina exógenamente; por ejemplo, por decisiones políticas o de presupuesto. Cada problema de este estilo cuenta con dos subproblemas: localización de las instalaciones, y la posterior asignación de clientes a cada una de ellas. En general, estos problemas pueden ser vistos como una maximización de la accesibilidad, desde el punto de vista público, o una minimización de los costos, desde el punto de vista privado. Las primeras formulaciones corresponden a ReVelle y Swain (1970), donde solo es posible ubicar instalaciones en nodos, y de Hakimi (1964), la cual permitía ubicaciones tanto en nodos como arcos.

Por otro lado, podría darse el caso de que la demanda cambiara según la distancia o se perdiera después de cierto límite, es decir, que existiera cierta elasticidad de la demanda, o también que cada instalación tuviera una capacidad limitada de atención. Ambas extensiones fueron introducidas por Holmes, Williams, y Brown (1972). Otras extensiones son: el *Stochastic queue median*, de Berman, Larson, y Chiu (1985) en la que se ubica una sola instalación en la red que opera como un sistema M/G/1; inclusión de restricciones probabilísticas (Marianov y Serra, 1998, 2001); o la modificación del objetivo de la optimización para incluir tanto la elasticidad de la demanda como la congestión en las instalaciones (Marianov, 2003).

#### **2.5.4. Análisis espacial de sistemas de espera**

El modelo hipercubo propuesto por Larson (1973) es el primer modelo que combina teoría de colas con el problema de localización de instalaciones (Boyaci y Geroliminis, 2011). En este modelo se representa un sistema que posee dos características:

- Por un lado, a través del tiempo se requieren servicios distribuidos espacialmente o en una región de la ciudad, lo cual responde a un proceso de Poisson.
- Mientras que, por otro lado, para responder a cada requerimiento se puede despachar a un servidor para que viaje hasta el cliente o que el cliente viaje hasta el servidor donde será atendido. El primero de ellos es un sistema de servidor a cliente, mientras que el segundo corresponde a un sistema de cliente a servidor.

Ejemplos de este sistema son: servicios de emergencia (ambulancias, policías, bomberos), uso de instalaciones, realización de servicios de mantenimiento, entre otros. En general, se habla de modelo hipercubo de colas cuando existen más de dos servidores. Según Larson y Odoni (2007) sus principales supuestos son los siguientes:

- El área de análisis puede dividirse en regiones, las cuales se representan por un único punto o átomo geográfico.
- Los procesos de llegada pueden modelarse como procesos de Poisson independientes para cada región y para el átomo que la representa.
- Los tiempos de viajes entre cada par de átomos son conocidos o estimables.
- La cantidad  $N$  de servidores existentes están distribuidos espacialmente, cuya localización es conocida.
- La asignación para cada requerimiento corresponde a un solo servidor, según un sistema preestablecido y fijo de preferencias.
- El promedio de los tiempos de servicio, incluyendo traslado, es conocido. Posibles variaciones de este tiempo se deben solo a variaciones en el tiempo de viaje.

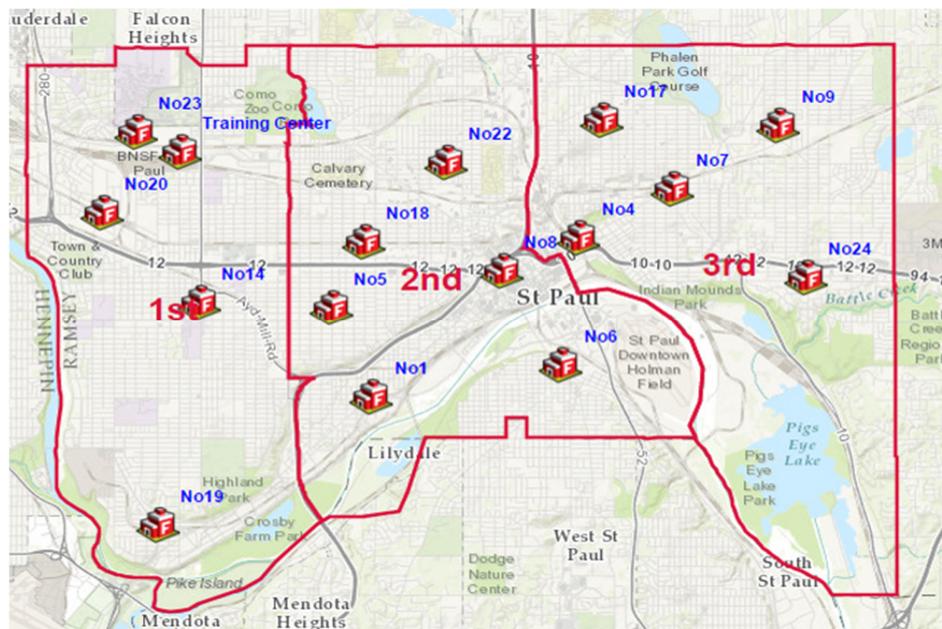


Figura 2-3: Esquema de bomberos y paramédicos de Saint Paul, Minnesota

Sin embargo, los autores son claros en explicar que no existe actualmente un sistema de servicios que cumpla con la totalidad de los supuestos establecidos, dejando a criterio del modelador la decisión de utilizarlo para cierto caso específico o no.

La solución para este modelo entrega distintas medidas de rendimiento según la configuración del sistema. A pesar de que estas medidas son relevantes en el proceso de toma de decisiones con respecto al sistema, el modelo hipercubo, a diferencia de otros modelos, no optimiza en sí el sistema, sino que corresponde a una descripción y evaluación del mismo. No obstante, una evaluación y análisis por escenarios podría usarse para encontrar la mejor configuración (Galvão y Morabito, 2008).

En este modelo, cada servidor se encuentra en uno de dos estados: libre u ocupado. Algunas extensiones dividen esta última categoría en ocupado por requerimiento interno y ocupado por requerimiento entre distritos (Atkinson, Kovalenko, Kuznetsov, y Mykhalevych, 2008). En cualquier de los dos casos, una necesidad por servicio siempre será cubierta por el servidor de su distrito si este se encontrara libre, es decir, los servicios internos poseen prioridad ante la necesidad de tener que viajar a otra zona para atender o ser atendidos (Boyaci y Geroliminis, 2011).

Entre otras extensiones, Galvão y Morabito (2008) presentan las colas de espera con capacidad finita, los nodos geográficos con más de una preferencia por servicio, el despacho o utilización de múltiples servidores para una situación, otra disciplina de la cola, y también limitación parcial del servicio. Este último caso corresponde a aquellos que, por limitación de distancia o tiempo, solo algunos servidores son capaces de atender cierta región, por lo que un servicio en esa zona podría quedar en espera (o perderse de no existir cola), aun cuando existan otros servidores disponibles en la zona (Galvão y Morabito, 2008). Finalmente, una última excepción aplicable a un sistema de bahías es agrupar distintos servidores en compartimientos, generando un modelo hipercubo agregado (Boyaci y Geroliminis, 2011, 2014).

En cualquiera de los casos, un modelo hipercubo posee una gran limitación. Para un conjunto de  $N$  servidores, la resolución exacta del modelo requiere  $2^N$  ecuaciones lineales, dado que por cada nuevo servidor la cantidad de ecuaciones tiende a

duplicarse (Galvão y Morabito, 2008; Larson y Odoni, 2007; Larson, 1975). Por lo mismo, existe una aproximación propuesta por Larson (1975) en la que se busca resolver  $N$  ecuaciones no lineales de manera simultánea, en vez de la cantidad exponencial necesaria para el caso exacto de resolución. Esta aproximación no solo es útil cuando la cantidad de servidores es elevada, sino que también puede ser ventajosa si existen inexactitudes en los datos, lo que no justifica utilizar un modelo extremadamente complejo y preciso, o si existen características y restricciones que no pueden ser cuantificables, como razones políticas o legales, que afectan el diseño (Larson, 1975). Esta aproximación entrega medidas de rendimiento tanto a nivel de servidor como de toda el área de estudio, por lo que permite asegurar un nivel de aceptación mínimo para todos los servidores de la zona. Adicionalmente, una ventaja de esta aproximación es que sus resultados son cercanos a los de la resolución exacta, con variaciones de entre un 1 y 2% de los resultados (Larson y Odoni, 2007).

En esta aproximación, los servidores son considerados homogéneos mientras que la capacidad de la cola es infinita (Galvão y Morabito, 2008; Larson y Odoni, 2007; Larson, 1975). Las principales características de este proceso son (Larson y Odoni, 2007):

- La utilización de servidores posee una lista fija y preestablecida de preferencias, y siempre se utilizará aquel servidor disponible con mayor predilección.
- La tasa de utilización de cada servidor,  $\rho_n$ , corresponde al tiempo que este servidor  $n$  se encuentra ocupado. Por lo mismo, un servidor está libre con una probabilidad  $(1 - \rho_n)$ . Dado lo anterior, existe un factor de corrección necesario al establecer cuando un servidor será utilizado, ya que las preferencias anteriores están ocupadas, es decir, la probabilidad de que otros servidores preferidos estén siendo utilizados por la probabilidad de que este servidor este libre, correspondiente, por ejemplo:  $\rho_a * \rho_b * (1 - \rho_c)$ .

- Este factor de corrección responde a la interdependencia de los servidores y podría ser significativamente distinto de 1.
- Dada las dos características anteriores, es posible escribir  $N$  ecuaciones simultáneas para  $N$  variables desconocidas, que corresponden a la tasa de utilización de cada servidor, para las preferencias de servidores y tasa de llegadas de cada átomo del sistema.
- Las ecuaciones simultáneas se resuelven de manera iterativa, por lo que entregan estimaciones de la utilización de cada servidor.
- Para obtener otras medidas de rendimiento del sistema, se pueden utilizar las variables obtenidas en el proceso anterior para estimar otros indicadores.

Esta aproximación consiste en el siguiente proceso iterativo (Larson, 1975):

- Paso 0: Inicialización

Primero, se formulan los parámetros iniciales del modelo, en los que se determina la tasa de utilización de la región como:

$$\rho = \frac{\lambda}{N} \quad ( 2.9 )$$

Donde la tasa de llegada ( $\lambda$ ) se encuentra en unidades definidas por la tasa de servicio. Es decir, donde la unidad temporal corresponde a  $\mu^{-1}$ .

Para cada iteración ( $i$ ), se define  $\hat{\rho}_n(i)$  como el valor estimado de  $\rho_n$  en la iteración correspondiente. Por último, para poder comenzar con estas iteraciones, se determina, para todos los servidores,  $\hat{\rho}_n(0)$  igual a la tasa de utilización promedio de toda la región ( $\rho$ ).

- Paso 1: Iteración

En este proceso, para cada servidor se estima su tasa de utilización  $\hat{\rho}_n(i)$  con las ecuaciones ( 2.14 ) y ( 2.15 ) que se explican a posteriormente. Para esta estimación se utiliza para cada servidor  $\hat{\rho}_n(i - 1)$  como  $\rho_m$ .

- Paso 2: Normalización

Este paso es necesario para cumplir con los parámetros regionales del sistema, es decir, las tasas de cada servidor son tales que:

$$\rho = \frac{\sum_{n=1}^N \hat{\rho}_n(i)}{N} \quad ( 2.10 )$$

Por lo tanto, primero debo computar un factor de corrección ( $\Gamma$ ):

$$\Gamma = \left[ \frac{1}{N} * \sum_{n=1}^N \frac{\hat{\rho}_n(i)}{\rho} \right]^{-1} \quad ( 2.11 )$$

Para posteriormente actualizar las tasas obtenidas como:

$$\hat{\rho}_n(i) \leftarrow \Gamma \hat{\rho}_n(i) \quad ( 2.12 )$$

- Paso 3: Prueba de convergencia

Probar que las tasas de utilización estimadas se encuentren dentro del criterio  $\varepsilon$  definido, a partir de resolver:

$$\max |\hat{\rho}_n(i) - \hat{\rho}_n(i-1)| > \varepsilon \quad ( 2.13 )$$

De cumplirse esta prueba, el proceso pasa a la iteración  $i + 1$ , y en caso contrario, se para el proceso.

Para el paso 1, correspondiente a la iteración, a tasa de utilización de cada servidor,  $\rho_n$ , se estima por:

$$\rho_n = \frac{R_n^F + \lambda_D}{1 + R_n^F} \quad ( 2.14 )$$

Que depende de la razón de asignación de cada servidor,  $R_n^F$ , cuando este está libre o disponible ( $F$  cooresponde al estado *free*). Esta razón está dada, en detalle, por:

$$\begin{aligned} R_n^F \equiv & \sum_{a \in G_n^1} \lambda_a + \sum_{a \in G_n^2} \lambda_a * Q(N, \rho, 1) * \rho_{m_{a1}} + \sum_{a \in G_n^3} \lambda_a * Q(N, \rho, 2) * \rho_{m_{a1}} * \rho_{m_{a2}} + \dots \\ & + \sum_{a \in G_n^N} \lambda_a * Q(N, \rho, N-1) * \rho_{m_{a1}} * \rho_{m_{a2}} * \dots * \rho_{m_{a(N-1)}} \end{aligned} \quad ( 2.15 )$$

Donde  $G_n^j$  corresponde al conjunto de átomos para los cuales el servidor  $n$  es la preferencia de orden  $j$  y donde cada  $\lambda_a$  indica la tasa de llegada al átomo  $a$  y  $\rho_{m_{aj}}$  la tasa de utilización del servidor con preferencia  $j$  del átomo  $a$ . Adicionalmente, el factor de corrección,  $Q(N, \rho, j)$ , corresponde al caso de asignación de la preferencia de orden  $j + 1$ , que está definida específicamente por:

$$Q(N, \rho, j) = \frac{\sum_{k=j}^{N-1} \left\{ \frac{(N-j-1)!(N-k)}{(k-j)!} \right\} \frac{N^k}{N!} \rho^{k-j}}{(1-\rho) \left[ \sum_{i=0}^{N-1} \frac{N^i}{i!} \rho^i \right] + \frac{N^N}{N!} \rho^N} \quad (2.16)$$

Por otro lado, la tasa de utilización de cada servidor depende también de la tasa promedio de llegada del caso correspondiente a usuarios que ocasionan una espera en el sistema,  $\lambda_D$ , definida por:

$$\lambda_D = \frac{\lambda * P'_Q}{N} \quad (2.17)$$

Que por supuesto, depende de la probabilidad de que una nueva llegada genere una espera antes de entrar al sistema, es decir, la probabilidad de que todos los servidores están siendo utilizados simultáneamente,  $P'_Q$ . Esta corresponde a la unión de la probabilidad de que exista una cola en el sistema ( $P_Q$ ) con la probabilidad de encontrarnos en el estado con  $N$  servidores ocupados ( $P_{B_2^N}$ ), tal como se detalla a continuación:

$$P'_Q = P_Q + P_{B_2^N} \quad (2.18)$$

Por otro lado, el modelo hipercubo permite la atención entre regiones, es decir, despacho entre zonas. Esta situación ocurre cuando un usuario necesita ser atendido, pero el servidor de su zona se encuentra ocupado. Es decir, la probabilidad de realizar despachos entre zona corresponde a la probabilidad de encontrarse ocupado ( $\rho_n$ ) cuando el usuario que ingresa al sistema corresponde a la región de este servidor ( $\lambda_n/\lambda$ ).

$$f_i = \sum_{n=1}^N \rho_n \frac{\lambda_n}{\lambda} \quad ( 2.19 )$$

Esta revisión bibliográfica busca dar un punto de partida para comprender el porqué de una propuesta de localización de bahías y los aspectos teóricos que respaldarán la metodología a utilizar. En las próximas secciones se explicará primero cómo se desarrolla el esquema de propuesta utilizando los métodos aquí presentados: teoría de colas, modelos de localización y modelo hipercubo de colas; y posteriormente, se analizará el caso de estudio para Santiago, donde se evalúan las diferentes políticas existentes en la zona y se genera la propuesta de bahías correspondiente.

### 3. METODOLOGÍA PROPUESTA

La metodología aquí presentada explica cómo generar una propuesta de localización de bahías de carga y descarga para un centro urbano. En la primera sección, se explican los procedimientos analíticos a utilizar en el desarrollo de este proceso de localización de bahías. Y, a continuación, se presenta el desarrollo de la propuesta en dos etapas: primero un modelo agregado, el cual es adaptado posteriormente para generar un modelo integral de localización de bahías de carga y descarga.

#### 3.1. Procedimientos analíticos de los modelos

En primer lugar, se explican tres métodos analíticos utilizados para generar una propuesta de localización de bahías. Se comienza por obtener la cantidad necesaria de bahías utilizando teorías de colas. En segundo lugar, gracias al uso de modelos de localización se obtiene la ubicación de las bahías en el centro histórico. Finalmente, cuando la propuesta de bahías esté terminada e incorporada a un plan de movilidad, se realiza un análisis espacial del sistema a través de un modelo hipercubo de colas, para así evaluar el sistema considerando la dimensión espacial de los procesos.

##### 3.1.1. Cuantificación de bahías

Considerando los conceptos anteriormente explicados, una forma de entender las bahías de carga y descarga es como servidores de un sistema de espera. Los camiones llegan a la zona a una tasa determinada, según hora del día y tipo de establecimiento que visitan, mientras que cada bahía posee una tasa de servicio determinada.

Los sistemas logísticos urbanos de las zonas céntricas de cada ciudad comúnmente responden a un modelo general de sistemas de espera: el G/G/K. Sin embargo, este enfoque busca ser simple, por lo que se decidió utilizar un sistema *markoviano* M/M/K donde las llegadas responden a un proceso de Poisson y las tasas de servicio distribuyen exponenciales. Es decir, se modela un sistema M/M/K determinando la

cantidad de servidores ( $K$ ) – bahías – que minimice la cantidad de vehículos en cola, es decir,  $L_q$ , según algún criterio de selección (Cuevas, Giesen, Winckenbach, Merchán, y Blanco, 2016).

Este proceso se realiza para tres escenarios dados por diferentes tasas de llegada de camiones en la zona (Cuevas *et al.*, 2016), según el periodo del día y su intensidad de procesos. En primer lugar, se tiene el promedio de operaciones por hora durante todo el día, escenario que entrega la cantidad sugerida de bahías en la zona. En segundo lugar, se obtiene un valor mínimo de bahías que corresponde a la tasa promedio entre los periodos de baja demanda, según la realidad de la zona. De igual manera, el tercer escenario corresponde al periodo punta, es decir, a la tasa promedio entre las horas con mayor actividad. Sin embargo, en este último caso, el número de bahías obtenido se divide en dos tipos: las fijas, que corresponden a la cantidad sugerida originalmente por el primer escenario y, por otro lado, el resto de las bahías corresponden a las bahías denominadas como flexibles. En esta propuesta, este último grupo de bahías corresponde a espacios de estacionamiento que, durante el periodo punta, según las características de la ciudad, solo puedan ser utilizadas por camiones, pero durante el resto del día puedan tener otro uso específico o puedan ser estacionamientos de uso libre (Blanco, Ponce, Alho, Lee, y Merchán, 2014).

### **3.1.2. Esquema de la localización de las bahías**

Determinada una cantidad de bahías, es necesario ubicarlas en el área de estudio. En este caso, cualquiera de los modelos tradicionales de localización podría ser considerado, dependiendo de las necesidades específicas del problema a analizar. En general, un modelo de mediana responde a un enfoque asociado a la demanda de establecimientos, donde los transportistas buscan minimizar sus costos mientras que, en términos de planificación, este sistema busca entregar accesibilidad a todos los locales comerciales. Por otro lado, los problemas de cobertura se utilizan en los casos que las restricciones sean impuestas por políticas públicas. En ambos problemas, la localización de bahías se encuentra, generalmente, en los arcos de la

red, dado que estos espacios tienden a ser espacios de estacionamiento en la vía pública. Restricciones adicionales podrían ser incluidas; por ejemplo, la cantidad de viajes que debe realizar un peoneta desde el camión al local para llevar todos los productos demandados por el mismo, podría considerarse a través del peso ponderado del local en comparación con el resto de los establecimientos (Alho et al., 2014), mientras que también podrían existir restricciones a la distancia máxima entre una bahía y los locales que atiende (Cuevas *et al.*, 2016).

En esta propuesta, para cualquiera de los dos tipos de modelos, cobertura o mediana, los datos necesarios corresponden a la cantidad de las bahías de carga y descarga, como al inventario de los locales comerciales con su respectiva ubicación y demanda, para así poder estimar la demanda por cada bahía. Adicionalmente, se deben incluir todas las restricciones externas existentes.

Finalmente, en el caso de las bahías flexibles, necesarias para los periodos de alta demanda, se propone que su ubicación se ajuste en una segunda iteración basada en la densidad de locales comerciales, privilegiando las calles más densas. En este proceso, también se debe tener en consideración las restricciones existentes en la zona.

### **3.1.3. Análisis espacial de los sistemas de bahías**

Un sistema de bahías de carga y descarga puede ser representado como una cola, tal como se explicó previamente, pero a la vez posee un aspecto de localización espacial que debe ser considerado, dado que afecta su funcionamiento y operación. No es lo mismo poseer diez bahías distribuidas uniformemente en una zona que ubicarlas todas en su centro. En términos más específicos, la excepción de limitación parcial del servicio (Galvão y Morabito, 2008) calza con la realidad de los sistemas de bahías de carga y descarga, dado que un camión no utilizará una bahía lejana a su lugar de despacho, sino que tiende a esperar que se desocupe un espacio a cierta distancia razonable del local al que deben entregar productos. Por otro lado, la agrupación de bahías podría realizarse en casos en que ciertos conjuntos de bahías

se encuentren muy cercanos; por ejemplo, en la misma cuadra. Por ello, valdría la pena modelarlos como un sistema en conjunto como un modelo hipercubo agregado (Boyaci y Geroliminis, 2011, 2014). Sin embargo, para analizar una propuesta de la localización de bahías en los centros urbanos es claro que el uso de la aproximación de Larson (1975) corresponde a un sistema más adecuado, dada la cantidad de servidores, la calidad de los datos y las restricciones políticas que puedan verse involucradas en el proyecto. No obstante, este modelo solo representa una descripción de la situación analizada; por lo mismo, debe utilizarse como medida de evaluación para la propuesta desarrollada.

### **3.2. Desarrollo de la propuesta de bahías**

Los métodos analíticos explicados anteriormente serán utilizados para generar una propuesta de localización de bahías para los centros urbanos. En este tipo de proceso de decisión, es importante considerar tanto los beneficios como costos de los procesos. Al buscar optimizar los sistemas de carga y descarga múltiples variables se encuentran involucradas: uso de la infraestructura, los costos asociados tanto al transporte como a la caminata final hasta el local comercial, la regulación existente, entre otros. Debido a su alta complejidad y a las características de los procesos, muchas veces debe recurrirse a otras variables para generar un proceso de optimización del sistema. Por lo mismo, debido al impacto en los costos del transportista y en la congestión de la zona, la cantidad de camiones esperando por estacionarse, como su tiempo en este proceso, demuestran ser variables que permiten modelar el sistema a la vez que se busca optimizar estas operaciones bajo características más realistas o fáciles de estimar.

En consecuencia, para definir cuantas bahías son necesarias se comienza utilizando teoría de colas, para posteriormente utilizar un modelo de localización para desarrollar el modelo agregado de bahías. La propuesta obtenida es trabajada con otras autoridades de la zona que se vean involucradas en el plan de movilidad, a la vez que también se debe incorporar otros aspectos y características del área de

estudio. Gracias a estos procesos es que se obtiene un modelo integral de bahías para el centro urbano evaluado.

### **3.2.1. Modelo agregado de bahías**

Para generar una propuesta de bahías de carga y descarga, primero es necesario desarrollar un análisis agregado que responda a dos preguntas claves: cuántas bahías y dónde ubicarlas. Para generar este punto de partida, el *Megacity Logistics Lab* del MIT (Cuevas *et al.*, 2016) propone un esquema secuencial en dos etapas, compuesto por los modelos analíticos presentados anteriormente. Específicamente se propone (Cuevas *et al.*, 2016):

- En primer lugar, se utiliza teoría de colas para determinar el número de bahías necesarias, a través del proceso explicado en la sección 3.1.1. Para este caso, la propuesta de Cuevas *et al.* (2016) define como criterio de selección a la cantidad de bahías donde el promedio de camiones en espera sea menor a cinco. Posteriormente, el valor obtenido se aproxima al múltiplo más cercano de cinco.
- En segundo lugar, para decidir la ubicación de las bahías se trabaja según lo expuesto en la sección 3.1.2. Es decir, se utilizan problemas de localización con enfoque de mediana o enfoque basado en cobertura, según las necesidades del centro urbano.

El resultado de este esquema entrega un modelo agregado de bahías distribuidas homogéneamente a lo largo del centro urbano de estudio.

### **3.2.2. Modelo integral de bahías**

Tal como se explicó anteriormente el modelo agregado de bahías corresponde a un punto de partida teórico de la propuesta. Por un lado, este modelo corresponde a una propuesta teórica que debe ser mejorada y perfeccionada según otras características del centro urbano de estudio. Por ejemplo, se debe buscar incorporar el comportamiento actual de los vehículos en la zona; las restricciones legales

existentes, tanto a la logística como al transporte en general; y las restricciones físicas de alguna vía o zona del centro, donde sea complejo realizar procesos de carga y descarga.

Adicionalmente, al considerar la localización de las bahías como una propuesta dentro de un plan de movilidad urbana, otros aspectos deben ser considerados. Por un lado, es importante recordar que la logística muchas veces no ha sido incluida en estos procesos, o bien es vista como un inconveniente para el transporte de pasajeros (Ballantyne y Lindholm, 2014; Lindholm y Blinge, 2014). Las autoridades tienden a tener otros objetivos con respecto al transporte y a cómo lograr ciudades más sustentables. Si al trabajo se suma la visión de otros departamentos enfocados en el transporte de pasajeros, es claro que podrían existir conflictos entre los objetivos de la logística y alguna de las contrapartes involucradas en el plan de movilidad urbana. Por lo mismo, un último aspecto a considerar en la adaptación del modelo agregado son las discusiones de los actores involucrados en el plan. Es decir, un modelo integral de bahías posee no solo aspectos de cuantificación y localización del transporte de carga, sino que también incorpora objetivos de acuerdo a una visión integral de la ciudad y asociado a una planificación urbana en conjunto con el transporte de pasajeros.

En términos prácticos, el proceso realizado por el modelo agregado nos entrega cierta cantidad de bahías que poseen una distribución homogénea para la zona de estudio completa. Sin embargo, debido a las nuevas características del modelo integral, se propone utilizar la aproximación del modelo hipercubo, como se explica en la sección 3.1.3, para evaluar el comportamiento del sistema y continuar mejorando la propuesta de ser necesario. Esta evaluación considera cada bloque de la zona de estudio con sus propias características, por lo mismo, cada uno posee una tasa de llegada propia y un sistema de preferencias por bahías específico. Gráficamente, las diferencias entre ambos modelos se observan en la Figura 3-1.

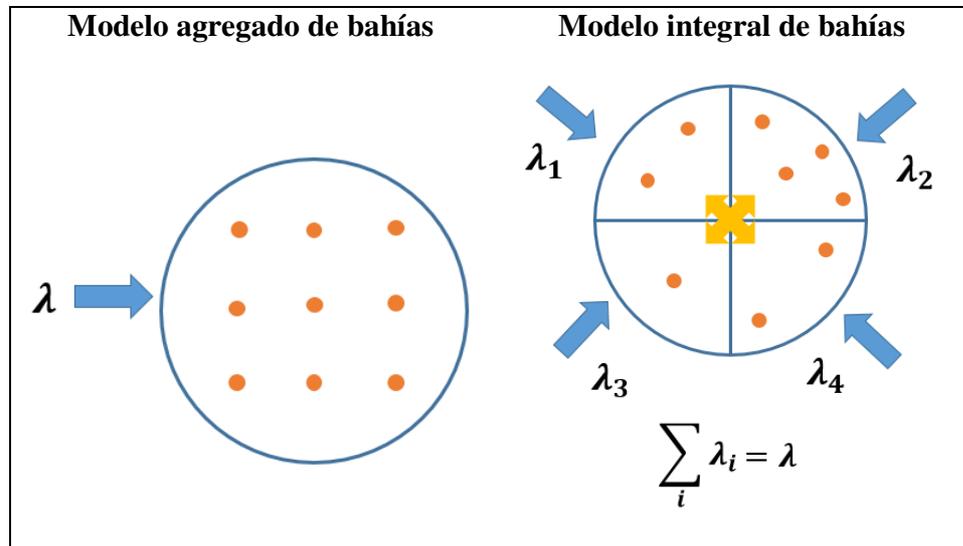


Figura 3-1: Comparación modelos agregado e integral de bahías

#### **4. CASO DE ESTUDIO: CENTRO HISTÓRICO DE SANTIAGO**

A continuación, se explica la investigación y propuesta desarrollada para el caso de estudio: el centro histórico de Santiago. En primer lugar, se explica el proceso de recolección de información para la zona de estudio. En la segunda sección se presentan las características y descripción de la zona, explicando que sucede con la demanda por transporte de carga, las restricciones en la zona y las características de los procesos de distribución. En el siguiente apartado, se explica la propuesta de localización desarrollada, la que comienza con el modelo agregado de bahías, para posteriormente ser trabajada con la mesa técnica del plan de movilidad y finalmente elaborar un modelo integral de bahías. En la última sección se analiza la propuesta bajo tres aspectos: análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo agregado, análisis de cobertura geográfica y demanda del modelo integral y el análisis del sistema de espera utilizando un modelo hipercubo para el modelo integral.

##### **4.1. Recolección de información para la zona del caso de estudio**

Para el caso específico de estudio, se realizaron distintos procesos de recolección de información, tanto de fuentes y procesos anteriores como del levantamiento de información en terreno. Entre las actividades realizadas se encuentran:

- Obtención de la información levantada por la División de Desarrollo Logístico del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones durante el año 2014, que consiste en una encuesta realizada a locales del eje Compañía – Merced y a la obtención de información de generadores de carga, a través de una reunión y una encuesta posterior.
- Recolección y revisión de la información recolectada por el Megacity Logistics Lab del MIT para la zona, para su *Urban Logistics Atlas*, tanto como información de los locales comerciales, como de las entregas y su distribución durante el día.
- Revisión de la regulación actual en la zona de estudio.

- Obtención del maestro de patentes comerciales para el año 2015 de la comuna de Santiago y el posterior análisis de esta base de datos.
- Realización de una encuesta a locales comerciales de la zona durante mayo y junio 2015, con énfasis en locales ubicados en los ejes prioritarios para transporte público del Plan Integral de Movilidad. Esta encuesta se llevó a cabo en conjunto con el alumno de magíster de la Universidad Tecnológica de Dinamarca (DTU), Alexandre Gaillard.
- Levantamiento de información en terreno en las calles del centro histórico de Santiago entre abril y noviembre del 2015: catastro de locales comerciales, análisis de la logística y sus restricciones en la zona, levantamiento de la situación de estacionamientos y parquímetros en los ejes prioritarios de transporte público.

## **4.2. Caracterización y descripción de la zona**

En esta sección se explica en primer lugar las características de la demanda tanto desde locales comerciales como generadores de carga. Posteriormente, se explican las restricciones existentes en la zona que afectan los procesos logísticos, incluyendo qué sucede en realidad con estos procesos y las nuevas restricciones del plan de movilidad original de la zona. Finalmente, se explican distintas características de los procesos de distribución como las entregas en la zona, la cantidad de camiones y el uso de estacionamientos en el área de estudio.

### **4.2.1. Características de la demanda**

Un primer aspecto para describir la zona de estudio está representado por las características de la demanda en la zona, esto es, de la manera como los atractores de carga correspondientes a los locales comerciales están constituidos y cómo piden sus productos; y, a la vez, de la manera cómo los generadores de carga responden a estas solicitudes.

En esta sección, en primer lugar, se explicará la distribución de patentes comerciales en la comuna de Santiago; a continuación, se mostrará la distribución y características de los locales comerciales. En los puntos siguientes, se presentan los resultados de dos procesos de encuestas a locales de la zona. Finalmente, en una última sección se presentan los resultados entregados por generadores de carga sobre sus operaciones en la zona.

a) Patentes comerciales en Santiago

Un primer aspecto a considerar es el número de locales comerciales existentes en el área de estudio y cómo son sus características. La base de patentes comerciales de la comuna de Santiago (Ilustre Municipalidad de Santiago, 2015a) posee casi doscientos mil permisos para quioscos, propaganda, servicios profesionales, patentes de alcoholes y patentes comerciales. Con respecto al área de estudio, se tiene un total de 75.000 patentes sin considerar propaganda, tal como se observa en la Tabla 4-1, de las cuales alrededor del 80% corresponde a patentes comerciales, mientras que un 16% a patentes profesionales y un 1,7% a patentes en la vía pública y de alcoholes, respectivamente.

Tabla 4-1: Patentes municipales de la comuna de Santiago, año 2015

| Tipo Patente                 | Total comuna Santiago | Centro histórico |
|------------------------------|-----------------------|------------------|
| Vía pública (quioscos, etc.) | 9.677                 | 1.276            |
| Profesional                  | 18.972                | 12.067           |
| Alcoholes                    | 4.867                 | 1.281            |
| Comercial                    | 159.942               | 60.417           |
| Total                        | 193.458               | 75.041           |

Tabla 4-2: Detalle patentes comerciales en el centro histórico de Santiago, año 2015

| Rubro   | Patentes | Porcentaje | Relación con carga | Total           |
|---|----------|------------|--------------------|-----------------|
| Administración pública                          | 255      | 0,34%      | No                 | 48.016<br>(64%) |
| Bancos y servicio de valores                    | 547      | 0,73%      | No                 |                 |
| Domicilios postales                             | 216      | 0,29%      | No                 |                 |
| Servicios financieros, seguros, y bienes raíces | 9.854    | 13,13%     | No                 |                 |
| No especificado                                 | 3.469    | 4,62%      | No                 |                 |
| Otros   | 160      | 0,21%      | No                 |                 |
| Servicios                                       | 33.515   | 44,66%     | No                 |                 |
| Abarrotes                                       | 163      | 0,22%      | Sí                 | 27.025<br>(36%) |
| Agricultura, forestal y pesca                   | 637      | 0,85%      | Sí                 |                 |
| Comercio minorista ( <i>retail</i> )            | 10.845   | 14,45%     | Sí                 |                 |
| Comida  | 4.171    | 5,56%      | Sí                 |                 |
| Construcción                                    | 1.141    | 1,52%      | Sí                 |                 |
| Farmacias                                       | 296      | 0,39%      | Sí                 |                 |
| Grandes Tiendas                                 | 116      | 0,15%      | Sí                 |                 |
| Quioscos  | 1.116    | 1,49%      | SÍ                 |                 |
| Manufactura                                     | 1.746    | 2,33%      | Sí                 |                 |
| Minería   | 146      | 0,19%      | Sí                 |                 |
| Supermercado                                    | 62       | 0,08%      | Sí                 |                 |
| Transporte, comunicación y utilidades           | 2.648    | 3,53%      | Sí                 |                 |
| Ventas al por mayor                             | 3.938    | 5,25%      | Sí                 |                 |
| Total   | 75.041   |            |                    |                 |

Sin embargo, no todos los comercios reciben carga de manera frecuente. Es probable que muchas patentes profesionales correspondan a servicios y consultas. Siguiendo la clasificación de Holguín-Veras y Jaller (2014) presentada anteriormente, es posible agrupar las patentes según su rubro y su relación con el transporte de carga. Gracias a esta clasificación, que se aprecia en la Tabla 4-2, es posible observar que alrededor de 27.000 de las patentes de la zona corresponden a rubros relacionados con el movimiento de cargas como el comercio mayorista y minorista o los restaurantes y locales de abarrotes.

b) Locales comerciales en Santiago

El número de patentes comerciales, esto no significa que exista la misma cantidad de locales. Por un lado, tener el permiso no implica necesariamente estar en operaciones, y por otro, también existen casos de un local con múltiples patentes. Por lo mismo, es necesario evaluar cuántos locales comerciales existen en la zona. Sin embargo, el *Megacity Logistics Lab* de MIT ya ha mapeado la zona para construir el *Urban Logistics Atlas 2013*. Específicamente, en este atlas se utiliza un kilómetro cuadrado del centro histórico de Santiago, correspondiente a la zona limitada por calles Rosas y Esmeralda por el norte, Alameda por el sur, calle Hermanos Amunátegui por el poniente y calle Miraflores por el oriente (Blanco, Ponce, Alho, Lee, y Merchán, 2014).

Dentro de esta zona del centro histórico, existen 1.801 locales comerciales, los cuales se distribuyen de la siguiente manera (Merchán, Blanco, y Bateman, 2015):

Tabla 4-3: Distribución locales comerciales del km2 de Santiago, según Merchán *et al.* 2015

| Rubro               | Porcentaje | Locales |
|---------------------|------------|---------|
| Servicios de comida | 21%        | 378     |
| Ropa y moda         | 24%        | 432     |
| Abarrotes           | 7%         | 126     |
| Otros               | 48%        | 864     |

Sin embargo, el Plan Integral de Movilidad de la comuna afectará en mayor medida a los locales en las nuevas vías de transporte público, por lo que se realizó un catastro de la cantidad y rubro de estos locales específicos. Entre estas siete vías existe un total de 1.032 locales comerciales, correspondientes a: 21% abarrotes, 22% locales de alimentación, 32% comercio minorista y un 25% corresponde a otro tipo de comercio como farmacias o ventas al por mayor. En términos totales, la cantidad de establecimientos por eje se aprecia en la Tabla 4-4. Adicionalmente, la distribución específica de locales por rubro en cada calle se puede observar en la Figura 4-1. De esta imagen se desprende que el eje San Antonio podría ser el más complejo dada

la alta cantidad de locales comerciales que posee, pero esta problemática también depende de la cantidad de entregas que se deban realizar a cada comercio. Adicionalmente, un aspecto importante es que los locales al interior de una galería o centro comercial son considerados como uno solo establecimiento, debido a que cada agrupación de este estilo posee reglas internas para la entrega de los productos.

Tabla 4-4: Cantidad de locales comerciales en ejes prioritarios

| Calle               | Locales | Porcentaje |
|---------------------|---------|------------|
| Compañía/Merced     | 167     | 16%        |
| Santo Domingo       | 149     | 14%        |
| Mac Iver            | 132     | 13%        |
| San Antonio         | 225     | 22%        |
| Bandera             | 174     | 17%        |
| Hermanos Amunátegui | 82      | 8%         |
| San Martin          | 103     | 10%        |
| Total               | 1.032   | 100%       |

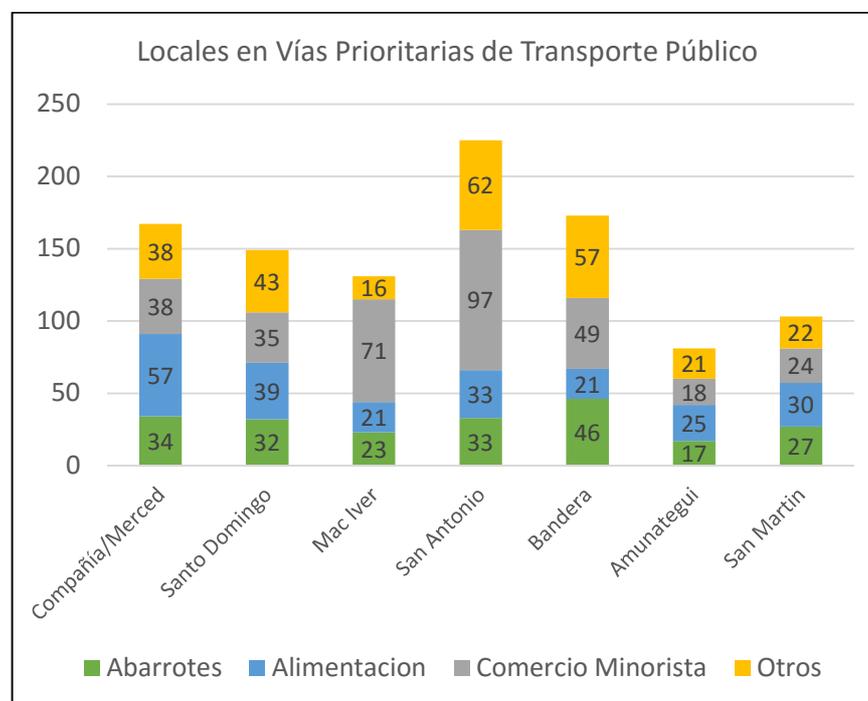


Figura 4-1: Distribución de locales comerciales en los ejes prioritarios

c) Levantamiento eje Compañía – Merced

La División de Desarrollo Logístico realizó un levantamiento en la que se encuestaron 54 locales comerciales ubicados en el eje Compañía – Merced, se especificaba: dirección, tipo de comercio, horario de atención (lunes a viernes, sábados, y domingos y festivos), frecuencia de abastecimiento (por día y horario), modo de llegada de la carga y principal proveedor. Los principales resultados (División de Desarrollo Logístico - Unidad de Transporte por Camión, 2015b) obtenidos fueron:

- La mayoría de los locales opera fuera del horario permitido para carga y descarga. Solo 19 de los establecimientos están abiertos en algún rango del horario permitido, la mayoría pasado las 21:00.
- 48 de los 54 establecimientos, son abastecidos fuera del horario permitido. Como se observa en la Figura 4-2.  
Esto concuerda con los horarios de funcionamiento, dado que en general un local recibirá carga mientras esté operando.
- La mayoría de los locales recibe carga todos los días hábiles (lunes a viernes), con 30 de los 54 locales. Por otro lado, 14 locales reciben entre dos y tres veces por semana, mientras que solo nueve locales reciben una o menos veces por semana.
- Con respecto al modo de transporte de la carga, 37 locales indican que parte del proceso se realiza en un camión u otro vehículo. Por otro lado, 15 establecimientos indican el uso de algún modo autorizado como yegua o triciclo. Sin embargo, es imposible saber si existe un cambio de modo previo en el transporte de la carga y si este cumple con la regulación.

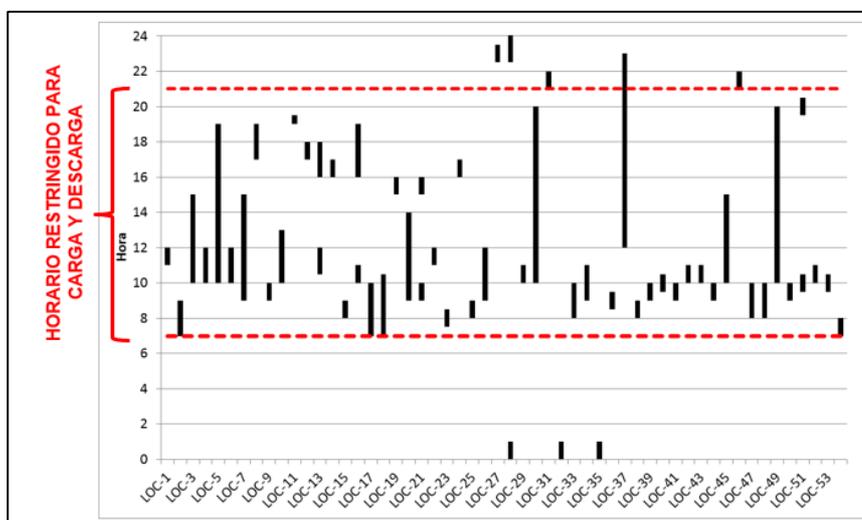


Figura 4-2: Rangos horarios de carga y descarga para el Eje Compañía – Merced, División de Desarrollo Logístico

d) Encuesta a locales comerciales

Durante mayo y junio 2015, como parte de esta investigación, se realizó una encuesta a locales del centro histórico de Santiago, en conjunto con el alumno de magister de la Universidad Tecnológica de Dinamarca (DTU), Alexandre Gaillard. Se realizaron cuatro versiones de la encuesta hasta lograr una cuyas preguntas no generaran dudas o ambigüedades en los locales comerciales. Las preguntas finales se pueden observar en el Anexo B: Preguntas encuesta. Un total de 45 establecimientos respondieron la encuesta, cuyo foco fue locales en los ejes prioritarios de transporte público. En esta sección se expone la primera parte de los resultados de este levantamiento de información, correspondiente a las características de los locales comerciales. Por otro lado, los resultados con respecto a los procesos de distribución se exponen posteriormente en la sección 4.2.3. En consecuencia, con respecto a la realidad de los establecimientos comerciales, los principales resultados fueron:

- La mayoría de los locales corresponde a venta de ropa y otros artículos de vestuario, con un 29%, seguido por restaurantes y otros locales de alimentos

que corresponden a un 22% de los establecimientos. En el caso de abarrotes y farmacias estos representan un 13% y 9%, respectivamente, mientras que el restante 27% fue clasificado en la categoría otro, incluyendo librerías, ópticas, productos de peluquería, entre otros. Esta distribución se observa gráficamente en la Figura 4-3.

- En general, los locales atienden de lunes a sábado, optando por una jornada más corta durante este último día. En interacción con la restricción existente, entre aquellos locales que indicaron hora de funcionamiento, solo el 22,5% ellos están abierto durante el periodo permitido para carga y descarga.
- El 62% de los locales pertenecen a alguna cadena comercial. Esto produce que los locales cuenten en la mayoría de los casos, equivalente a casi el 80% de los establecimientos, con un solo proveedor, correspondiente a la misma empresa desde un centro de distribución. En cambio, en el caso del resto de los locales comerciales la mayoría cuenta con más de 10 proveedores distintos.
- Desde el punto de vista del almacenamiento, el 80% dice poseer algún espacio dedicado a guardar productos.
- En términos de las políticas de inventario, más del 85% de los locales busca reponer el stock de productos con sus entregas. Es decir, los locales reponen las ventas experimentadas con el objetivo de no encontrarse en una situación sin productos. Esto significa, que sin una entrega podrían encontrar con dificultades para funcionar correctamente. Estos locales no generan pedidos bajo otros criterios como aprovechar descuentos por cantidad o minimizar la cantidad de entregas. Adicionalmente, a pesar de que el objetivo es no experimentar un quiebre de inventario, lo que requiere una información clara de los stocks existentes, los sistemas de manejo de inventario distribuyen de manera similar entre aquellos locales que realizan procesos manuales con respecto a los que poseen algún sistema computacional.

- El contacto con proveedores es en general electrónico, pero aún existen locales que utilizan el teléfono o solo se comunican en persona cuando el proveedor visita el local comercial.

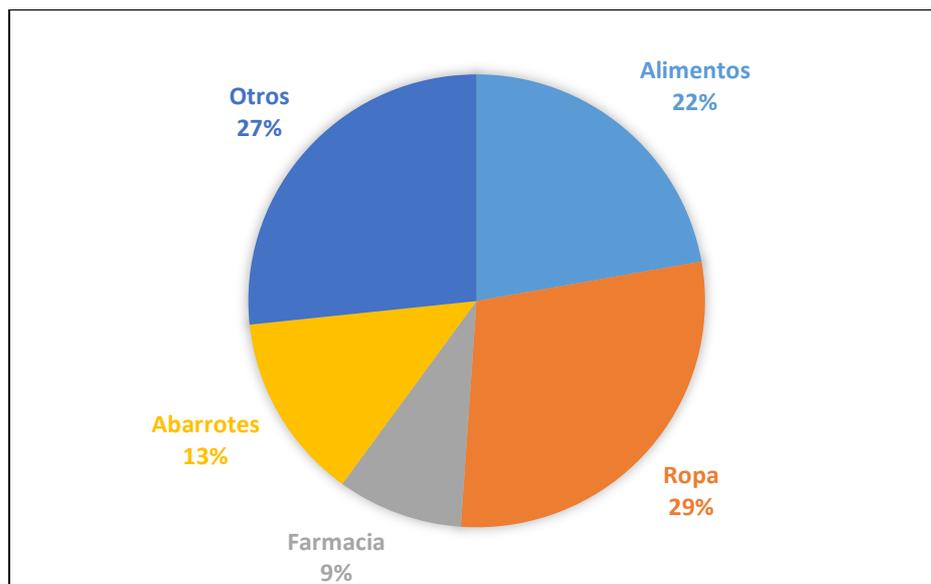


Figura 4-3: Distribución de los rubros de los locales encuestados

e) Generadores de carga

Por otro lado, la División de Desarrollo Logístico concretó, a finales del 2014, una reunión con cinco grandes generadores de carga, a la vez que se les realizó una encuesta que respondieron tres de ellos. A partir de la reunión, las principales conclusiones (División de Desarrollo Logístico - Unidad de Transporte por Camión, 2015b) obtenidas fueron:

- Existencia de la recomendación de la Superintendencia de Seguridad Social que limita a 150 metros la distancia máxima recorrida al distribuir productos. Dada la realidad actual de la zona, es complejo cumplir con esta normativa en conjunto con otras restricciones vigentes.

- El cierre de calles para uso exclusivo del transporte público generará un aumento de vehículos menores (yeguas, carros, entre otros) y peonetas en las veredas.
- No se puede distribuir de noche, ya que los comercios no reciben productos a causa de la alta inseguridad, a la vez que estas transacciones tienden a manejar dinero en efectivo por tratarse de comercio minorista.

A partir de la encuesta (División de Desarrollo Logístico - Unidad de Transporte por Camión, 2015a), cuyos resultados principales se muestran en la Tabla 4-5, es posible observar que en general no se cumple con el horario permitido para carga y descarga. Solo un generador posee un cuarto de su horario de abastecimiento dentro del rango permitido. Adicionalmente, se observa que los locales reciben varias veces por semana, con un promedio de tres veces.

Tabla 4-5: Resultados encuesta generadores de carga, División de Desarrollo Logístico del MTT

| Rubro de generador | Clientes en la Zona | Frecuencia promedio de Abastecimiento | Horario de Abastecimiento |
|--------------------|---------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| Carnes             | 325                 | 6 veces por semana                    | 06:00 – 10:00             |
| Lácteos            | 213                 | 3 veces por semana                    | 07:00 – 12:00             |
| Bebidas            | 1.110               | 2 veces por semana                    | 08:00 – 16:00             |

#### 4.2.2. Características de las restricciones a la logística en la zona

El centro histórico de Santiago se encuentra regulado por dos restricciones a la carga y descarga, adicionales a las restricciones ambientales que se encuentran en toda la ciudad. En esta sección se explican estas regulaciones, para posteriormente analizar qué ocurre en la realidad. Por otro lado, también se analiza por qué no se cumple con la distribución nocturna, a pesar de la regulación existente. Finalmente, en esta sección también se explica el nuevo Plan Integral de Movilidad de la comuna, con sus nuevas características y restricciones a la logística del centro histórico.

a) Ordenanza Municipal N°79/1998

Esta legislación incluye restricciones a los vehículos, en peso y tamaño, y también de emisiones. Su área de influencia está limitada por Av. Santa María por el norte, calle Santa Isabel por el sur, Av. Vicuña Mackenna por el oriente y Av. Manuel Rodríguez por el poniente. Esta zona se observa en la Figura 4-4, incluye al centro histórico de la ciudad.



Figura 4-4: Área de restricción, Ordenanza Municipal N°79/1998 – División de Desarrollo Logístico

Dentro de la zona restringida, solo se permite realizar procesos de carga y descarga en vehículos livianos o medianos de un peso máximo de 2.700 o 3.660 kilogramos respectivamente, o con camiones simples, sin acoplado y de hasta dos ejes, siempre y cuando cumplan la regulación correspondiente del Ministerio de Transportes. Adicionalmente, la ordenanza solo permite el ingreso de los vehículos que cumplan la normativa de emisiones vigente. Por otro lado, la ordenanza entiende por vehículo

de carga y descarga, todo aquel vehículo que ingrese con el motivo de dejar o retirar productos, materiales o servicios. Finalmente, la ordenanza también restringía un horario para las actividades de distribución, con mayor flexibilidad a los vehículos eléctricos y a gas; sin embargo, esta restricción actualmente se encuentra regulada por un decreto municipal del año 2013.

b) Decreto Municipal N° 1476/2013

Como ya se comentó anteriormente, los horarios para los procesos de carga y descarga son regulados por un decreto municipal que regula la misma área definida por la ordenanza municipal vigente. Esta regulación prohíbe realizar estas actividades durante el día, restringiéndolas mayormente al horario entre las 21:00 horas y las 7:00 horas del día siguiente. Sin embargo, existen ciertas vías donde es posible realizar actividades de carga y descarga durante algunas ventanas del día. En esta categoría se encuentran zonas de nueve vías, tres dentro del centro histórico: Diagonal Cervantes, Veintiuno de Mayo y Puente. Por otro lado, este decreto incentiva el uso de vehículos eléctricos y a gas (natural comprimido y licuado de petróleo), otorgándoles permisos adicionales para utilizar durante el día algunas cuadras de las calles: Monjitas, Catedral, Agustinas, Mac Iver, Teatinos, Morandé y Merced, esta última fuera del centro histórico. En la Figura 4-5 se muestran más claramente las vías donde se permiten las actividades de carga y descarga, según el horario establecido por el decreto. Adicionalmente, este decreto prohíbe realizar este tipo de actividades en vehículos no calificados como carga, pero sin establecer cómo define a estos vehículos, dado que solo entrega ejemplos de casos prohibidos como *station wagon* y automóviles.

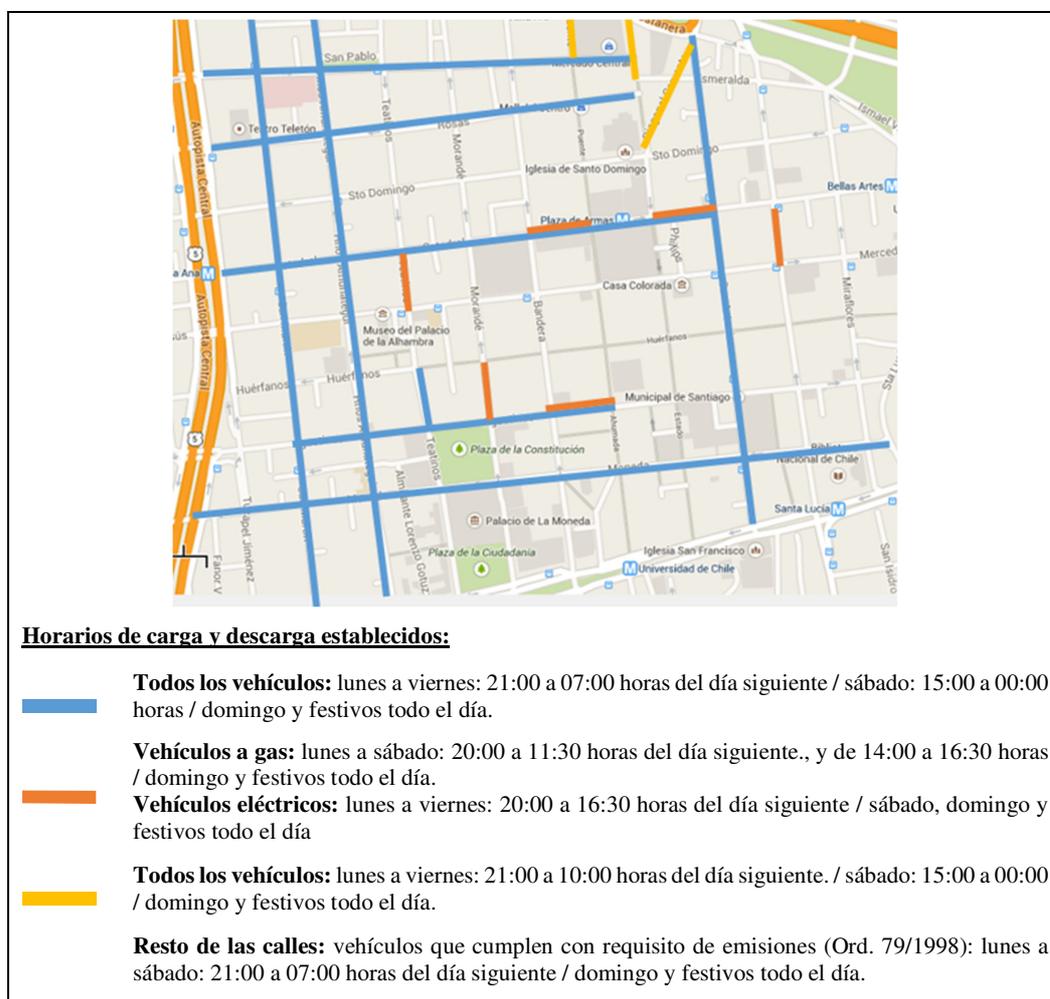


Figura 4-5: Decreto Municipal N°1.476/2013 – División de Desarrollo Logístico

c) La realidad de la regulación en la zona

A pesar de la regulación existente, sus restricciones no son respetadas por todos los camioneros. Considerando los antecedentes de la División de Desarrollo Logístico, solo el 11% de los locales comerciales del eje Compañía – Merced cumplía con los horarios establecidos por el decreto. Lo mismo pasa con otras calles de la zona, durante la punta mañana es común ver camiones estacionados en calles donde no deberían estar pasadas las 7 am, como Moneda, por ejemplo.



Figura 4-6: Camiones realizando carga y descarga en Moneda a las 7:45 am del viernes 12 de agosto, 2016

Este decreto tampoco es respetado por los automovilistas, quienes utilizan los pocos espacios habilitados para carga y descarga como lugar de estacionamiento, como se aprecia en la Figura 4-7. Esto sucede porque no existe fiscalización suficiente.



Figura 4-7: Decreto no respetado por los automovilistas, ni fiscalizado – Ejemplo: calle Monjitas, Santiago Centro

Adicionalmente, existen incoherencias entre el decreto y la señalética de la zona. Por ejemplo, la cuadra de la calle Agustinas entre Morandé y Bandera permite actividades de carga y descarga hasta las 16:30 para vehículos eléctricos y, para vehículos a gas, hasta las 11:30 y entre 14:00 y 16:30. A pesar de ello, en ambos casos se estipula que este horario no incluye el periodo entre 7:00 y 10:00. Sin embargo, la señalética muestra lo contrario, como se observa en la Figura 4-8. Esto es contradictorio también con el objetivo de descongestionar el horario punta. Por supuesto que en el día a día el mayor efecto lo tendrá la señalética establecida. Por lo mismo, permitir carga y descarga durante el periodo punta mañana no incentiva a descongestionar la zona. Los vehículos de carga siempre se concentrarán durante el horario de funcionamiento de los locales, por lo que se debe incentivar que el horario de estas actividades coincida con periodos de baja congestión, para no potenciar las externalidades negativas y gestionar mejor el espacio vial, que es compartido tanto por el transporte de pasajeros como por el de carga.

Un último problema de la regulación actual es la incoherencia que existe entre la ordenanza y el decreto, con respecto a la definición de vehículo de carga. Mientras el primero define que todo vehículo que entre con motivo de operaciones de carga y descarga es regulado por esta restricción, el decreto prohíbe la realización de estas actividades con vehículos no definidos para eso. Sin embargo, en la práctica esto es imposible de fiscalizar, dejando en libertad a otro tipo de vehículos para realizar operaciones de carga durante el periodo restringido.

Por otro lado, según los criterios de Muñuzuri *et al.* (2012) expuestos anteriormente, la ordenanza municipal podría no ser la adecuada por estar regulando en exceso. Dentro del centro histórico, sí existen calles estrechas o zonas de patrimonio que debe ser cuidado y preservado. Sin embargo, no toda el área de control de la ordenanza cumple con estas características. Esto podría ser perjudicial si se considera lo explicado por Anderson *et al.* (2005), según lo cual una restricción de tamaño podría generar mayores externalidades negativas, si involucra utilizar más camiones para suplir la limitación impuesta.



Figura 4-8: Incoherencias entre el decreto y la señalética en el área – Ejemplo: calle Agustinas, Santiago Centro

d) Distribución nocturna en la zona

Dada la restricción actual de Santiago, es lógico preguntarse por qué no funciona la restricción horaria impuesta. En general, grandes locales de grandes cadenas comerciales sí son capaces de cumplir con la normativa actual. El problema son los pequeños locales comerciales, porque su jornada de operación concluye antes que el inicio del periodo habilitado para la distribución. Según la encuesta realizada a los locales, casi el 80% de ellos no está dispuesto o no puede tener un sistema de distribución nocturna.

Adicionalmente, una forma de analizar por qué no ocurre una distribución nocturna es ver el costo que significa incurrir en ella para los establecimientos comerciales. Este análisis está basado en el usado por Cuevas y Giesen (2015). Considerando que son necesarios dos empleados por local para recibir carga durante la noche, un guardia y un peoneta, es posible estimar los costos privados asociados al sueldo de

estos trabajadores. Si se considera un sueldo mínimo de \$250.000 mensuales para un máximo de 45 horas semanales, esto es equivalente a \$1.263 por hora. Por otro lado, un turno nocturno corresponde aproximadamente a cinco horas (de 18:00 a 23:00), y si suponemos que serían los mismos empleados quienes esperan por los productos, estas horas deben ser pagadas con un extra del 50%, ya que serían considerada como horas extras. Y finalmente, también hay que considerar que son 22 días hábiles al mes, debido a que la mayoría de los locales recibe diariamente (ver sección 4.2.3). Con esto, se tiene que por local se necesitan cinco millones al año para poder cubrir los gastos necesarios de la distribución nocturna. Si se considera que el personal utilizado es contratado por hora, es decir, no recibe el beneficio de horas extras, el gasto baja a casi tres millones. No obstante, en general los locales son microempresarios por lo que no tienen este monto para invertir en esta operación. Si consideramos aproximadamente 2.000 locales en la zona, un subsidio municipal equivaldría entre 6.500 y 10.000 millones al año, solo considerando personal extra en los locales.

Sin embargo, este monto a subsidiar debe ser complementado con mejoras en la infraestructura y seguridad del centro histórico para mejorar la percepción de seguridad de la misma, puesto que tal como los generadores de carga establecieron a la División de Desarrollo Logístico, esta zona posee grandes problemas de seguridad y confianza tanto por locatarios como transportistas. En consecuencia, es posible concluir que en el corto plazo una medida de distribución nocturna es poco atractiva en el centro histórico de Santiago.

e) Plan Integral de Movilidad de la comuna de Santiago

Finalmente, el año 2014 la Ilustre Municipalidad de Santiago lanzó el Plan Integral de Movilidad de la comuna. Este proyecto busca mejorar el transporte en la comuna a través de siete planes: Plan Peatón Primero, Plan Centro, Plan de Accesibilidad, Plan Pro Bicicletas, Plan Zonas Calmas, Platabandas Participativas y Plan Estacionamientos Subterráneos (Ilustre Municipalidad de Santiago, 2015b). Este

plan busca priorizar al peatón y ciclista, y posteriormente al transporte público. Tal como se observa en la Figura 4-9.

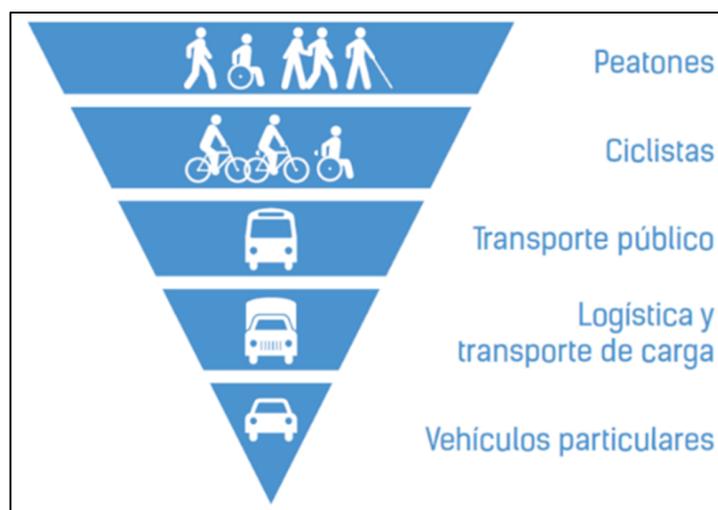


Figura 4-9: Prioridades Plan Integral de Movilidad – Ilustre Municipalidad de Santiago

Con respecto al centro histórico y su logística, el plan centro y el plan estacionamientos subterráneos son los que afectan de manera directa. Por un lado, el plan centro engloba al conjunto de proyectos que buscan descongestionar el centro histórico y mejorarlo en pos de los peatones, ciclistas y transporte público. Por lo mismo, dentro de la versión original de este plan se encuentran las siguientes propuestas (Ilustre Municipalidad de Santiago, 2015b):

- Creación de siete vías prioritarias para el transporte público, las cuales incluyen un ensanchamiento de las veredas peatonales y una disminución del tamaño actual de la calzada. Los ejes comprometidos son Compañía – Merced, Santo Domingo, San Martín, Hermanos Amunátegui, Bandera, San Antonio y Mac Iver. Estas nuevas vías exclusivas operaran de 7:00 a 21:00, impidiendo la circulación de otros vehículos, exceptuando residencias, vehículos de emergencia, taxis y colectivos.

- La creación de dos nuevas ciclovías en las calles Teatinos (sentido norte – sur) y Rosas (sentido oriente – poniente).
- Realización de la carga y descarga de 21:00 horas a 7:00 horas del día siguiente, es decir, fuera del horario con prioridad para el transporte público.

Estas propuestas se pueden observar en la Figura 4-10. Por su parte, el plan de estacionamientos subterráneos incluye, en su concepción original, la eliminación de todo estacionamiento en superficie que sea gratuito, pagado, autorizado o reservado.



Figura 4-10: Plan centro del Plan Integral de Movilidad – Ilustre Municipalidad de Santiago

#### 4.2.3. Características de los procesos de distribución

Un último aspecto a considerar dentro de la logística urbana de la zona de estudio es cómo son los procesos de distribución en la zona. Por un lado, vale la pena preguntarse qué sucede en cada local, cómo reciben productos y qué cambios podrían incorporar para mejorar los procesos. En segundo lugar, es importante analizar cómo son las entregas en la zona de estudio. Posteriormente, se considera

la distribución de vehículos de carga en la zona y sus impactos. Y para finalizar, se comenta sobre el uso de estacionamientos en la zona.

a) Resultados encuesta a locales sobre procesos de distribución

La encuesta desarrollada a los locales del centro histórico también involucra aspectos sobre los procesos de distribución y la llegada de los productos a los locales. Los principales resultados obtenidos fueron los siguientes:

- En promedio, los locales dicen recibir 5,6 entregas semanales; sin embargo, solo el 46% de los locales dice tener 5 o más entregas a la semana. Es decir, según estas respuestas, pocos locales concentrarían muchas entregas. Analizando por rubro, son los locales de alimentos y abarrotes aquellos con altos promedios, obteniendo 8,95 y 11,8 entregas por semana respectivamente. En conclusión, los locales que basan su operación en productos perecibles son aquellos con mayor número de entregas a la semana. Un detalle de la distribución se puede observar en la Figura 4-11.
- En términos del transporte de productos, en la mayoría de los casos es el proveedor quien está a cargo de esta operación, con un 48,9% de las respuestas. Sin embargo, casi un tercio de los locales es atendido por un vehículo de la empresa.
- En general, un 82% de los locales indica que el transporte de productos es a través de un camión. No obstante, también existen casos que reciben en camioneta y auto, con un 13% y 4% respectivamente, modos que no deberían ser usados para la carga y descarga dada la normativa del decreto municipal.
- Con respecto a la llegada de los productos, el 73% de los casos responde ser una parada dentro de los varios locales de la ruta de su proveedor.
- En relación al horario de llegada de los productos, un tercio no especifica momento claramente, solo indica que es durante el día, mientras que un 10% recibe durante la noche. De los locales que sí especifican algún periodo del día, un 80% indica que sucede durante la mañana.

- Adicionalmente, existen otros problemas recurrentes entre locales, relacionados con la llegada de productos, como problemas de stock del proveedor que causan faltas de stock a los locales; manipulación de productos que producen quiebres y otros deterioros de la calidad de los mismos; poco espacio para hacer carga y descarga con calma, tema importante debido a que esto perjudica el manejo de mercancía; también se nombra la cantidad de marchas y protestas en la zona, lo que genera congestión o hasta impide que los transportistas puedan llevar productos a los locales.

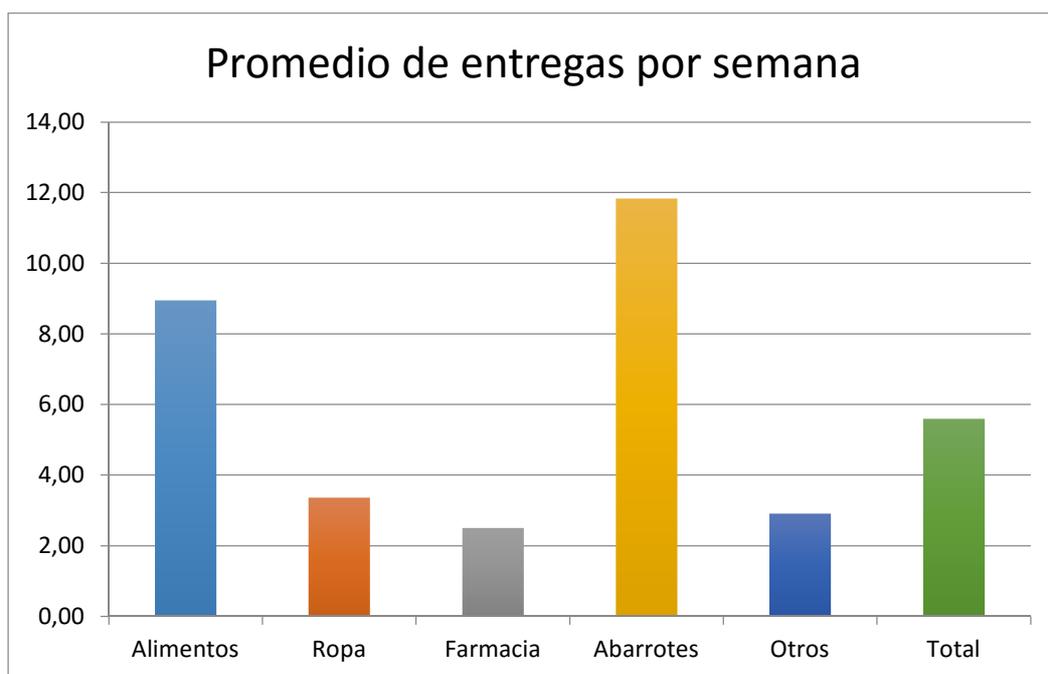


Figura 4-11: Comparación de promedio de entregas semanales por rubro

Adicionalmente, a los locales se les preguntó sobre distintas situaciones de *trade – off* con respecto a sus sistemas de entrega de productos y mejoras en sustentabilidad de las mismas. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 4-6: Resultados preguntas sustentabilidad, encuesta a locales

| <b>Tomando en cuenta que los camiones generan un impacto negativo en la sociedad (congestión, contaminación, ruido, etc.), estaría dispuesto a:</b>                    | <b>Sí</b> | <b>No</b> | <b>NS / NR</b> |
|--|-----------|-----------|----------------|
| ¿aumentar el tamaño de sus pedidos y recibir entregas menos veces a la semana y así contaminar menos, pero necesitando más espacio en su local para guardar productos? | 37,8%     | 35,6%     | 26,7%          |
| ¿exigir que los camiones que traen sus productos cumplan con un estándar de emisiones, aunque esto implique un aumento de sus costos?                                  | 33,3%     | 31,1%     | 35,6%          |
| ¿coordinarse con vecinos para pedir productos el mismo día y así el proveedor puede realizar menos viajes, aunque los productos no le lleguen a la hora habitual?      | 15,6%     | 57,8%     | 26,7%          |
| ¿almacenar sus productos en un centro municipal?   | 8,9%      | 84,4%     | 2,2%           |

Como se puede apreciar, la consolidación de productos y exigencias ambientales tienen similares niveles de respuestas entre las opiniones positivas y negativas. Sin embargo, en el caso de la coordinación entre vecinos o en lo referente al almacenamiento de productos en un centro municipal, la negativa aumenta considerablemente a un 58% y 84%, respectivamente. Una causa probable de estos resultados podría ser la alta desconfianza existente en la zona de estudio.

b) Entregas en la zona

Por otro lado, a partir de la distribución de locales comerciales de Merchán *et al.* (2015), expuesta anteriormente, estos autores estiman la cantidad de entregas que se realizan en el kilómetro cuadrado de estudio, a partir de un análisis de clasificación múltiple, basado en Alho, Lee, de Abreu e Silva, Blanco, y Zegras (2015). Esta estimación obtiene como parámetros los promedios y desviaciones estándar según rubro comercial, por ejemplo: cada local de servicio de alimentos recibe diez entregas diarias, mientras que los locales de ropa poseen una media de 2,5 entregas por día. Un detalle más específico de los resultados obtenidos por Merchán *et al.* (2015) se observa en la Tabla 4-7. Una comparación entre los resultados de la encuesta expuestos en la sección anterior con respecto a los calculados por Merchán

*et al.* (2015) se muestra en la Tabla 4-8, y de ella podemos observar que existen diferencias en todas las categorías. No obstante, en algunos casos se sobreestima mientras que en otros la cantidad promedio es menor. Debido a que la encuesta posee información de una cantidad mucho menor de locales comerciales que la considerada por el Megacity Logistics Lab, es que se utiliza sus estimaciones como criterio en las próximas secciones.

Tabla 4-7: Estimación cantidad de entregas diarias por tipo de local, según Merchán *et al.* 2015

| Categoría           | Estimación de entregas diarias por local |                     |                                    |                                    |
|---------------------|--|---------------------|------------------------------------|------------------------------------|
|                     | Promedio                                 | Desviación Estándar | Promedio – 0,5*Desviación Estándar | Promedio + 0,5*Desviación Estándar |
| Servicios de comida | 10,1                                     | 1,7                 | 6,6                                | 13,6                               |
| Ropa y moda         | 2,5                                      | 0,5                 | 1,4                                | 3,6                                |
| Abarrotes           | 9,3                                      | 1,7                 | 5,9                                | 12,7                               |
| Otros               | 5,7                                      | 1,4                 | 3,0                                | 8,4                                |

Tabla 4-8: Comparación entre promedios de entregas diarias

| Categoría           | Promedio Merchán <i>et al.</i> 2015 | Promedio Encuesta | Diferencia |
|---------------------|-------------------------------------|-------------------|------------|
| Servicios de comida | 10,10                               | 8,95              | 1,15       |
| Ropa y moda         | 2,50                                | 3,37              | -0,87      |
| Abarrotes           | 9,30                                | 11,83             | -2,53      |
| Otros               | 5,70                                | 2,80              | 2,90       |

Con los valores estimados, Merchán *et al.* (2015) concluyen que existen casi 4.000 entregas diarias, como se observa detalladamente en la Tabla 4-9. Al extrapolar esta cantidad de 4.000 entregas por kilómetro cuadrado para los 1,7 kilómetros cuadrados que forman el centro histórico de Santiago, se tienen aproximadamente 6.500 entregas en la zona de estudio.

Adicionalmente, el equipo del *Megacity Logistics Lab* del MIT han estimado una probabilidad hipotética de entrega por rubro y hora del día, a partir de la información detallada de otras ciudades como Lisboa y Singapur (Blanco *et al.*, 2014; Merchán, 2014). Esta distribución se observa gráficamente en la Figura 4-12. A partir de estas probabilidades y la estimación de la cantidad de entregas por local, es posible evaluar escenarios de entregas diarias; uno de ellos se muestra en la Figura 4-13.

Tabla 4-9: Cantidad de entregas diarias para el kilómetro cuadrado central de Santiago, según Merchán *et al.* 2015

| Rubro               | Entregas diarias |
|---------------------|------------------|
| Servicios de comida | 948              |
| Ropa y moda         | 267              |
| Abarrotes           | 834              |
| Otros               | 1.887            |
| Total               | 3.936            |

En base a estos escenarios, los autores (2015) determinan la tasa de entregas por hora para tres tipos de horarios: punta (de 9 am al mediodía), fuera de punta (de 2 pm a 5 pm) y el promedio para todo el día (entre 7 am y 6 pm). Los valores obtenidos para las tasas por periodo para cada una de las tres estimaciones realizadas se observan en la Tabla 4-10.

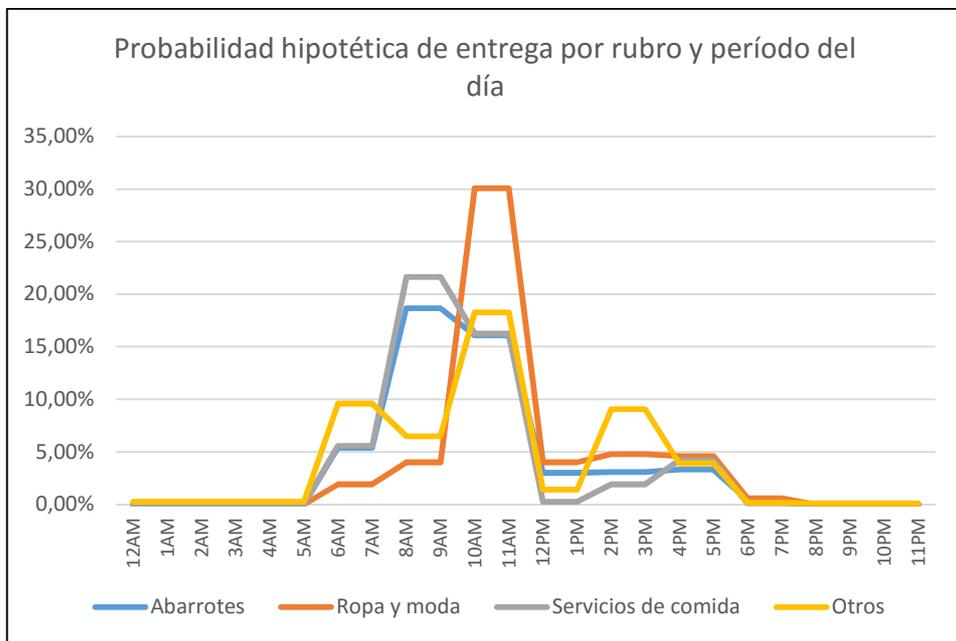


Figura 4-12: Estimación de distribución de entregas por rubro y período del día de Merchán (2014)

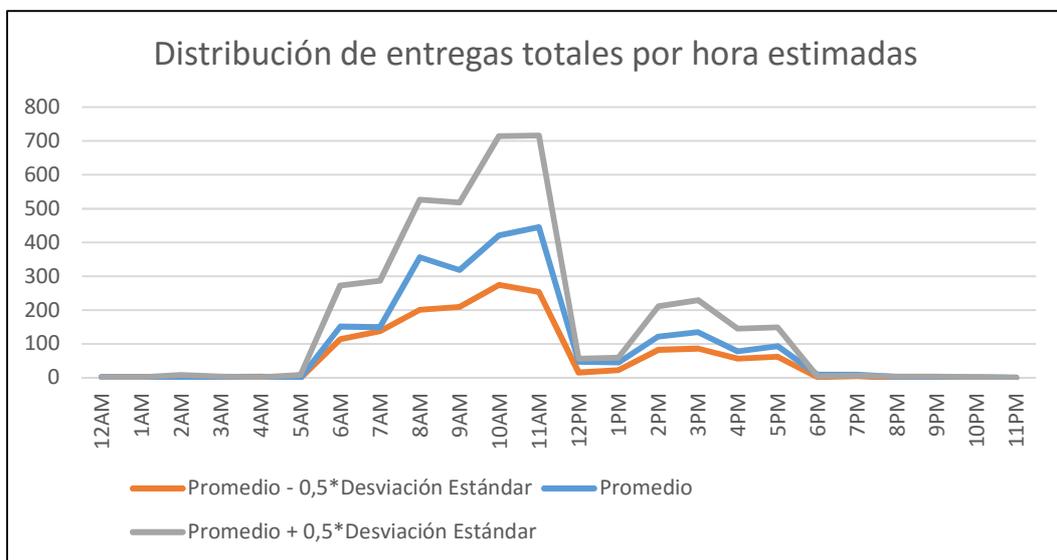


Figura 4-13: Ejemplo de escenarios estimados de distribución de entregas totales por hora, según Merchán (2014)

Tabla 4-10: Tasas de entregas por hora por período del día para distintas estimaciones de entrega, según Merchán (2014)

| <b>Estimación</b>                        | <b>Periodo del día</b>       | <b>Entregas por hora</b> |
|--|------------------------------|--------------------------|
| Promedio                                 | Punta (9am - 12pm)           | 395                      |
|  | Fuera de punta (2 pm - 5 pm) | 110                      |
|  | Todo el día (7 am - 6 pm)    | 200                      |
| Promedio -<br>0,5*Desviación<br>Estándar | Punta (9am - 12pm)           | 250                      |
|  | Fuera de punta (2 pm - 5 pm) | 75                       |
|  | Todo el día (7 am - 6 pm)    | 130                      |
| Promedio +<br>0,5*Desviación<br>Estándar | Punta (9am - 12pm)           | 650                      |
|  | Fuera de punta (2 pm - 5 pm) | 195                      |
|  | Todo el día (7 am - 6 pm)    | 330                      |

c) Camiones en la zona

Otro aspecto a considerar es la cantidad de camiones que circulan en el centro histórico. Por un lado, el Instituto Nacional de Estadísticas, INE, posee información sobre la cantidad de vehículos en el país y región. Para el año 2014, la Región Metropolitana contaba con 46.593 camiones simples, de un total de 147.001 en el país, es decir, el 31,7% de este tipo de vehículos se encuentra en la región (Instituto Nacional de Estadísticas – INE, 2015). Adicionalmente, estos camiones corresponden al 1,04% de los 4.468.450 vehículos motorizados existentes en la región (INE, 2015).

Por otro lado, en el caso específico del centro histórico es posible analizar el flujo de vehículos a partir del análisis de aforos realizado por DICTUC S.A. para SECTRA el año 2013. Este estudio, indica que los camiones que ingresan a la zona corresponden a aproximadamente un 2,97% del total de los vehículos (Área Soluciones de Movilidad de DICTUC S.A. – Ingeniería, 2013). Sin embargo, es importante considerar que los camiones poseen un alto impacto; por ejemplo, la 2015 *Urban Mobility Scorecard* muestra que de los US\$160 millones que cuesta la congestión, US\$ 28 millones son causados por los camiones, que siendo un 7% del flujo producen más del doble de impacto (Schrank, Eisele, Lomax, y Bak, 2015).

## d) Uso de estacionamientos concesionados

Finalmente, un último aspecto importante de la distribución actual en el área de estudio es el uso de estacionamientos concesionados para realizar estos procesos. Es decir, los camiones no solo usan las zonas establecidas o estacionan ilegalmente, sino que muchas veces prefieren pagar un estacionamiento concesionado, sea por cercanía al local a entregar o para evitar otros costos, debido a posibles multas. Adicionalmente, muchos de estos parquímetros se encuentran en cuadras de los futuros ejes prioritarios del transporte público. Por ejemplo, según información de su página web, la empresa ECM posee más de 250 estacionamientos concesionados en la zona, incluyendo algunas zonas en ejes prioritarios (<http://www.esantiago.cl/>). Por otro lado, durante el levantamiento de información se observó la cantidad de estacionamientos disponibles en algunas de estas vías, los cuales se muestran en la Tabla 4-11, los cuales considera cualquier tipo de estacionamiento público, sea gratuito o pagado. Sin embargo, como parte del Plan Integral de Movilidad de la comuna, los estacionamientos en superficie serán eliminados. Es decir, esta infraestructura vial quedará disponible para otro uso, que podría incluir las bahías de carga y descarga. Finalmente, ejemplos del uso de estos estacionamientos concesionados se observan en la Figura 4-14 y la Figura 4-15.

Tabla 4-11: Cantidad observada de estacionamientos disponibles para el público en algunos ejes prioritarios

| <b>Calles</b>       | <b>Cantidad observada de estacionamientos</b> |
|---------------------|---|
| San Martín          | 59  |
| Hermanos Amunátegui | 47  |
| Bandera             | 96  |



Figura 4-14: Camión realizando descarga en Hermanos Amunátegui, Santiago

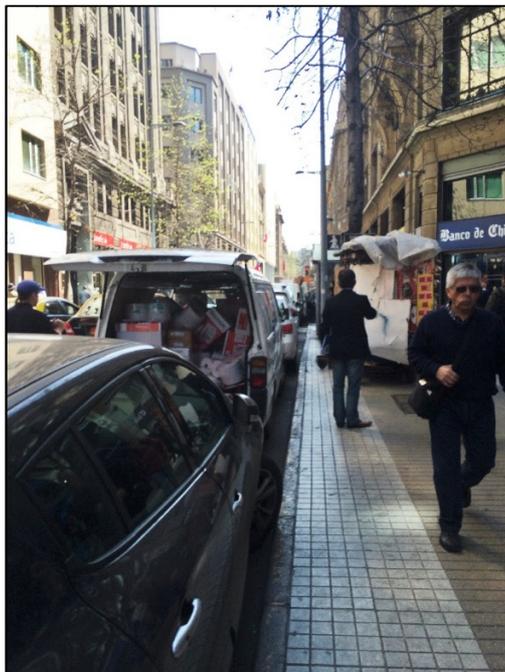


Figura 4-15: Furgoneta realizando descarga, calle Bandera, Santiago

### 4.3. Propuesta de localización de bahías

A partir de las características explicadas anteriormente, se desarrolla una propuesta de localización de bahías para carga y descarga en la zona. En primer lugar, se explica la propuesta teórica desarrollada por Blanco *et al.* (2014) según el esquema definido por Cuevas *et al.* (2016) para definir cantidad y localización de las bahías. En segundo lugar, se explica el trabajo con la mesa técnica del Plan Integral de Movilidad para incluir la propuesta de bahías y los distintos cambios que deberá atravesar el modelo agregado para convertirse en el modelo integral propuesto. Finalmente, se muestra la propuesta final de localización presentada y sus características.

#### 4.3.1. Modelo agregado de bahías

Para esta propuesta (Blanco *et al.*, 2014), se consideraron tres de las tasas estimadas por Merchán (2014) y mostradas en la Tabla 4-10 de la sección 4.2.3: el escenario mínimo considerando el promedio para todo el día, el escenario sugerido para la tasa diaria del caso del promedio más media desviación estándar, y el escenario en periodo punta, tomando la tasa entre 9am - 12pm también del caso con mayor demanda. En términos prácticos, estos valores corresponden a una cantidad de operaciones: 200 por hora como mínima, 330 como promedio y 650 como periodo punta.

Por otro lado, es necesario considerar un tiempo de servicio en cada bahía. Para esto, se utiliza un promedio de 15,2 minutos en cada una. Este valor proviene de la recolección de información realizada por el MIT en siete ciudades, incluyendo Santiago, el resto corresponde a Bogotá, Sao Paulo, Madrid, Ciudad México, Beijing, Kuala Lumpur.

Para generar este modelo, en primer lugar, se calculan las cantidades de bahías necesarias para cada uno de los escenarios establecidos y considerando como área de análisis el kilómetro cuadrado medular del centro histórico. Para cada caso, la cantidad seleccionada es aquella donde la cola de camiones esperando ( $L_q$ ) sea

menor a cinco, y que luego este valor es redondeado al múltiplo de cinco más cercano. La diferencia de bahías entre el promedio y el periodo punta son propuestas como bahías flexibles, es decir, espacios de estacionamiento que, durante ese periodo, de 9 am al mediodía, funcionen como bahías de carga y descarga, mientras que el resto del día puedan ser utilizadas por otro tipo de vehículos. Los resultados obtenidos se encuentran en la Tabla 4-12.

Tabla 4-12: Cantidad de bahías propuesta por el *Megacity Logistics Lab* del MIT, según Blanco *et al.* (2014)

| <b>Capacidad</b>                  | <b>Cantidad de Bahías</b> | <b>Ventana de Tiempo</b> | <b>Operaciones por hora</b> |
|-----------------------------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Mínima                            | 60                        | Todo el día              | 200                         |
| Sugeridas                         | 90                        | Todo el día              | 330                         |
| Periodo Punta (Fijas + Flexibles) | 180                       | 9 am – 12 pm             | 650                         |

Posteriormente, se define la localización de las bahías. Para esto el modelo debe considerar dos restricciones específicas para el caso de Santiago:

- La recomendación de la Superintendencia de Seguridad Social (SUSESO) que limita a un máximo de 150 metros la distancia entre el camión y el local a distribuir productos.
- Por supuesto, en concordancia con el plan centro del PIM, las bahías no pueden estar localizadas en los ejes prioritarios de transporte público.

Considerando los factores anteriores, el modelo realiza una localización en dos pasos. En primer lugar, se localiza la cantidad mínima sugerida de 60 bahías, de manera homogénea entre las calles aptas, es decir, no ejes prioritarios del transporte público. Esto se muestra en la Figura 4-16, donde los puntos negros representan los locales y los símbolos de estacionamiento las bahías, las calles en azul corresponden a los ejes prioritarios. Posteriormente, se verifica que se cumpla la restricción de caminata máxima, y en este caso, las 60 bahías pueden responder al 100% de los locales. Esto se muestra en la Figura 4-17. Por lo tanto, la propuesta teórica entrega

por el *Megacity Logistics Lab* del MIT a la División de Desarrollo Logístico fue una distribución de una bahía por cuadra.

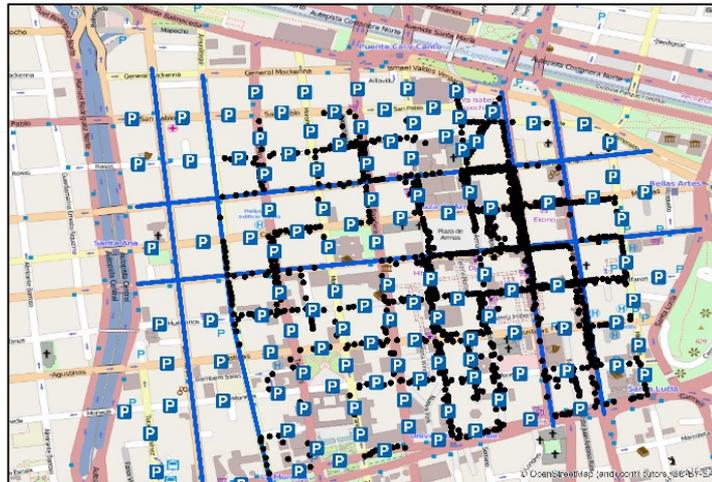


Figura 4-16: Paso 1 - Ubicación homogénea de bahías, según Blanco *et al.* 2014

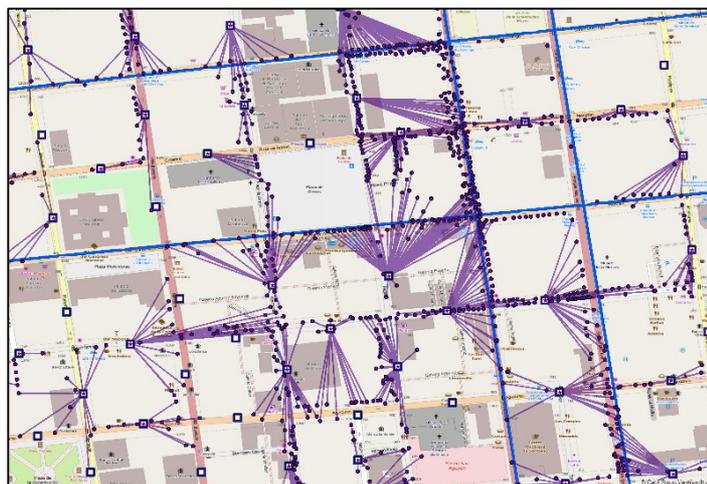


Figura 4-17: Paso 2 - Verificación de distancia máxima, según Blanco *et al.* 2014

#### **4.3.2. Proceso de trabajo con la mesa técnica del plan**

El modelo agregado de bahías, explicado anteriormente, fue presentado a la mesa técnica del Plan Integral de Movilidad. Este órgano está liderado por un asesor del Subsecretario de Transportes y está compuesto por representantes de las siguientes instituciones:

- Municipalidad de Santiago
- Desde el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (cuyo organigrama se muestra en la Figura 4-18), múltiples organismos forman parte de esta mesa:
  - Subsecretaría de Transportes
  - Directorio de Transporte Público Metropolitano (Infraestructura / Operaciones)
  - Unidad Operativa de Control de Tránsito (UOCT)
  - Secretaría de Planificación de Transporte (SECTRA)
  - Secretaría Regional Ministerial (SEREMITT) - Transporte
  - División de Desarrollo Logístico – Unidad Transporte por Camión
  - División de Normas de Transporte
  - Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito (CONASET)
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU)

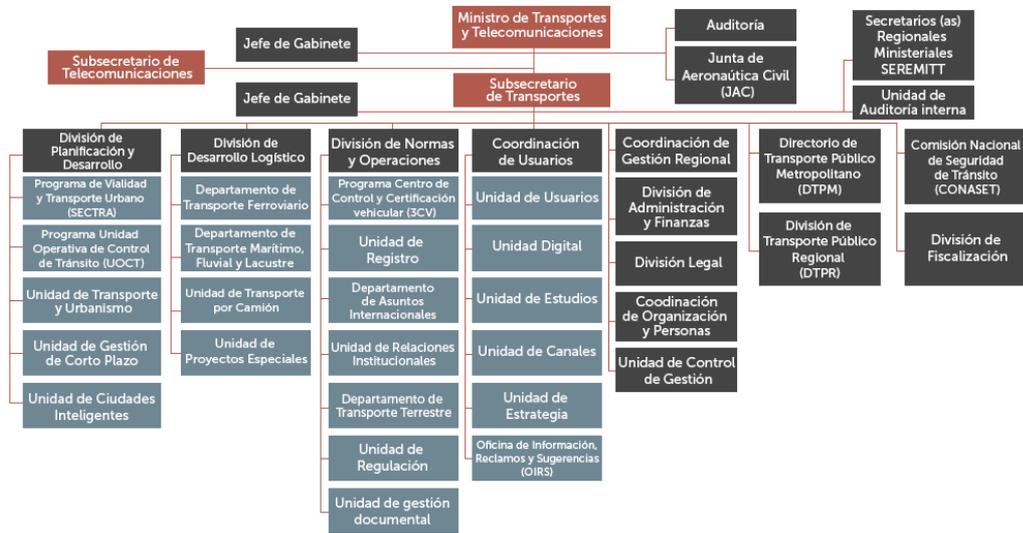


Figura 4-18: Organigrama Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones - Subsecretaría de Transportes

En los proyectos de logística urbana, generalmente se habla de “autoridades” como un solo ente que representa al poder público o al gobernante político en cuestión, a lo más se diferencia entre aquellas autoridades locales frente a regionales o nacionales. Es decir, la autoridad representa al actor que busca maximizar el beneficio social de la ciudad o jurisdicción y mejorar la calidad de vida de sus habitantes, sean o no actores directos del proceso logístico. En este proyecto particular, los actores involucrados son tanto las autoridades locales, como el municipio, como las autoridades metropolitanas y nacionales, a la vez que pertenecen a distintas agencias públicas. Es decir, cada uno de los miembros de las agencias involucradas en la mesa técnica es una autoridad en sí, con ideas diferentes con respecto a soluciones de movilidad urbana. Este proceso es otro ejemplo de cómo desagregar a los actores del proceso demuestra que sus intereses no son comunes en todo el conjunto, como fue el caso estudiado por Muñuzuri et al. (2016). Esto produce que sea complejo lograr un proyecto con soluciones integrales, si los objetivos, metas y prioridades de cada agencia pública involucrada en el proyecto son diferentes. Es más, es posible que el objetivo de una entre en conflicto con la de

otra contraparte. Por ejemplo, el uso de la infraestructura, debido a su espacio limitado, podría generar oposición entre las partes. Esto se debe a que las prioridades de cada agencia son distintas, afectando el foco de sus políticas y los objetivos de estas.

Con respecto a la logística en la zona, esta no fue considerada en un inicio. Tal como se explicó anteriormente, el plan buscaba restringir todos los procesos al horario nocturno, a pesar de su poca factibilidad. Adicionalmente, como sucede en ejemplos internacionales mencionados previamente, muchas veces la logística puede ser vista como un inconveniente frente al transporte de pasajeros.

Para poder involucrar a la logística en este Plan Integral de Movilidad, un primer portafolio de siete propuestas fue presentado en mayo del 2015, compuesto por las siguientes medidas:

- Establecer bahías de carga y descarga en la zona.
- Relajar los horarios permitidos para carga y descarga según el Decreto N°1.476/2013.
- Incentivar el uso a vehículos ecológicos para el transporte de carga.
- Permitir el uso de vías prioritarias para el transporte público en horarios de baja demanda.
- Generar un sistema de permisos circulación según horario, para que los camiones puedan ingresar al centro histórico según sus necesidades y costos.
- Evaluar la creación de un centro de consolidación urbano para Santiago.
- Relajar la restricción exigida por la Ordenanza N° 79/1998, considerando las características de los vehículos y el área de influencia de la misma

Posterior a esta presentación, las tres primeras medidas fueron seleccionadas para analizar en un corto y mediano plazo. A pesar que la encuesta realizada no fue utilizada como fuente de información sobre los procesos de distribución, sí entregó información útil con respecto a otras medidas, los problemas experimentados actualmente y conductas comunes utilizadas actualmente.

Con respecto a establecer bahías de carga y descarga, el modelo agregado de bahías se utilizó como punto de partida considerando la distribución de entregas de *Megacity Logistics Lab*; sin embargo, resultó ser poco adecuado para la zona debido dos factores. En primer lugar, el modelo no consideraba el comportamiento actual de los camiones en la zona, es decir, no tomaba en cuenta donde actualmente se estacionan los vehículos para realizar su carga y descarga. Y, en segundo lugar, además de los siete nuevos ejes prioritarios para el transporte público, otras vías o cuadras no pueden tener bahías en ellas. En este grupo se encuentran: calles muy angostas, ciclovías, paseos peatonales, edificios públicos y monumentos históricos, entre otros.

Como parte de la mesa técnica del proyecto, se acuerda que a pesar de que los estacionamientos en superficie serán eliminados, sí se permitirán actividades de carga y descarga. Sin embargo, con respecto a las bahías, en una primera etapa del proyecto solo serán consideradas las nuevas zonas de carga y descarga que busquen reponer aquellas existentes en los ejes prioritarios del transporte público. Sin embargo, al establecer una nueva propuesta, que supla la oferta actualmente existente en estos ejes, también se intenta absorber demanda adicional. En etapas posteriores del proyecto, se abordará la demanda no cubierta hasta entonces. Adicionalmente, esta propuesta debe considerar la conducta actual de los camiones y evitar otras calles donde sea complejo realizar carga y descarga.

#### **4.3.3. Modelo integral de bahías**

A partir de las discusiones en la mesa técnica, se comenzó a definir una nueva propuesta de localización para las bahías en la zona. Un primer aspecto es que, dada la legislación actual en la zona, se definen cuadras específicas con bahías, las que pueden tener más de un espacio de estacionamiento.

Por otro lado, es importante considerar la conducta actual de los camiones. Por ejemplo, ellos acostumbran a usar las calles Moneda y Agustinas para realizar sus procesos durante la mañana. En la Figura 4-19 se muestra un ejemplo de esta

situación. En consecuencia, es importante mantener estas zonas como espacios permitidos y legalizarlas en el caso que sea necesario.

Adicionalmente, las bahías que ya tenían algún tipo de ventana de uso durante el día, sea para todos los vehículos o solo para camiones eléctricos y a gas, se mantendrán como bahías, excepto en el caso en que se encuentren en un eje prioritario, como la de Mac – Iver. También es posible que se expandan, como la de Monjitas, o se restrinjan, como la de Teatinos, donde se elimina uno de los costados disponibles debido a la nueva ciclovía.



Figura 4-19: Camiones en calle Agustinas, Santiago

El último conjunto de bahías propuestas, corresponde a aquellas cuya ubicación se define para poder satisfacer la demanda con una distancia cercana a las dos cuadras, es decir, 200 metros aproximadamente. A pesar de ser una distancia mayor a la recomendación de la Superintendencia de Seguridad Social, actualmente es una distancia cercana más realista, considerando que un camión, en caso de no encontrar estacionamiento cerca, tenderá a estacionarse donde no corresponde, como en la Figura 4-20, o en segunda fila, como se observa en la Figura 4-21.



Figura 4-20: Camión mal estacionado, calle San Martín, Santiago



Figura 4-21: Camión esperando en segunda fila, calle Agustinas, Santiago

En detalle, esta propuesta determina un conjunto de calles que podrían utilizarse para carga y descarga durante algunos horarios del día, a partir de los criterios ya mencionados. Los horarios específicos se deben definir en una modificación al decreto municipal existente, pero se propone que en general sean fuera del horario punta del transporte de pasajeros; por ejemplo, entre 9:00 y 12:00 y entre 15:30 y 17:30.

Finalmente, el conjunto de vías a utilizar corresponde a:

- Moneda, costado izquierdo, entre calles Miraflores y San Antonio, y costado derecho, entre calles San Antonio y Morandé
- Agustinas, costado izquierdo, entre calle Hermanos Amunátegui y Paseo Ahumada
- Huérfanos, entre calles Miraflores y Mac – Iver, y entre calles Teatinos y San Martín
- Monjitas, entre paseo Veintiuno de Mayo y calle Mac-Iver
- Catedral, entre calle Bandera y paseo Puente, y entre calles Teatinos y San Martín
- San Pablo, costado izquierdo, entre calles San Martín y Teatinos
- Veintiuno de Mayo, entre calles Ismael Valdés Vergara y Esmeralda
- Puente, entre calles Ismael Valdés Vergara y San Pablo
- Morandé, entre calles Agustinas y paseo Huérfanos, y entre calles San Pablo y Santo Domingo
- Teatinos, costado derecho, entre calles Catedral y Compañía
- Tucapel Jiménez, entre calles Agustinas y Alameda
- Diagonal Cervantes, entre calle Esmeralda y paseo Veintiuno de Mayo

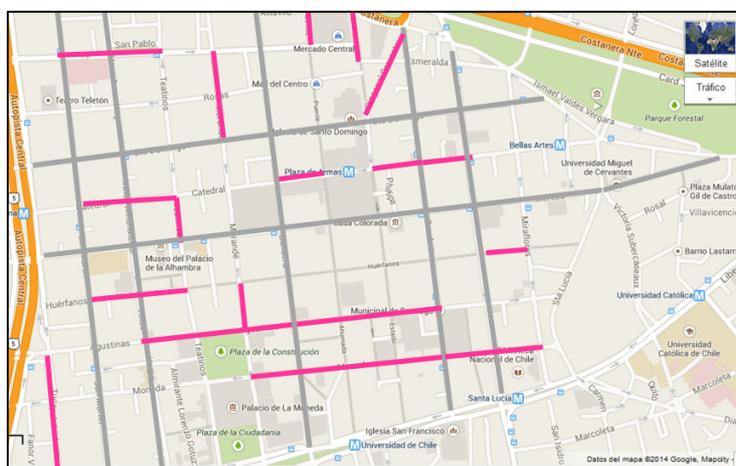


Figura 4-22: Propuesta modelo integral de para el centro histórico de Santiago

La regulación actual de la zona (decreto N°1476/2013) define ciertas cuadras específicas para algunas vías donde es posible realizar procesos de carga y descarga. En consecuencia, este enfoque busca definir en qué cuadras podrían existir bahías, dado que en la práctica los camiones utilizan todo el espacio disponible para estacionarse. Esto se diferencia del enfoque agregado, el que define bahías por cuadra, sin considerar que no todas las cuadras son factibles ni aprovechar al máximo la infraestructura que sí está disponible. Por lo mismo, se podría considerar cuántas bahías se necesitan en cada cuadra para suplir la cantidad definida en el modelo agregado de bahías, cuyos resultados se muestran en la Tabla 4-13. Sin embargo, es esperable que, si la nueva regulación es consistente con la legislación actual, los camiones se comporten de manera similar, es decir, utilizando las cuadras en su totalidad para estacionarse y realizar carga y descarga. Por otro lado, una bahía debe ser capaz de recibir un camión de dos ejes, máximo tamaño permitido en la zona. A pesar de ello, en general la zona es abastecida por camiones más pequeños, comúnmente del tipo tres cuartos, por lo que una bahía podría ser utilizada por más de un vehículo simultáneamente. Es decir, en la práctica cada zona de estacionamiento podría tener una capacidad mayor aún.

Tabla 4-13: Cantidad necesaria de bahías por cuadra, centro histórico de Santiago

| <b>Cantidad</b>           | <b>Número de bahías para el kilómetro cuadrado (modelo agregado)</b> | <b>Número de bahías para el centro histórico</b> | <b>Cantidad necesaria de bahías por cuadra (modelo integral)</b> |
|---------------------------|--|--|--|
| Mínima                    | 60   | 100  | 3,125  |
| Sugerida                  | 90   | 150  | 4,688  |
| Punta (Fijas y Flexibles) | 180  | 300  | 9,375  |

#### **4.4. Análisis de la propuesta**

En esta última sección del caso de estudio, se presenta el análisis realizado a la propuesta de localización de bahías. En primer lugar, se realiza un análisis de sensibilidad a los parámetros utilizados para desarrollar el modelo agregado, tanto en la tasa de llegada como de servicio. En la segunda sección, se analiza la cobertura geográfica del modelo integral de bahías, incluyendo la satisfacción de la demanda que posee. Finalmente, se analiza el modelo integral bajo un modelo hipercubo para evaluar cómo responde el sistema considerando los aspectos espaciales y las preferencias de los procesos.

##### **4.4.1. Análisis de sensibilidad**

Un primer análisis a realizar es sensibilizar los antecedentes originales utilizados, es decir, los datos con que el modelo agregado de bahías fue desarrollado y sus efectos sobre el mismo. En este caso, originalmente se asume una tasa de llegada de 200 camiones por hora a la zona para la operación mínima, 330 para una operación normal y 650 camiones por hora durante el período punta. Mientras que para todos los casos se utiliza una tasa de servicio de 15,2 minutos por bahía. Ambos valores podrían cambiar por diversos factores: cambio del contexto de la zona, nuevas regulaciones, mala estimación de los parámetros originales, entre otros. Por lo

mismo, debe analizarse qué efecto posee un cambio significativo de estos parámetros sobre el modelo agregado de bahías.

a) Sensibilización de la tasa de llegada

Un cambio en el tipo de comercio, podría significar un aumento o disminución de la tasa de llegada de camiones, ya que cada rubro posee necesidades diferentes de distribución. En esta etapa, se analizó que ocurriría con la cantidad de bahías determinadas por el modelo M/M/K, si se modificara la cantidad de llegadas por hora. Para esto, se consideraron tres aspectos:

- 1) Cantidad mínima de bahías necesarias para que el sistema sea factible, es decir, aquella donde la espera en el sistema deja de ser infinita.
- 2) La cantidad mínima sugerida del sistema. Como se explicó en la sección de metodología, el criterio de selección corresponde a tener en promedio menos de cinco camiones esperando en el sistema para seleccionar la cantidad de bahías necesarias, la que después es aproximada al divisor de 5 más cercano.

Con esto, se definen para el caso original una cantidad mínima de 60 bahías. Dado que la tasa original para el caso mínimo correspondía a 200 camiones por hora, se analizaron 4 escenarios con tasas de 150, 175, 225 y 250 camiones llegando en promedio por hora al sistema. En términos gráficos, los resultados se observan en la Figura 4-23. Por otro lado, la cantidad sugerida de 90 bahías corresponde a una tasa de 330 operaciones por hora, por lo que también se realiza un análisis similar considerando tasas de llegada cercanas a esta cantidad.

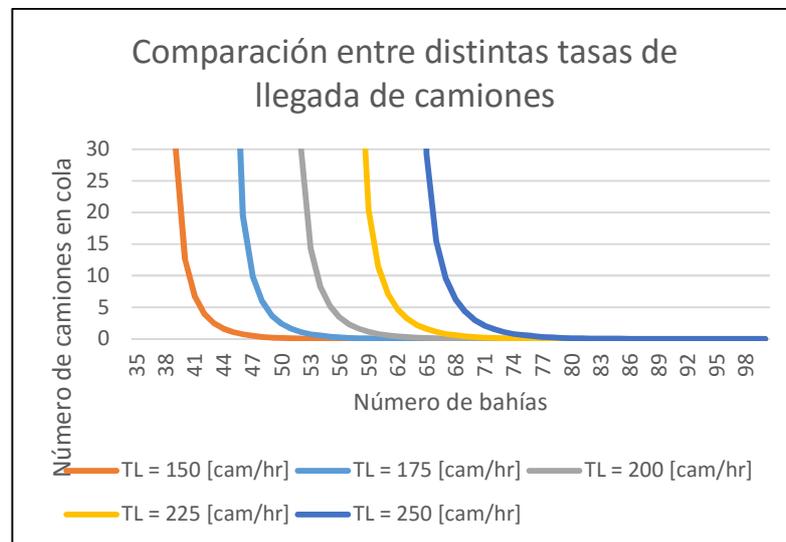


Figura 4-23: Gráfico de comparación entre tasas de llegada

Tabla 4-14: Análisis de sensibilidad para distintas tasas de llegada

| Tasa de llegada [camiones/hora] | Bahías para factibilidad | Bahías para cola menor a 5 camiones | Cantidad mínima sugerida de Bahías |
|---------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 150                             | 39                       | 42                                  | 40                                 |
| 175                             | 45                       | 49                                  | 50                                 |
| 200                             | 51                       | 56                                  | 55                                 |
| 225                             | 58                       | 62                                  | 60                                 |
| 250                             | 64                       | 69                                  | 70                                 |
| 280                             | 72                       | 77                                  | 80                                 |
| 305                             | 78                       | 84                                  | 85                                 |
| 330                             | 84                       | 91                                  | 90                                 |
| 355                             | 91                       | 97                                  | 100                                |
| 370                             | 95                       | 101                                 | 100                                |

En general, los resultados, sin la aproximación, cambian en una cantidad de 7 bahías cada 25 operaciones por hora, como se observa en la Tabla 4-14. Esto significa que a medida que aumente la cantidad de operaciones en el área, la necesidad de bahías será mayor. Sin embargo, la estimación de la cantidad de bahías utiliza la tasa correspondiente al caso pesimista, con 330 llegadas por hora, cuando en realidad el

promedio corresponde a las 200 operaciones por hora. Y, por otro parte, la propuesta de bahías como parte del Plan Integral de Movilidad considera absorber una demanda preliminar. En otras palabras, se considera que en etapas posteriores se debe incluir mayor demanda, por lo que sería posible cubrir un aumento de operación en futuras etapas del proceso.

b) Sensibilización de la tasa de servicio

Al igual que el caso anterior, es necesario evaluar qué pasa con el sistema si es que cambia la tasa de servicio de cada bahía. En el modelo original, se utilizó un tiempo exponencial de servicio con media de 15,2 minutos para cada bahía. El análisis se realiza para una tasa de llegada de 200 y 330 camiones por hora, cuyos resultados se muestran en la Tabla 4-15 y la Tabla 4-16, respectivamente.

Tabla 4-15: Análisis de sensibilidad de la tasa de servicio, para una tasa de llegada de 200 camiones por hora

| Tasa de Servicio [minutos] | Bahías para Factibilidad | Bahías para cola menor a 5 camiones | Cantidad mínima sugerida de Bahías |
|----------------------------|--------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 10,0                       | 34                       | 37                                  | 40                                 |
| 12,5                       | 42                       | 46                                  | 45                                 |
| 15,2                       | 51                       | 56                                  | 55                                 |
| 17,5                       | 59                       | 64                                  | 65                                 |
| 20,0                       | 67                       | 73                                  | 75                                 |

Tabla 4-16: Análisis de sensibilidad de la tasa de servicio, para una tasa de llegada de 330 camiones por hora

| Tasa de Servicio [minutos] | Bahías para Factibilidad | Bahías para cola menor a 5 camiones | Cantidad mínima sugerida de Bahías |
|----------------------------|--------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 10,0                       | 56                       | 60                                  | 60                                 |
| 12,5                       | 69                       | 75                                  | 75                                 |
| 15,2                       | 84                       | 91                                  | 90                                 |
| 17,5                       | 97                       | 104                                 | 105                                |
| 20,0                       | 111                      | 118                                 | 120                                |

De ambas tablas, es posible observar que un uso más eficiente de cada bahía baja considerablemente la cantidad mínima necesaria de ellas. De modo que es importante encontrar una forma de garantizar la rotación de vehículos en las bahías para poder tener un sistema eficiente. Esto se podría generar a través del sistema de fiscalización o con uso de parquímetros que incentiven a un correcto uso del tiempo en las bahías. Adicionalmente, esto muestra que es posible mantener solo cierta cantidad de bahías y si existiera un aumento de la cantidad de operaciones en la zona, se debe buscar ajustar la rotación y tiempo de uso de las mismas, al menos como una medida en el corto plazo.

#### **4.4.2. Análisis de cobertura geográfica y satisfacción de la demanda**

Considerando la propuesta de implementación definida, es necesario evaluar cómo se comporta en términos de cobertura geográfica. Es decir, cuál es el área de influencia de cada bahía y cuánta demanda es posible satisfacer con esta propuesta. Primero, dada la recomendación de la Superintendencia de Seguridad Social que define un máximo de 150 metros entre el estacionamiento y el local al que se le entrega productos, es necesario evaluar cuán realista es esta recomendación en el contexto del centro histórico de Santiago. Utilizando la plataforma de código abierto *CARTO* como herramienta de sistema de información geográfica, se realizó un mapa del área de influencia de la propuesta de bahías. Tal como se ve en la Figura 4-24, una distancia máxima de 150 metros no es capaz de cubrir toda la zona de estudio.

En el caso de los locales cuya ubicación es cercana al perímetro del centro histórico, su demanda puede ser satisfecha por bahías ubicadas en los bordes de la zona o por calles cercanas a la misma. Sin embargo, el punto de mayor complejidad es el espacio central, indicada en la Figura 4-24, que se encuentra entre Bandera por el oeste, San Antonio por el este, Plaza de Armas (Compañía – Merced) por el norte y Agustinas por el sur. En este espacio, se encuentran tres paseos peatonales: Huérfanos (sentido oriente – poniente), Ahumada (sentido norte – sur) y Estado

(sentido norte – sur). Dado que Bandera, San Antonio y el eje Compañía – Merced son vías prioritarias de transporte público no pueden poseer bahías. Lo anterior produce que sea imposible llegar a los locales desde alguna bahía fuera de esta zona, como, por ejemplo, desde Agustinas.

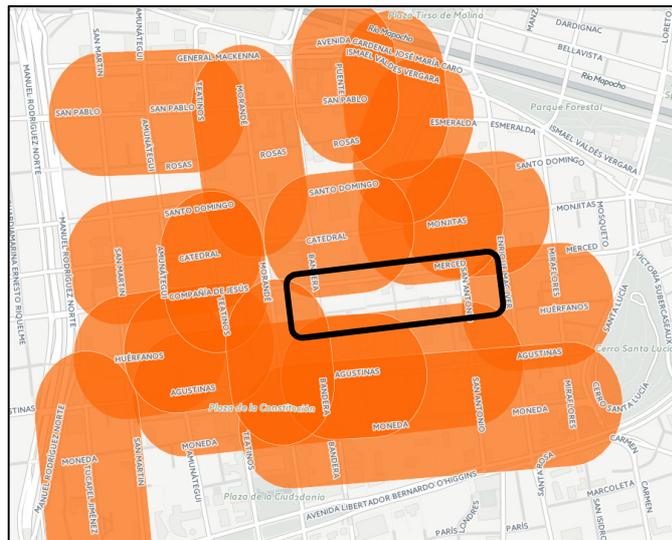


Figura 4-24: Cobertura geográfica de las bahías con 150 metros de alcance

No obstante, el límite de 150 metros es una recomendación en la actualidad. Sin perjuicio de que sea el reglamento en unos años, en el corto plazo vale la pena evaluar la distancia que permite cubrir este espacio central. Sin embargo, considerando una distancia de 200 metros, que corresponde aproximadamente caminar dos cuadras desde el espacio de estacionamiento hacia el local a distribuir, se podría cubrir en su totalidad los espacios centrales que no eran satisfechos con una distancia máxima de 150 metros, como se muestra en la Figura 4-25. En el caso de que a futuro la recomendación de la Superintendencia sea reglamento, es necesario evaluar alguna otra medida para suplir esta zona de paseos peatonales; por ejemplo, un centro de transbordo donde la carga pase a bicicletas de distribución que permitan llevar los productos hacia los locales en estos paseos peatonales.





Figura 4-26: Distribución locales comerciales del kilómetro cuadrado según datos del *Megacity Logistics Lab* del MIT, utilizando QGIS

A partir de la información anterior, se realiza el mismo procedimiento para obtener el *buffer* que representa el área de influencia de cada cuadra con bahías en la zona de estudio. Las imágenes correspondientes a este proceso se muestran en la Figura 4-27, en la Figura 4-28 y en la Figura 4-29.

Posteriormente, se obtiene la diferencia entre la capa de tiendas y la de *buffer*, entregando el número de locales no cubierta por las áreas de influencia. Utilizando este proceso, se averigua que con 150 metros un tercio de las 1.801 tiendas no logran ser alcanzadas. Sin embargo, lo importante es la cantidad de tiendas en la zona céntrica, porque las que tiendas en el borde puede ser satisfechas con bahías en el perímetro de la zona. Para cada caso, se obtiene la tasa de entregas por hora que generan estos locales no cubiertos, con el fin de comprender cuanta demanda no logra ser satisfecha. Estos valores se muestran en la Tabla 4-17 y gráficamente en la Figura 4-30.

Tabla 4-17: Demanda cubierta según distancia de influencia

| Distancia máxima de influencia | Tiendas no cubiertas | Operaciones por hora de estas tiendas | Porcentaje de locales fuera del rango de servicio de las bahías | Porcentaje de operaciones fuera de rango |
|--------------------------------|----------------------|---------------------------------------|---|--|
| 150 metros                     | 602                  | 110,36                                | 33,4%   | 33,4%                                    |
| 200 metros                     | 180                  | 30,82                                 | 9,9%  | 9,3%                                     |
| 250 metros                     | 39                   | 7,91                                  | 2,2%  | 2,4%                                     |



Figura 4-27: Cobertura con área de influencia de 150 metros

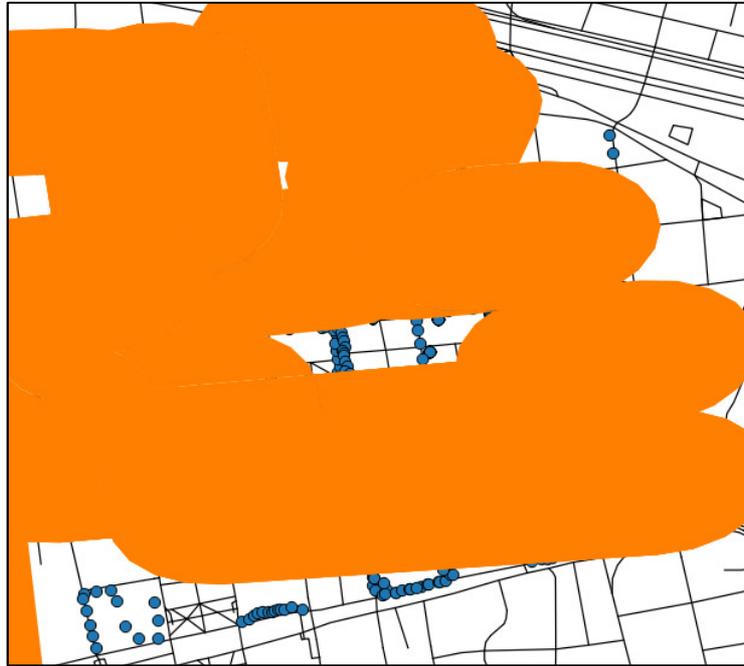


Figura 4-28: Cobertura con área de influencia de 200 metros

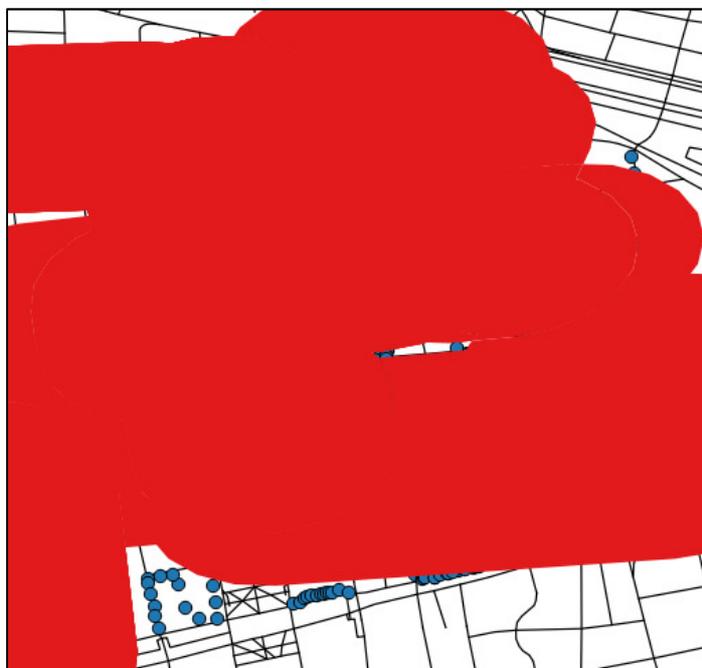


Figura 4-29: Cobertura con área de influencia de 250 metros

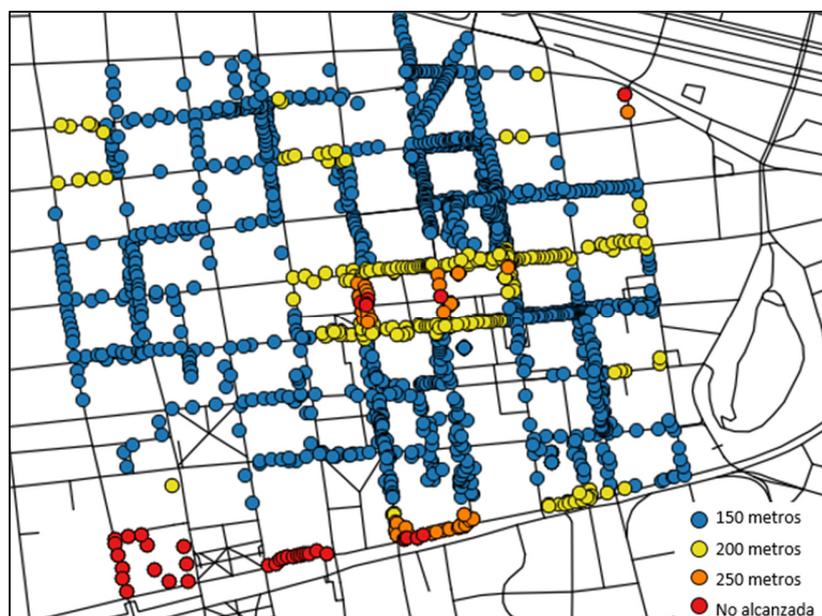


Figura 4-30: Tiendas del centro, cubiertas por 150 metros, 200, 250 y no cubiertas

#### 4.4.3. Análisis utilizando el modelo hipercubo

Para analizar qué sucede con el sistema en el modelo integral de bahías se evaluó bajo un modelo hipercubo de colas. Para esto, se utilizaron los datos de ubicación y entregas por local para el kilómetro cuadrado, no para toda la región de análisis del centro histórico. En consecuencia, el modelo se evalúa solo para esta zona, utilizando casi todas las cuadras con bahías, a excepción de las tres de Tucapel Jiménez, debido a que se encuentran a más de 200 metros de la zona. En esta área se definieron 60 bloques con tiendas que reciben productos, las cuales se observan detalladamente en Anexo C: Distribución por bloques de la zona.

Por otra parte, es necesario establecer las prioridades de cada bloque con respecto a las cuadras con bahías. Para esto, se definió como criterio cercanía y sentido de las calles. Es decir, primero se elige la más cercana, en segundo lugar, la siguiente bahía en cercanía, pero respetando el sentido de las calles y así sucesivamente. Todo bloque posee al menos dos cuadras con bahías en su definición, llegando hasta cinco.

Con un máximo de una cuadra a la redonda aproximadamente, el cual se expande cuando no existen dos ubicaciones en este margen. La lista en detalle de las prioridades, se encuentra en el Anexo D: Priorización de bahías.

A continuación, se realizó el proceso de la aproximación del modelo hipercubo presentada en la sección 2.5.4. Para realizar este análisis, se define la cantidad de bahías por cuadra. En primer lugar, utilizar una o dos bahías en cada cuadra, no respeta el principio básico de los modelos de teoría de colas correspondiente a que el sistema no este sobresaturado, es decir, que su tasa de ocupación agregada sea menor a uno. Por lo tanto, el análisis se realiza a contar de tres bahías y para cada una, se obtiene su tasa de ocupación según la aproximación. Estos resultados se presentan en detalle en la Tabla 4-18 y gráficamente en la Figura 4-31.

Tabla 4-18: Tasas de ocupación promedio según número de bahías por cuadra

| Cantidad de bahías por cuadra | Total de bahías | Bahías con tasa de ocupación sobre uno | Cuadras con bahías sobresaturadas | Tasa de ocupación promedio |
|-------------------------------|-----------------|--|-----------------------------------|----------------------------|
| 3                             | 87              | 41                                     | 14                                | 95,6%                      |
| 4                             | 116             | 48                                     | 12                                | 71,7%                      |
| 5                             | 145             | 10                                     | 2                                 | 57,4%                      |

Como se puede apreciar, utilizar tres bahías entrega una situación muy congestionada, donde el 95,6% del día (7 am a 6 pm) las bahías están siendo ocupadas y más de la mitad se encuentra sobresaturada. En consecuencia, lo ideal es utilizar entre 4 y 5 bahías considerando 29 cuadras, lo que concuerda con la cantidad necesaria de 4,7 bahías obtenida para las 32 cuadras de todo el centro histórico presentada en la sección 4.3.3. No obstante, a pesar de que en estos casos el sistema posee una tasa de ocupación de aproximadamente el 75% y 60%, respectivamente, en cada escenario existen zonas donde aún hay saturación. El mayor problema son las dos cuadras de Monjitas, las cuales con 5 bahías no son capaces de abastecer a toda la zona. Un detalle específico de la realidad de cuadra se encuentra en el Anexo E: Tasas de ocupación del modelo integral de bahías.

Debido a esta situación, como primera opción, se busca evaluar alguna otra cuadra que podría contener bahías para apoyar esta demanda. Por lo que se elige la cuadra de Monjitas entre Miraflores y San Antonio, como ubicación posible y se realiza el análisis anterior nuevamente.

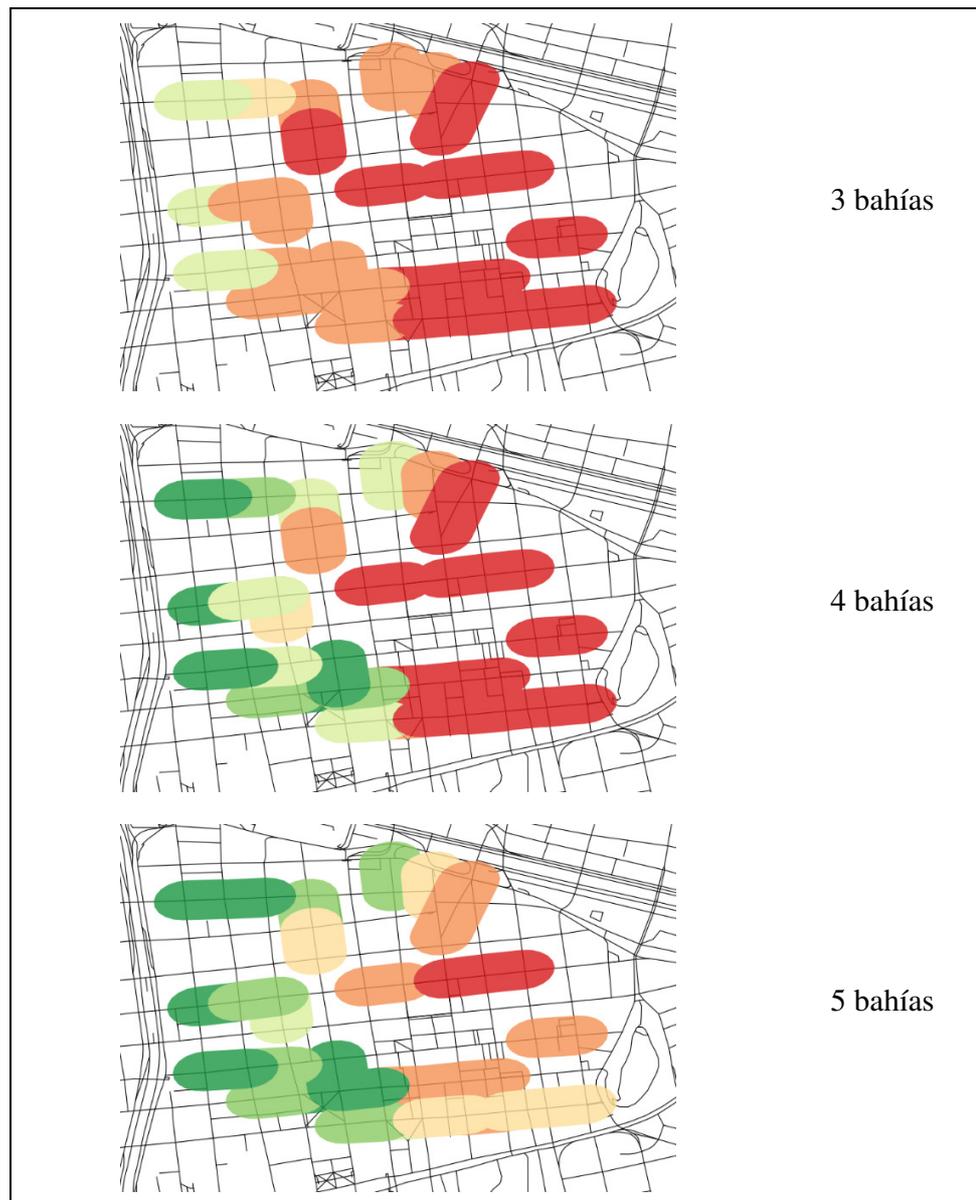


Figura 4-31: Comparación de tasas de ocupación según cantidad de bahías, modelo original (V1)

Tabla 4-19: Tasas de ocupación promedio según número de bahías por cuadra, para la versión II del modelo integral de bahías

| Cantidad de bahías por cuadra | Total de bahías | Bahías con tasa de ocupación sobre uno | Cuadras con bahías colapsadas | Tasa de ocupación promedio |
|-------------------------------|-----------------|--|-------------------------------|----------------------------|
| 3                             | 90              | 43                                     | 14                            | 92,5%                      |
| 4                             | 120             | 40                                     | 10                            | 69,3%                      |
| 5                             | 150             | 5                                      | 1                             | 55,5%                      |

Los resultados obtenidos para este segundo análisis (Tabla 4-19) muestran una mejora en todas las situaciones, pero todavía existe una bahía con sobrecapacidad a pesar de tener 150 bahías distribuidas en 30 cuadras. El modelo agregado de bahías consideraba que 90 bahías eran suficientes para toda la zona del kilómetro cuadrado del centro histórico de Santiago. Sin embargo, el análisis anterior realizado en esta área específica demuestra lo contrario. Con 90 bahías, existen 14 cuadras con tasas de ocupación mayores a uno, y aún con 150 bahías no existe un equilibrio en la zona de análisis debido a la existencia de una cuadra colapsada. Es decir, el modelo agregado puede subdimensionar la necesidad de bahías, debido a dos de sus supuestos: en primer lugar, una demanda homogénea en toda la zona de estudio, y, por otra parte, una distribución homogénea de las bahías de carga y descarga. Dado que en la realidad ambos supuestos son poco factibles, una versión agregada de la localización es solo un punto de partida con respecto una solución real para el problema.

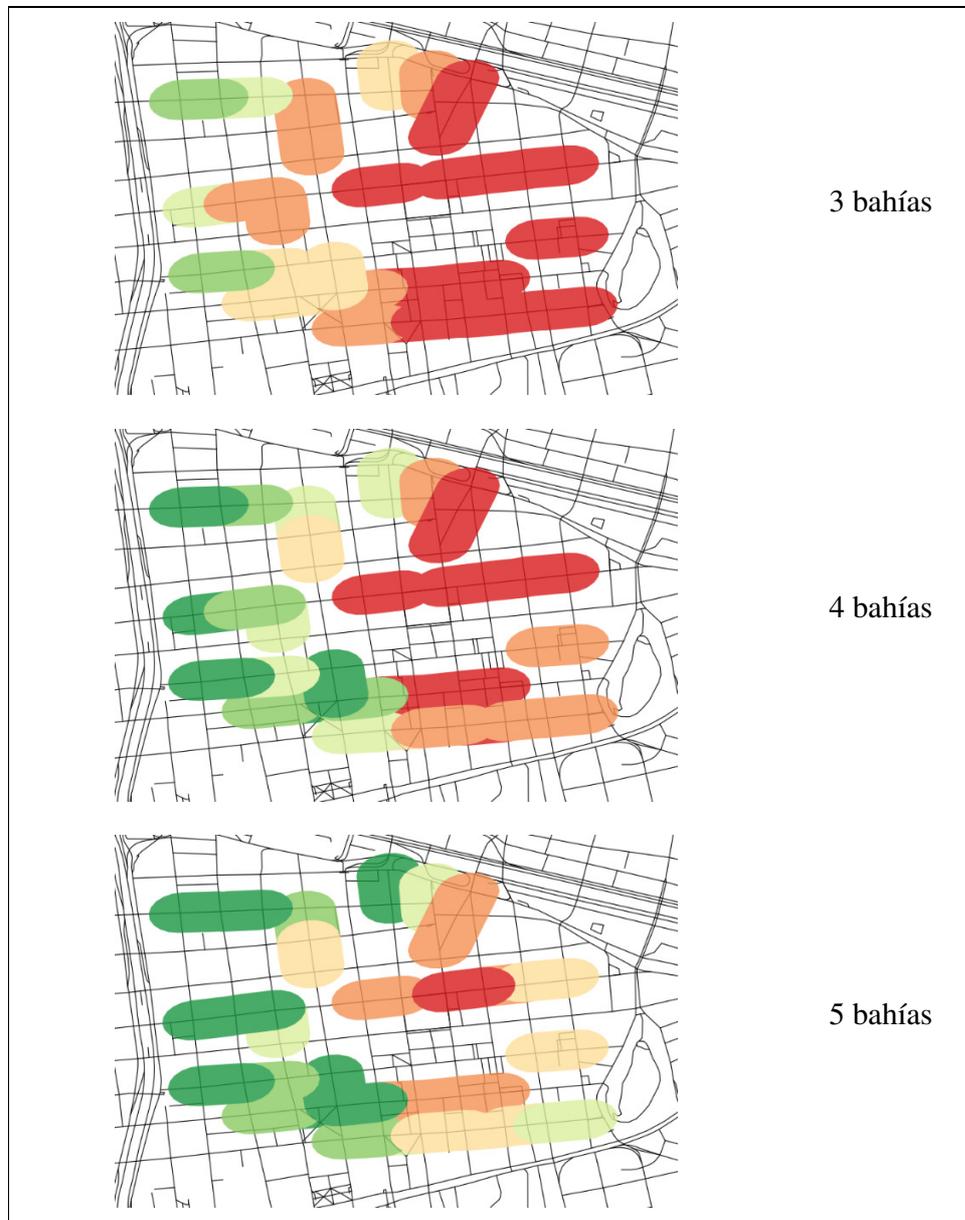


Figura 4-32: Comparación de tasas de ocupación según cantidad de bahías, modelo con extra cuadra (V2)

En consecuencia, aún es necesario encontrar una versión del modelo integral de bahías que garantice un sistema en equilibrio. Adicional a agregar nuevas bahías, también existen las opciones de cambiar las prioridades para evaluar su impacto o seguir aumentando la cantidad de bahías por cuadra. Como, en la zona de conflicto,

no existen otras calles donde se pueda localizar bahías, al ser peatonales o de transporte público, primero se decidió evaluar qué pasa con un cambio de prioridades en el sistema. Al analizar este caso, en dos escenarios distintos, se observa que aún existen problemas de sobresaturación del sistema, en una o dos cuadras de la zona. Por lo mismo, tampoco corresponde a la solución del problema. Aumentar la cantidad de bahías a seis por cuadra en la totalidad de la zona, podría ser factible, ya que, en general, los camiones que abastecen son pequeños por lo que perfectamente podrían agruparse en grupos de ocho o diez por cuadra. Sin embargo, el objetivo de este análisis es buscar una solución eficiente al problema, no continuar aumentando la capacidad de manera infinita. Y gracias al análisis ya realizado, es posible tener una aproximación de la cantidad de bahías necesarias para cada cuadra. Por lo mismo, se decide realizar como tercera versión un análisis con una cantidad variable de bahías por cuadras, entre cuatro y seis, para la propuesta original, con 29 cuadras. En aquellas que no hubo problema en ninguno de los casos anteriores, se mantienen con cuatro bahías. No se utilizó la cantidad mínima de tres, debido a que el sistema igual poseía una tasa de ocupación cercana a uno en ese caso. Para aquellas con saturación para el análisis con tres o cuatro bahías, se establece una cantidad de cinco, excepto para las dos cuadras más complicadas, para las que se proponen seis bahías en cada una. Esto entrega una distribución de diez cuadras con cuatro bahías, diecisiete con cinco y dos con seis, lo que representa un total de 137 bahías en la zona.

La distribución anterior entrega un sistema en equilibrio, sin bahías con sobresaturación, y una tasa de ocupación promedio de 60,7%. Sin embargo, seis cuadras entregan valores cercanos a la saturación, con tasas mayores o cercanas al 95%, correspondiendo a las tres primeras de Agustinas, Diagonal Cervantes y ambas de Monjitas. Por lo tanto, se vuelve a realizar este análisis tres veces: en primer lugar, aumentando a seis bahías para aquellas cuatro cuadras que poseían cinco en el análisis anterior; como segunda opción, incluyendo al modelo original la bahía extra definida anteriormente con seis bahías; y, finalmente, la combinación de

ambos. En los dos casos primeros, la cantidad de cuadras en riesgo de saturación baja a tres, mientras que en el caso en que se combinan ambas propuestas, solo la cuadra más conflictiva de Monjitas queda en un estado cercano a la saturación. Los resultados más detallados se muestran en la Tabla 4-20.

Tabla 4-20: Tasas de ocupación promedio y máxima según caso de la versión III del modelo integral de bahías

| Versión III – Caso específico | Total de bahías | Tasa de ocupación promedio | Tasa de ocupación máxima |
|-------------------------------|-----------------|----------------------------|--------------------------|
| Original                      | 137             | 60,7%                      | 99,4%                    |
| Aumentando bahías             | 141             | 59,0%                      | 97,9%                    |
| Agregando cuadra              | 143             | 58,2%                      | 97,5%                    |
| Combinación                   | 147             | 56,6%                      | 96,4%                    |

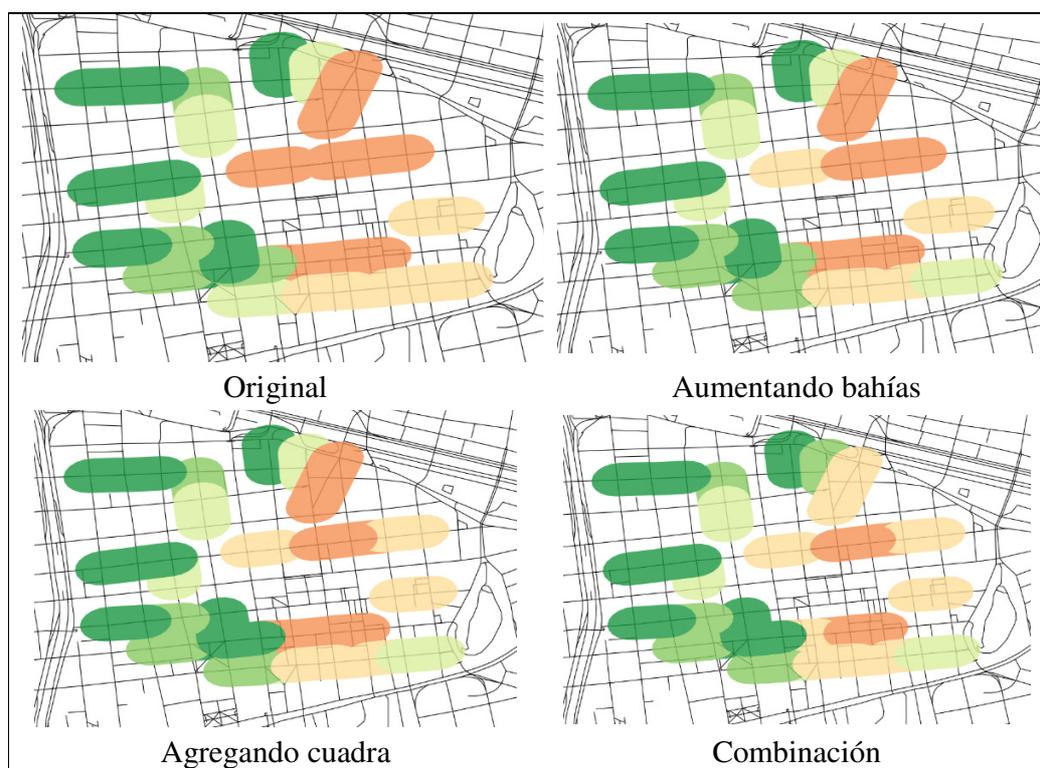


Figura 4-33: Comparación de tasas de ocupación según cantidad de bahías, modelo con cantidad variable de bahías (V3)

Dado que la tasa de ocupación implica el porcentaje del tiempo en que estará siendo utilizado cada servidor, otros parámetros a analizar corresponden a la cantidad de vehículos esperando por ser atendidos y al tiempo promedio de espera de cada vehículo en la cola. Los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 4-21. A partir de estos parámetros es posible ver que, para cierta cantidad de bahías, la cantidad de vehículos esperando deja de ser considerable. Sin embargo, es claro que con tres bahías por cuadra sí existirán camiones esperando por servidores. En general, un vehículo busca estacionamiento cerca del local, pero si no encuentra podría optar por estacionar en segunda fila o en lugares indebidos. En consecuencia, es importante contar con una cantidad de bahías que evite que estos procesos se generen. No obstante, se debe tener en cuenta que una baja cantidad de camiones en cola no implica que las bahías se encuentren vacías, las cuales podrían estar ocupadas durante la mayor parte del día.

Tabla 4-21: Camiones en cola: promedios y tiempos de espera

| Versión – Caso   | Bahías | Camiones en cola | Tiempo promedio en cola [min] |
|------------------|--------|------------------|-------------------------------|
| V1 - 3 bahías    | 87     | 12,78            | 2,33                          |
| V1 – 4 bahías    | 116    | 0,0011           | 0,0002                        |
| V1 – 5 bahías    | 145    | < 0,0001         | < 0,0001                      |
| V2 – 3 bahías    | 90     | 4,40             | 0,80                          |
| V2 – 4 bahías    | 120    | 0,0002           | < 0,0001                      |
| V2 – 5 bahías    | 150    | < 0,0001         | < 0,0001                      |
| V3 – Original    | 137    | < 0,0001         | < 0,0001                      |
| V3 - Más bahías  | 141    | < 0,0001         | < 0,0001                      |
| V3- Nueva cuadra | 143    | < 0,0001         | < 0,0001                      |
| V3- Combinación  | 147    | < 0,0001         | < 0,0001                      |

Con los valores anteriormente obtenidos, es posible comparar el modelo agregado de 90 bahías con respecto a los escenarios evaluados para el modelo integral. Este primer modelo posee 5,03 camiones esperando en el sistema, con un tiempo promedio de espera de 0,91 minutos. Al compararlo con la versión equivalente, de 90 bahías (V2 – 3 bahías), la cantidad de camiones en espera baja a 4,40 y su tiempo

también disminuye a 0,80 minutos. Sin embargo, como se vio anteriormente, esta situación aún no se encuentra en equilibrio al existir 14 cuadras con sobresaturación, es decir, el 46% de ellas aún experimenta algún tipo de congestión. En cambio, cuando ya no existe el problema de sobresaturación, la cantidad de bahías ha aumentado en un 52,2%. Esto demuestra el modelo agregado no es capaz de observar la congestión local, que sí es problemática en situaciones donde el sistema de espera se ve afectado por su dimensión espacial. En un sistema de carga y descarga, los camiones no pueden estacionarse muy lejos del local al que le distribuyen, por lo que es necesario que cada zona se encuentre en equilibrio para que el sistema funcione correctamente.

Que el sistema se encuentre en equilibrio y no exista congestión local, no implica que sea un equilibrio aislado. Una de las ventajas del modelo hipercubo es que permite interacción y servicios entre zonas, es decir, cuantos corresponden a la utilización de la segunda o subsiguientes prioridades, dado que la primera preferencia estaba ocupada por otro vehículo. En consecuencia, es importante finalizar este análisis con la evaluación de las probabilidades de servicios realizados entre distintas zonas. Para el sistema completo, los valores de estas probabilidades se muestran en la Tabla 4-22, donde se observa que, para los casos con tres bahías, el sistema no se encuentra en equilibrio, debido a que la probabilidad de este tipo de servicio es mayor que uno. Esta demanda se acentúa en Monjitas y en Agustinas, donde tres cuadras generan más del 30% de las necesidades por servicios entre zonas. Un detalle de las necesidades de cada cuadra se encuentra en el Anexo F: Probabilidad de necesitar servicios entre zonas. Este análisis también demuestra la importancia de potenciar ciertas zonas más que otras, debido a la demanda no homogénea por entregas que existe en la ciudad, a la vez que también muestra la importancia de la flexibilidad que requiere esta infraestructura para poder servir a zonas distintas según las necesidades de cada una. Es esta flexibilidad por servicio la que entrega permite

Tabla 4-22: Probabilidad de ocurrencia de despachos entre zonas por escenario

| <b>Versión – Caso</b> | <b>Bahías</b> | <b>Probabilidad servicios<br/>entre regiones</b> |
|-----------------------|---------------|--|
| V1 – 3 bahías         | 87            | 102%   |
| V1 – 4 bahías         | 116           | 98%  |
| V1 – 5 bahías         | 145           | 87%  |
| V2 – 3 bahías         | 90            | 103%   |
| V2 – 4 bahías         | 120           | 95%  |
| V2 – 5 bahías         | 150           | 84%  |
| V3 – Original         | 137           | 85%  |
| V3 - Más bahías       | 141           | 83%  |
| V3 - Nueva cuadra     | 143           | 82%  |
| V3- Combinación       | 147           | 80%  |

## 5. CONCLUSIONES

En esta última sección se presenta lo que se hizo en esta tesis, sus principales resultados y contribuciones, tanto para la metodología como para su aplicación en un caso de estudio. Adicionalmente, también se presentan posibles extensiones a la propuesta desarrollada y soluciones a los problemas detectados en el análisis del caso de estudio.

### 5.1. Principales resultados y contribuciones

Debido al rol fundamental que juega la logística urbana en el funcionamiento de las ciudades y en pos de la sustentabilidad, los planes de movilidad urbana deben incorporar al transporte de carga a través de soluciones flexibles y que apunten a mejorar la eficiencia de estos procesos. Por lo mismo, las restricciones y políticas deben apoyar a los procesos logísticos, y no obstaculizarlos. Con el fin de lograr estos objetivos, en esta tesis se desarrolló un modelo de localización de bahías de carga y descarga incorporable a un plan de movilidad urbana. El modelo propuesto para la localización de bahías buscar ser una herramienta útil para que autoridades incorporen soluciones a la carga y descarga de los centros urbanos y en sus planes de movilidad. En términos más específicos, el sistema propuesto está conformado por dos modelos: agregado e integral.

La propuesta comenzó con un modelo agregado de bahías, el cual posee dos etapas. Primero, se determina la cantidad requerida de bahías de manera de que las esperas de los vehículos sean menores que cinco minutos utilizando un modelo de colas de tipo M/M/K. Se decidió utilizar teoría de colas por su simplicidad en contraste a otros modelos más sofisticados, como, por ejemplo, modelos de simulación, donde se requiere más datos y parámetros, los cuales muchas veces no están disponibles o son muy costosos de conseguir para las autoridades. Para la cuantificación de bahías, se estudiaron diferentes escenarios de tasas de operación con distintas intensidades. Y en una segunda etapa, ya definido el número de bahías, se propone distribuir las espacialmente utilizando un problema de cobertura o mediana, según el objetivo y necesidades del problema específico de localización.

Una de las debilidades del modelo agregado es que considera una intensidad uniforme de actividad en el área de estudio. Además, el resultado entregado por el modelo agregado debe ser modificado según el comportamiento de los vehículos, las restricciones físicas y legales en el área de estudio. Finalmente, para lograr su inclusión en un plan de movilidad, también debe ser adaptado según los objetivos y consensos que se generen como parte de este tipo proyecto urbano. Para resolver estos aspectos se propuso un modelo integral de bahías, el que entrega las ubicaciones factibles en el contexto de un plan de movilidad, y para determinar el número necesario de bahías se utilizó el modelo hipercubo de colas (Larson, 1974). En este caso es necesario que el sistema no posea sobresaturación local y agregada. Sin embargo, dada la calidad de los datos y el costo de la resolución exacta (Larson y Odoni, 2007), para este proceso se utilizó la aproximación del modelo hipercubo (Larson, 1975). Con esta aproximación se analizaron distintos escenarios con el fin de evaluar cómo responden distintas configuraciones de bahías a los procesos logísticos de la zona y así encontrar aquella solución que cumpla con los objetivos. La principal contribución de esta tesis es este esquema metodológico replicable por distintos centros urbanos y sus autoridades. El cual permite, gracias al uso del modelo hipercubo y su aproximación, continuar evaluando y perfeccionando la localización de lugares de carga y descarga. Es decir, la tesis entrega una herramienta para incorporar la logística urbana, a través de bahías de carga y descarga, en un plan de movilidad.

En consecuencia con la metodología desarrollada, este esquema entrega dos resultados de localización según el modelo utilizado. Sin embargo, ambas propuestas podrían diferir entre ellos, debido a los supuestos del modelo agregado y a los consensos requeridos por el plan de movilidad. Esta situación es una de las enseñanzas más relevantes del proceso, la cual deriva principalmente de los resultados del caso de estudio.

Específicamente, la metodología propuesta fue aplicada para el caso del centro histórico de Santiago y su Plan Integral de Movilidad. La diferencia observada entre

los resultados de los modelos agregado e integral resulta ser significativa, ya que el primero de ellos, en muchos casos, podría ser deficiente al no incorporar el comportamiento usual de los usuarios o porque podría poseer supuestos poco válidos, en contraste con el segundo modelo. Por ejemplo, el modelo integral demostró que debido a la distribución espacial de la demanda y de las posibles bahías se necesitaba una mayor cantidad que las predichas por el modelo agregado original. Para el caso de Santiago, la formulación agregada cuantificó en 90 las bahías requeridas para suplir con la demanda de la zona, e indicaba que una distribución de aproximadamente una bahía por cuadra podría cumplir con estos requerimientos. Al comparar la solución obtenida de 90 bahías en el modelo integral con el modelo agregado, los resultados fueron similares en términos del tiempo de espera en cola y de camiones en esta situación. Sin embargo, el modelo integral mostró que, para la misma cantidad de bahías, aún existen zonas con sobresaturación para catorce de las treinta cuadras. Esto ocurre debido a que el caso agregado no observa la congestión local, dado a que asume una demanda homogénea en el área, que también se distribuye equitativamente entre las bahías. Considerando las realidades de los procesos de distribución urbana, este supuesto podría ser poco realista, dado que en la práctica los locales, y por lo tanto la demanda, no están distribuidos homogéneamente, pero también los camiones buscan bahías cercanas a su destino final, por lo que no utilizan cualquier bahía disponible.

Por otro lado, al incorporar soluciones a un plan de movilidad es probable que el esquema final difiera de la propuesta original. Como se expone en este caso, al incluir este tipo de soluciones en un plan movilidad urbano se requiere llegar a consensos con otros actores involucrados en el proyecto urbano. Estos concesos generan algunas de las diferencias entre ambos modelos, principalmente debido a que no todas las ubicaciones disponibles resultaron ser factibles dados los objetivos y proyectos del plan. Por ejemplo, si el plan de movilidad incluye una ciclovía, es lógico que esta vía no podrá contener bahías de carga y descarga. Finalmente, al considerar la heterogeneidad tanto de la demanda como de las ubicaciones factibles

y aplicar la evaluación espacial del esquema integral, se obtiene como resultado una distribución de 137 bahías en 29 cuadras. A pesar de la alta diferencia obtenida para la cantidad de bahías, el uso del modelo agregado continúa siendo recomendable como punto de partida, pero es importante considerar la distribución de la demanda al momento de ir mejorando la propuesta hacia el modelo integral de bahías.

Finalmente, el caso de estudio en sí mismo corresponde una guía para que otros centros urbanos puedan seguir su ejemplo y lograr incluir a la logística dentro de sus planes de movilidad urbana y en concordancia con los objetivos y visiones de una ciudad integral.

## 5.2. Extensiones

Por supuesto, aún se puede continuar perfeccionando el esquema de obtención de cada uno de los modelos aquí propuestos. Un primer elemento a considerar es la calidad de los datos obtenidos, dado que es posible mejorar los procesos de obtención de información como ubicación y entregas por hora de cada local. Esto podría mejorar la capacidad predictiva de los modelos propuestos que utilizan como parámetros las tasas de llegada.

Una posible extensión a este análisis es utilizar una formulación más general para los procesos que involucren teoría de colas, tanto del análisis agregado como integral. En esta propuesta, los procesos de llegada y de servicio fueron supuestos bajo una distribución markoviana, con modelo M/M/K para cada caso. Sin embargo, las operaciones por hora como el uso de las bahías podrían estar definidos por una distribución general, lo que podría requerir un análisis bajo un sistema M/G/K o hasta G/G/K, especialmente para el modelo agregado de la zona. Pese a ello, un sistema con mayor variabilidad implica mayores tiempos de espera, por lo que el análisis desarrollado representa un caso desfavorable frente a otros con menor variabilidad. De manera complementaria, tanto para el modelo agregado como el modelo integral, podría evaluarse otras distribuciones de tiempo entre llegadas y tiempo de servicio. En el caso de los tiempos entre llegadas o proceso de llegadas

se podría considerar como procesos dependientes del tiempo. Por su parte, si un camión debe realizar múltiples viajes para servir a un mismo local o entrega a varios establecimientos simultáneamente, su tiempo de servicio sería distinto al de un camión que estaciona para realizar carga y descarga a un solo local. En consecuencia, una posible extensión es modificar los tiempos de servicio, por ejemplo, utilizando una distribución de tipo Erlang, o un modelo cuya distribución de tiempos de servicio dependa de la cantidad de viajes o de la distancia recorrida para realizar las entregas, o sino alguna otra forma de incorporar esta dependencia al modelo de teoría de colas o de localización.

El modelo integral propuesto permite evaluar las demoras para distintas configuraciones del sistema. Aprovechando esta característica, se podría desarrollar un algoritmo de optimización para encontrar el número de bahías concordante con los criterios establecidos, y según los aspectos definidos por la autoridad del plan de movilidad.

Con respecto a la modelación, otra posible extensión sería analizar como un problema de *set covering* al sistema de espera. En esta tesis, el modelo agregado define una cantidad de bahías y luego las localiza, pero también podría evaluarse el sistema donde se busca cubrir a ciertos locales comerciales y a partir de esta restricción se define la cantidad de bahías, considerando las restricciones del sistema. La comparación de ambos esquemas de modelación sería interesante, para poder definir cuál de ellos funciona mejor según el problema específico de cada centro urbano.

Con respecto a la situación del centro histórico de Santiago y en consecuencia con los análisis desarrollados, algunas medidas complementarias podrían ser analizadas. En primer lugar, el análisis de sensibilidad de la tasa de servicio indica la importancia del tiempo de estadía en cada bahía. Por lo mismo, es importante encontrar un sistema que permita una alta productividad y rotación de las bahías. Por un lado, analizar cómo poder realizar de manera eficiente los procesos de carga y descarga, por ejemplo, con programas de capacitación o manuales de buenas

prácticas para los transportistas. Mientras que, por otro lado, se requiere algún sistema de fiscalización y/o cobro que asegure que los camiones no estén estacionados todo el día en las bahías como también que vehículos que no realizan carga y descarga utilicen esta infraestructura con otros propósitos. En segundo lugar, el análisis de cobertura y satisfacción de la demanda muestra que existe una zona conflictiva conformada por paseos peatonales y ejes con prioridad para el transporte público. Por esta razón, es lógico pensar en alguna medida complementaria para esta zona. Por ejemplo, utilizar bahías como centros de transbordos a otros vehículos de carga que puedan acceder a este tipo de vías, cómo bicicletas y triciclos, lo cual permitiría cubrir más terreno y responder a la demanda en la zona de mejor manera. En último lugar, también se debe analizar cómo trabajar con la demanda para evitar periodos punta que condensen muchas operaciones en algún momento del día. Una propuesta interesante son los sistemas de estacionamientos inteligentes (expuestos en el Anexo A). Por ejemplo, un sistema con reserva en línea de bahías, permite una mayor coordinación entre vehículos y así evita la sobredemanda existente en algunos periodos, lo cual podría significar una disminución de los estacionamientos ilegales como las externalidades del sistema (Technical Committee B.4 Freight transport and intermodality, 2012). Sin embargo, como se expuso en la sección 4.3.2, otras medidas complementarias fueron planteadas a la mesa técnica, entre ellas el uso de vehículos ecológicos, la cual podría apuntar a solucionar algunas de estas problemáticas

Finalmente, aplicar este esquema propuesto a otros centros urbanos podría entregar otros aspectos para continuar perfeccionando esta herramienta. La realidad del centro de Santiago es distinta que la de otros centros urbanos, incluso nacionales, por lo que aún podrían existir aspectos que no se han considerado aún en este proceso. Sin embargo, el esquema ha demostrado ser capaz de responder a lo buscado: ser una herramienta útil, que entregue tanto un punto de partida, pero que, a su vez, permita evaluar posibles adaptaciones llevadas en el contexto de la movilidad integral.

**BIBLIOGRAFIA**

Abel, H., & Karrer, R. (2006). *Best Urban Freight Solutions: Best Practice Handbook. BESTUFS - Deliverable D 2.2.*

Alho, A. R., & de Abreu e Silva, J. (2014). Analyzing the relation between land-use/urban freight operations and the need for dedicated infrastructure/enforcement - Application to the city of Lisbon. *Research in Transportation Business and Management*, 11, 85–97. <http://doi.org/10.1016/j.rtbm.2014.05.002>

Alho, A. R., Lee, Y. J., de Abreu e Silva, J., Blanco, E. E., & Zegras, C. (2015). Freight Trip Generation in urban contexts: a comparison between Lisbon (PT) and Singapore (SG). Cambridge: 14th International Conference on Computer in Urban Planning and Urban Management.

Alho, A. R., Silva, J. de A. e, & Sousa, J. P. de. (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. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.069>

Allen, J., Browne, M., Woodburn, A. G., & Leonardi, J. (2012). The role of urban consolidation centres in sustainable freight transport, (September 2015). <http://doi.org/10.1080/01441647.2012.688074>

Anand, N., Quak, H., van Duin, R., & Tavasszy, L. (2012). City Logistics Modeling Efforts: Trends and Gaps - A Review. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 39, 101–115. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.094>

Anderson, S., Allen, J., & Browne, M. (2005). Urban logistics - How can it meet policy makers' sustainability objectives? *Journal of Transport Geography*, 13(1 SPEC. ISS.), 71–81. <http://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2004.11.002>

Área Soluciones de Movilidad de DICTUC S.A. – Ingeniería. (2013). *Mediciones de Aforos de Tráfico y Perfiles de Carga en Servicios Troncales en el Gran Santiago - Informe Final.*

- Atkinson, J. B., Kovalenko, I. N., Kuznetsov, N., & Mykhalevych, K. V. (2008). A hypercube queueing loss model with customer-dependent service rates. *European Journal of Operational Research*, *191*(1), 221–237. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.08.014>
- Ballantyne, E. E. F., & Lindholm, M. (2014). Identifying the Need for Freight to be Included in Local Authority Transport Planning. In J. Gonzalez-Feliu, F. Semet, & J. Routhier (Eds.), *Sustainable Urban Logistics: Concepts, Methods and Information Systems* (pp. 37–48). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. [http://doi.org/10.1007/978-3-642-31788-0\\_3](http://doi.org/10.1007/978-3-642-31788-0_3)
- Ballantyne, E. E. F., Lindholm, M., & Whiteing, A. (2013). A comparative study of urban freight transport planning: Addressing stakeholder needs. *Journal of Transport Geography*, *32*, 93–101. <http://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2013.08.013>
- Berman, O., Larson, R. C., & Chiu, S. S. (1985). Optimal server location on a network operating as an M/G/1 queue. *Operations Research*, *33*, 746–771.
- Blanco, E. E., Ponce, E., Alho, A. R., Lee, Y. J., & Merchán, D. E. (2014). Urban Freight in Centro Santiago – Preliminary Assessment. MIT Megacity Logistics Lab.
- Boyaci, B., & Geroliminis, N. (2011). Extended Hypercube Models for Large Scale Spatial Queueing Systems. *Swiss Transport Research Conference*, (May).
- Boyaci, B., & Geroliminis, N. (2014). Hypercube queueing models for emergency response systems. *Swiss Transport Research Conference*, (May), 2–4.
- Browne, M., Allen, J., Nemoto, T., Patier, D., & Visser, J. (2012). Reducing social and environmental impacts of urban freight transport: a review of some major cities. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *39*, 19–33. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.088>
- Browne, M., Woodburn, A. G., & Allen, J. (2007). Evaluating the potential for urban consolidation centres, *35*, 46–63. Retrieved from <http://westminsterresearch.wmin.ac.uk/5160/>
- Church, R. L., & ReVelle, C. (1974). The maximal covering location problem. *Papers in Regional Science Association*, *32*(3), 101–118. <http://doi.org/10.1007/BF01434264>

- Church, R. L., & Roberts, K. L. (1983). Generalized coverage models and public facility location. *Papers in Regional Science*, 53(1), 117–135. <http://doi.org/10.1111/j.1435-5597.1983.tb00807.x>
- Cuevas, A., & Giesen, R. (2015). Movimiento de Cargas En Santiago Centro: Factores y Posibles Soluciones a la Situación Actual. Concepción, Chile: XVII Congreso Chileno de Ingeniería en Transporte.
- Cuevas, A., Giesen, R., & Muñoz, J. C. (2013). Revisión Crítica a Políticas de Logística Urbana Sustentable. Santiago, Chile: XVI Congreso Chileno de Ingeniería en Transporte.
- Cuevas, A., Merchán, D. E., Winkenbach, M., Giesen, R., & Blanco, E. E. (2016). A Methodology for Sizing and Locating Delivery Bays in Retail-Intense Urban Districts: Application for Santiago's CBD. *Journal of Urban Planning and Development*, (submitted).
- Dablanc, L. (2007). Goods transport in large European cities: Difficult to organize, difficult to modernize. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(3), 280–285. <http://doi.org/10.1016/j.tra.2006.05.005>
- Dablanc, L. (2008). Urban Goods Movement and Air Quality Policy and Regulation Issues in European Cities. *Journal of Environmental Law*, 20(2), 245–266. <http://doi.org/10.1093/jel/eqn005>
- Dablanc, L., Giuliano, G., Holliday, K., & O'Brien, T. (2013). Best Practices in Urban Freight Management: Lessons from an International Survey. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2379), pp 29–38. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00854997>
- Daskin, M. S. (1982). Application of an expected covering model to emergency medical service system design. *Decision Sciences*, 13, 416–439.
- Daskin, M. S., Hogan, K., & ReVelle, C. (1988). Integration of multiple, excess, backup, and expected covering models. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 15, 15–35.

Daskin, M. S., & Stern, E. H. (1981). A hierarchical objective set covering model for emergency medical service vehicle deployment. *Transportation Science*, 15, 137–152.

De Brucker, K., MacHaris, C., & Verbeke, A. (2013). Multi-criteria analysis and the resolution of sustainable development dilemmas: A stakeholder management approach. *European Journal of Operational Research*, 224(1), 122–131. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.02.021>

Decreto Alcaldicio, Sección 2a N°1.476, 10/07/2013. (n.d.). Decreto Alcaldicion, Dirección de Tránsito y Transporte Público de la Municipalidad de Santiago.

Delaitre, L. (2009). A new approach to diagnose urban delivery areas plans. *2009 International Conference on Computers & Industrial Engineering*, 991–998. <http://doi.org/10.1109/ICCIE.2009.5223953>

Dezi, G., Dondi, G., & Sangiorgi, C. (2010). Urban freight transport in Bologna: Planning commercial vehicle loading/unloading zones. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2(3), 5990–6001. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.04.013>

División de Desarrollo Logístico - Unidad de Transporte por Camión. (2015a). Encuesta a Generadores de Carga. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.

División de Desarrollo Logístico - Unidad de Transporte por Camión. (2015b). Implementación Etapa 1 “Plan Centro Santiago”, Propuesta de Mejoras para Operaciones de Carga y Descarga. Presentación, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.

Domínguez, A., Holguín-Veras, J., Ibeas, Á., & dell’Olio, L. (2012). Receivers’ Response to New Urban Freight Policies. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 54, 886–896. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.804>

European Commission. (2013). A Concept for Sustainable Urban Mobility Plans - Annex to the Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, 1–5.

Freeman, R. (2004). The Stakeholder Approach Revisited. *Zeitschrift Für Wirtschafts- Und Unternehmensethik (ZFWU)*, 1(1), 242–254.

- Galvão, R. D., & Morabito, R. (2008). Emergency service systems : The use of the hypercube queueing model in the solution of probabilistic location problems. *International Transactions in Operational Research*, *15*, 525–549.
- Goldman, T., & Gorham, R. (2006). Sustainable urban transport: Four innovative directions. *Technology in Society*, *28*(1–2), 261–273. <http://doi.org/10.1016/j.techsoc.2005.10.007>
- Grosso, R., Muñuzuri, J., Cortes, P., & Carrillo, J. (2014). City logistics: Are sustainability policies really sustainable? *Direccion Y Organizacion*, *53*(JULY), 45–50.
- Hakimi, S. . (1964). Optimal location of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. *Operations Research*, *12*, 450–459.
- Hicks, S. (1977). Urban freight. In D. A. Hensher (Ed.), *Urban transport economics*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Holguín-Veras, J., Ban, J., Jaller, M., Destro, L., & Marquis, R. (2010). Feasibility study for freight data collection. *New York Metropolitan Transportation Council*, *1*, 231.
- Holguín-Veras, J., & Jaller, M. (2014). Comprehensive Freight Demanda Data Collection Framework for Large Urban Areas. In J. Gonzalez-Feliu (Ed.), *Sustainable Urban Logistics: Concepts, Methods and Information Systems* (pp. 91–112). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. [http://doi.org/10.1007/978-3-642-31788-0\\_6](http://doi.org/10.1007/978-3-642-31788-0_6)
- Holguín-Veras, J., Ozbay, K., Kornhauser, A., Ukkusuri, S., Brom, M., Iyer, S., ... Silas, M. (2012). Overall Impacts of Off-Hour Delivery Programs in the New York City Metropolitan Area: Lessons for European Cities. *Association for European Transport*, 1–17.
- Holguín-Veras, J., Wang, C., Browne, M., Darville Hodge, S., & Wojtowicz, J. (2014). The New York City Off-hour Delivery Project: Lessons for City Logistics. *Procedia-Social and ...*, *125*, 36–48. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.1454>
- Holmes, J., Williams, F., & Brown, L. (1972). Facility location under maximum travel restriction: An example using day care facilities. *Geographical Analysis*, *4*, 258–266.

- Ilustre Municipalidad de Santiago. (2015a). Maestro Patentes Santiago.
- Ilustre Municipalidad de Santiago. (2015b). Plan Integral de Movilidad – Comuna de Santiago.
- Instituto Nacional de Estadísticas – INE. (2015). *Compendio Estadístico 2015*.
- Larson, R. C. (1973). A hypercube queuing model for facility location and redistricting in urban emergency services.
- Larson, R. C. (1975). Approximating the Performance of Urban Emergency Service Systems. *Operations Research*, 23(5), 845–868. <http://doi.org/10.1287/opre.23.5.845>
- Larson, R. C., & Odoni, A. R. (2007). *Urban Operations Research* (2nd ed.). Belmont, Massachusetts: Dynamic Ideas.
- Leonardi, J., Browne, M., Allen, J., Bohne, S., & Ruesch, M. (2014). Best Practice Factory for Freight Transport in Europe: Demonstrating how “Good” Urban Freight Cases are Improving Business Profit and Public Sectors Benefits. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 125, 84–98. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.1458>
- Lindholm, M. (2012). How Local Authority Decision Makers Address Freight Transport in the Urban Area. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 39, 134–145. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.096>
- Lindholm, M. (2013). Urban freight transport from a local authority perspective – a literature review. *European Transport \ Trasporti Europei*, (54), 1–37. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10077/8869>
- Lindholm, M., & Blinge, M. (2014). Assessing knowledge and awareness of the sustainable urban freight transport among Swedish local authority policy planners. *Transport Policy*, 32, 124–131. <http://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.01.004>
- Marianov, V. (2003). Location of Multiple-Server Congestible Facilities for Maximizing Expected Demand, when Services are Non-Essential. *Annals of Operations Research*, 123(1–4), 125–141. <http://doi.org/10.1023/A:1026171212594>

- Marianov, V., & Serra, D. (1998). Probabilistic maximal covering location-allocation models for congested systems. *Journal of Regional Science*, 38(3), 401–424.
- Marianov, V., & Serra, D. (2001). Hierarchical location-allocation models for congested systems. *European Journal of Operational Research*, 135(1), 195–208. [http://doi.org/10.1016/S0377-2217\(00\)00314-3](http://doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00314-3)
- Marianov, V., & Serra, D. (2011). Median problems in networks. In H. A. Eiselt & V. Marianov (Eds.), *Foundations of Location Analysis* (pp. 39–59). Springer US. [http://doi.org/10.1007/978-1-4419-7572-0\\_3](http://doi.org/10.1007/978-1-4419-7572-0_3)
- Marinov, M., Zunder, T., & Islam, D. Z. (2008). Urban Freight Consolidation Concepts : Is There Something Missing. *Transport Problems*, 87–94.
- Merchán, D. E. (2014). KM2 Santiago Stores Types and Locations (v2). Data Base.
- Merchán, D. E., Blanco, E. E., & Bateman, A. H. (2015). Urban Metrics for Urban Logistics: Building an Atlas for Urban Freight Policy Makers (pp. 1–15). 14th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management (CUPUM).
- Muñuzuri, J., Cortés, P., Grosso, R., & Guadix, J. (2012). Selecting the location of minihubs for freight delivery in congested downtown areas. *Journal of Computational Science*, 3(4), 228–237. <http://doi.org/10.1016/j.jocs.2011.12.002>
- Muñuzuri, J., Cortés, P., Guadix, J., & Onieva, L. (2012). City logistics in Spain: Why it might never work. *Cities*, 29(2), 133–141. <http://doi.org/10.1016/j.cities.2011.03.004>
- Muñuzuri, J., Larrañeta, J., Onieva, L., & Cortés, P. (2005). Solutions applicable by local administrations for urban logistics improvement. *Cities*, 22(1), 15–28. <http://doi.org/10.1016/j.cities.2004.10.003>
- Muñuzuri, J., Onieva, L., Cortés, P., & Guadix, J. (2016). Stakeholder Segmentation: Different Views Inside the Carriers Group. *Transportation Research Procedia*, 12(July), 93–104. <http://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.050>

- Nourinejad, M., Wenneman, A., Habib, K. N., & Roorda, M. J. (2014). Truck parking in urban areas: Application of choice modelling within traffic microsimulation. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 64, 54–64. <http://doi.org/10.1016/j.tra.2014.03.006>
- OECD. (2003). *Delivering the goods - 21st century challenges to urban goods transport*. Paris, France: OECD.
- Ogden, K. W. (1992). *Urban goods movement: A guide to policy and planning*. USA: Ashgate Publishing Company.
- Ordenanza Municipal N°79, 10/09/1998. (n.d.). Dirección de Tránsito y Transporte Público de la Municipalidad de Santiago.
- ReVelle, C., & Hogan, K. (1989). The maximum availability location problem. *Transportation Science*, 23(3), 192–200. <http://doi.org/10.1287/trsc.23.3.192>
- ReVelle, C., & Swain, R. (1970). Central facilities location. *Geographical Analysis*, 2, 30–42.
- Rodrigue, J.-P. (2013). Chapter 4: Urban Goods Transport. In *Planning and Design for Sustainable Urban Mobility* (pp. 57–73).
- Russo, F., & Comi, A. (2011). Measures for Sustainable Freight Transportation at Urban Scale: Expected Goals and Tested Results in Europe. *Journal of Urban Planning and Development*, 137(2), 142–152. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000052](http://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000052)
- Schrank, D., Eisele, B., Lomax, T., & Bak, J. (2015). *2015 Urban Mobility Scorecard*. Texas A&M Transportation Institute. Retrieved from <http://mobility.tamu.edu/ums/report/>
- Snyder, L. V. (2011). Covering problems. In H. A. Eiselt & V. Marianov (Eds.), *Foundations of Location Analysis* (pp. 109–135). Springer US. [http://doi.org/10.1007/978-1-4419-7572-0\\_6](http://doi.org/10.1007/978-1-4419-7572-0_6)
- Storbeck, J. E. (1982). Slack, natural slack and location covering. *Socioeconomic Planning Sciences*, 16(3), 99–105.

Subsecretaría de Transportes. (2009). *Análisis de Regulaciones Sobre el Transporte de Carga Urbano y Su Impacto en la Cadena Logística*.

Technical Committee B.4 Freight transport and intermodality. (2012). *Gobernanza del sector público sobre el transporte urbano de carga*. World Road Association (PIARC).

Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C., & Bergman, L. (1971). The location of emergency service facilities. *Operations Research*, 19, 1363–1373.

UK Round Table on Sustainable Development. (1996). *Defining a sustainable transport sector*.

Wenneman, A., Habib, K. N., & Roorda, M. J. (2015). A Disaggregate Analysis of the Relationships between Commercial Vehicle Parking Citations, Parking Supply, and Parking Demand. *TRB Submission*.

Witkowski, J., & Kiba-Janiak, M. (2014). The Role of Local Governments in the Development of City Logistics. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 125, 373–385. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.1481>

World Bank. (2016). Urban Development Overview. Retrieved from <http://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview>

**ANEXOS**

## ANEXO A: OTRAS SOLUCIONES DE LOGÍSTICA URBANA

Tabla A.A-1: Otras soluciones de logística urbana basados en Cuevas *et al.* (2013)

| Política                                  | Clasificación   | Descripción   | Autores  | Dimensiones Afectadas            |
|---|---|---|--|----------------------------------|
| Vías Exclusivas                           | Que apuntan a mejorar la Eficiencia   | Uso de vías exclusivas para el transporte de carga o uso compartido de vías para transporte público.  | Leonardi <i>et al.</i> , 2014; Russo y Comi, 2011  | Económica<br>Social              |
| Sistemas de Estacionamientos Inteligentes | Que apuntan a mejorar la Eficiencia   | Uso de sistemas de información para coordinar la utilización y reserva de estacionamientos o bahías de carga y descarga.                    | Technical Committee B.4 Freight transport and intermodality, 2012  | Económica                        |
| Uso de Tecnologías de Información (IST)   | Que apuntan a mejorar la Eficiencia   | Uso de estas tecnologías para mejorar distintas etapas de la logística urbana para distintos actores del proceso.                           | Browne <i>et al.</i> , 2012; Dablanc <i>et al.</i> , 2013; Grosso, Muñuzuri, Cortes, y Carrillo, 2014; Leonardi <i>et al.</i> , 2014; Russo y Comi, 2011 | Económica<br>Ambiental<br>Social |
| Perfeccionamiento Técnico de los Actores  | Que apuntan a mejorar la Eficiencia   | Capacitaciones enfocadas en las necesidades y características de cada actor del sistema logístico.  | Russo y Comi, 2011   | Económica<br>Ambiental<br>Social |
| Buenas Practicas                          | Que apuntan a mejorar la Eficiencia   | Interacción entre los actores y aceptación de acuerdos o prácticas en cada país o ciudad, para su posterior agrupación en manuales o actas. | Browne <i>et al.</i> , 2012; Dablanc <i>et al.</i> , 2013; Muñuzuri, Cortés, Guadix, <i>et al.</i> , 2012; Russo y Comi, 2011                            | Económica<br>Ambiental<br>Social |
| Tarificación Vial                         | Basadas en incentivos económicos para disminuir externalidades del transporte | Pago diferenciado o extra de los vehículos de carga según los costos sociales que generen.  | Anderson <i>et al.</i> , 2005; Browne <i>et al.</i> , 2012; Goldman y Gorham, 2006; Russo y Comi, 2011; Subsecretaría de Transportes, 2009               | Económica<br>Ambiental<br>Social |

## ANEXO B: PREGUNTAS ENCUESTA



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CHILE



Ingeniería UC

**Datos generales:**

Nombre \_\_\_\_\_

Dirección \_\_\_\_\_

Persona de Contacto \_\_\_\_\_

Entrevistador \_\_\_\_\_

Fecha Entrevista \_\_\_\_\_

Local de Cadena  \_\_\_\_\_

**Horario de Atención del Local:**

Lun a \_\_\_\_\_

Vie \_\_\_\_\_

Sáb \_\_\_\_\_

Dom y \_\_\_\_\_

Fest \_\_\_\_\_

**Seleccionar Tipo de Comercio:**

|          |   |
|----------|---|
| <b>A</b> | Local de abarrotes (minimarket, verdulería, confitería, etc.)                             |
| <b>B</b> | Tienda de conveniencia (Big John, OK Market, etc.)  |
| <b>C</b> | Supermercado (Lider, Unimarc, etc.)   |
| <b>D</b> | Tienda de vestuario y calzado (sin considerar Grandes Tiendas)                            |
| <b>E</b> | Hospedaje (Hotel, motel, residencial, hostel, etc.)                                       |
| <b>F</b> | Alimentación (restaurant, fuente de soda, cafetería, comida rápida, etc.)                 |
| <b>G</b> | Farmacia  |
| <b>H</b> | Artículos de escritorio y oficina   |
| <b>I</b> | Centro de educación (colegio, instituto, universidad, centro de formación, técnica, etc.) |
| <b>J</b> | Centro comercial  |
| <b>K</b> | Banco   |
| <b>L</b> | Kiosco (en este caso, indicar de qué es el kiosco: confites, comida, ropa, etc.)          |
| <b>M</b> | Otros Valores (casas de cambio, casas de apuestas)  |
| <b>N</b> | Venta al por Mayor  |
| <b>O</b> | Grandes Tiendas (Ripley, Hites, Paris, etc.)  |
| <b>P</b> | Estación de servicio (combustibles)   |
| <b>Q</b> | Otro (en este caso, indicar de qué es el comercio)  |

Figura A.B-1: Encuesta a locales - Datos Generales

|  |                          |
|--|--------------------------|
| <b>¿Tiene algún bodega para almacenar productos? Si posee, ¿cuál es el porcentaje de la superficie que representa la bodega?</b> |                          |
| Si   | <input type="checkbox"/> |
| No   | <input type="checkbox"/> |
| <b>¿Tienen un sistema de manejo de inventario?</b>   |                          |
| ERP  | <input type="checkbox"/> |
| Software   | <input type="checkbox"/> |
| Manual   | <input type="checkbox"/> |
| Otro (especificar)   | <input type="checkbox"/> |
| <b>¿Está pensando cambiar su sistema de inventario?</b>  |                          |
| Si, actualizarlo   | <input type="checkbox"/> |
| Si, cambiarlo  | <input type="checkbox"/> |
| No   | <input type="checkbox"/> |
| <b>¿Cómo envía los datos del pedido de productos al proveedor? (Guía de despacho, orden de compra)</b>                           |                          |
| Computador   | <input type="checkbox"/> |
| Teléfono/fax   | <input type="checkbox"/> |
| En persona   | <input type="checkbox"/> |
| Otro (especificar)   | <input type="checkbox"/> |
| <b>¿Cuánto se demora el proveedor desde que hace el pedido hasta su entrega?</b>   |                          |
| De un día para otro  | <input type="checkbox"/> |
| Otro caso  | <input type="checkbox"/> |
| <b>¿Comparte información sobre las ventas con proveedores?</b>   |                          |
| Sí, de manera automática   | <input type="checkbox"/> |
| Sí, otra manera  | <input type="checkbox"/> |
| No   | <input type="checkbox"/> |
| <b>¿Cuál son los productos más vendidos durante la semana? (Top 2 - Tipo de Productos)</b>                                       |                          |
| <input type="text"/>   |                          |
| <input type="text"/>   |                          |
| <b>¿Qué productos representan la mayor parte del inventario (uso de espacio)? ¿Están en bodega o en sala?</b>                    |                          |
| <input type="text"/>   |                          |
| <input type="text"/>   |                          |
| <b>¿Cómo decide el tamaño de los pedidos?</b>  |                          |
| Reponer las ventas (cumplir demanda)   | <input type="checkbox"/> |
| Aprovechar descuentos por cantidad de productos  | <input type="checkbox"/> |
| Tamaño fijo de pedido  | <input type="checkbox"/> |
| Minimizar el inventario  | <input type="checkbox"/> |
| Minimizar las entregas   | <input type="checkbox"/> |
| <b>¿Son frecuentes los quiebres de inventario durante una semana?</b>  |                          |
| <input type="text"/>   |                          |
| <b>En general, ¿la entrega de productos es puntual o existen demoras?</b>  |                          |
| No tenemos horario fijo  | <input type="checkbox"/> |
| Sí, en general es puntual  | <input type="checkbox"/> |
| No, en general tenemos la siguiente demora promedio  | <input type="checkbox"/> |
| <b>¿Quién (posición en la empresa) toma la decisión de realizar pedidos?</b>   |                          |
| Jefe de Local  | <input type="checkbox"/> |
| Dueño  | <input type="checkbox"/> |
| Otro   | <input type="checkbox"/> |
| <b>Para los locales de cadenas, ¿intentan reducir sus entregas? ¿Cómo?</b>   |                          |
| Si lo intentamos   | <input type="checkbox"/> |
| Ahora no, pero esperamos a futuro  | <input type="checkbox"/> |
| No hemos intentado   | <input type="checkbox"/> |
| No es posible  | <input type="checkbox"/> |

Figura A.B-2: Encuesta a locales - Preguntas de inventario

| Frecuencia de abastecimiento de mercadería |         |
|--|---------|
| Día  | Horario |
| Lunes                                      |         |
| Martes                                     |         |
| Miercoles                                  |         |
| Jueves                                     |         |
| Viernes                                    |         |
| Sabado                                     |         |
| Domingo                                    |         |

|                            |                          |  |
|----------------------------|--------------------------|--|
| Mañana                     | <input type="checkbox"/> |  |
| Tarde                      | <input type="checkbox"/> |  |
| Sin horario fijo           | <input type="checkbox"/> |  |
| Otra frecuencia de entrega | <input type="checkbox"/> |  |

**Modo de llegada de la carga (tipo de vehículo(s) del proceso)**

|           |                          |  |
|-----------|--------------------------|--|
| Yegua     | <input type="checkbox"/> |  |
| Camión    | <input type="checkbox"/> |  |
| Camioneta | <input type="checkbox"/> |  |
| Auto      | <input type="checkbox"/> |  |
| Otro      | <input type="checkbox"/> |  |

Si los productos llegan en algún vehículo motorizado, ¿sabe dónde estaciona?  
(Si es así, indicar dirección aproximada)

\_\_\_\_\_

¿Cuántos proveedores tienes? Nombrar los Principales (4 máximo)

Proveedores: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

¿Quién esta a cargo del transporte de los productos?

|                            |                          |  |
|----------------------------|--------------------------|--|
| Depende del Proveedor      | <input type="checkbox"/> |  |
| Transportista (¿cuál(es)?) | <input type="checkbox"/> |  |
| Propios vehículos          | <input type="checkbox"/> |  |
| No sabe                    | <input type="checkbox"/> |  |
| Otro                       | <input type="checkbox"/> |  |

¿Sabe qué tipo de ruta hace su proveedor?

|                   |                          |  |
|-------------------|--------------------------|--|
| Solamente a usted | <input type="checkbox"/> |  |
| Varios Locales    | <input type="checkbox"/> |  |
| Sin Información   | <input type="checkbox"/> |  |

Para locales de cadenas: Si los productos llegan en algún vehículo motorizado, ¿sabe cuál es la utilización promedio de los vehículos?

|                    |                          |  |
|--------------------|--------------------------|--|
| Sí, y es:          | <input type="checkbox"/> |  |
| No sé              | <input type="checkbox"/> |  |
| No veo al vehículo | <input type="checkbox"/> |  |

Figura A.B-3: Encuesta a locales - Preguntas de carga y descarga

**¿Qué problema experimenta normalmente en el proceso de carga y descarga?**

\_\_\_\_\_

**¿Qué factores determinan su disponibilidad horaria para recibir carga? ¿Cree que es posible flexibilizarlo? ¿Porqué si o no? ¿Estaría dispuesto a recibir carga nocturna?**

Mientras el local este abierto

Podría en la noche

No puedo flexibilizar

Otro

**Considerando la llegada de productos y su transporte, ¿qué es más importante para usted? (Ranear alternativas)**

Puntualidad

Calidad de los Productos

Costo

Visibilidad del Proceso

Distancia del Camión

Otros

**Tomando en cuenta que los camiones generan un impacto negativo en la sociedad (congestión, contaminación, ruido, etc.), estaría dispuesto a:**

**a) A aumentar el tamaño de sus pedidos y recibir entregas menos veces a la semana y así contaminar menos, pero necesitando mas espacio en su local para guardar productos?**

Si

No

No sé

Ya lo hacemos

**b) A exigir que los camiones que traen sus productos cumplan con un estandar de emisiones, aunque esto implique un aumento de sus costos?**

Si

No

No sé

Ya lo hacemos

**c) A coordinarse con vecinos para pedir productos el mismo día y así el proveedor puede realizar menos viajes, aunque los productos no le lleguen a la hora habitual?**

Si

No

No sé

Ya lo hacemos

**d) ¿Estaría dispuesto a almacenar sus productos en un centro municipal?**

Si, en cualquier caso

Si, dependiendo del costo

Quizás (otra razón)

No

**Comentarios y Observaciones:**

\_\_\_\_\_

Figura A.B-4: Encuesta a locales - Otras preguntas

### ANEXO C: DISTRIBUCIÓN POR BLOQUES DE LA ZONA

Utilizando solo las cuadras para las cuales se tenía información de locales, se obtiene la siguiente distribución de bloques para el modelo hipercubo:

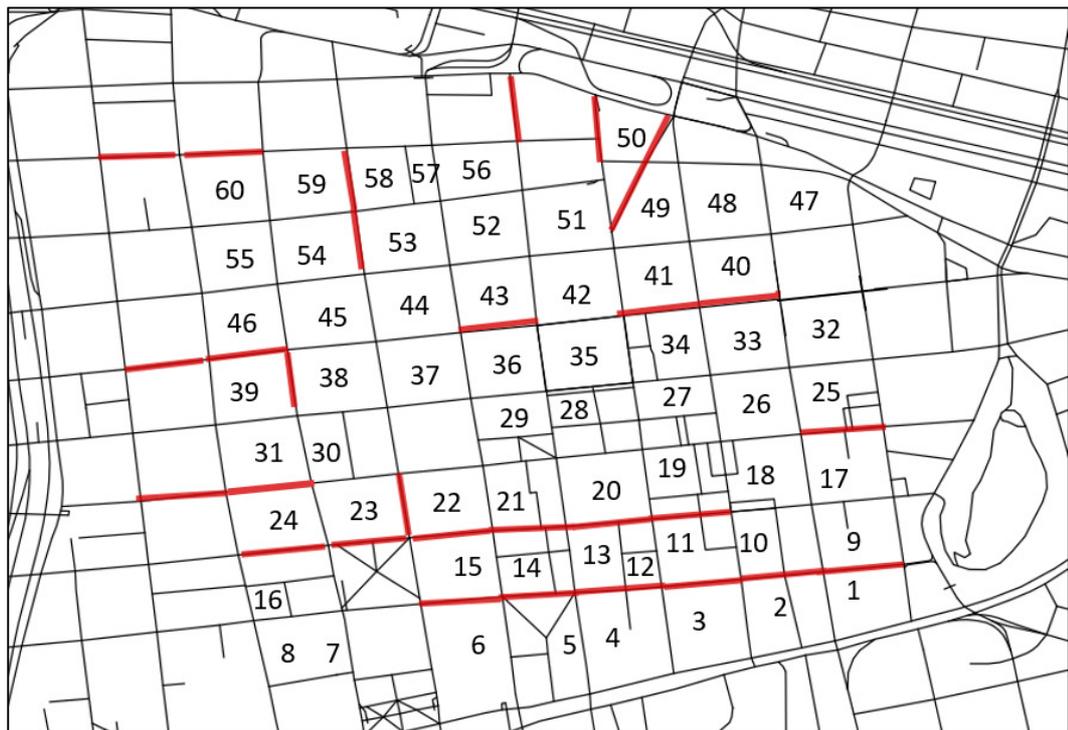


Figura A.C-1: Distribución de bloques en el kilómetro cuadrado

## ANEXO D: PRIORIZACIÓN DE BAHÍAS Y TASAS DE LLEGADA

Tabla A.D-1: Preferencias de bahías por bloque, para el modelo integral de bahías

| Bloque | Preferencia 1 | Preferencia 2 | Preferencia 3 | Preferencia 4 | Preferencia 5 |
|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1      | Moneda 1      | Moneda 2      | x             | x             | x             |
| 2      | Moneda 2      | Moneda 3      | Moneda 1      | x             | x             |
| 3      | Moneda 3      | Moneda 4      | Agustinas 1   | Moneda 2      | x             |
| 4      | Moneda 4      | Moneda 5      | Agustinas 2   | Moneda 3      | x             |
| 5      | Moneda 5      | Moneda 6      | Agustinas 3   | Moneda 4      | x             |
| 6      | Moneda 6      | Agustinas 4   | Moneda 5      | x             | x             |
| 7      | Agustinas 6   | Agustinas 5   | x             | x             | x             |
| 8      | Agustinas 6   | Agustinas 5   | x             | x             | x             |
| 9      | Moneda 1      | Huérfanos 1   | Moneda 2      | x             | x             |
| 10     | Moneda 2      | Moneda 3      | Agustinas 1   | Moneda 1      | x             |
| 11     | Moneda 3      | Agustinas 1   | Moneda 4      | Agustinas 2   | Moneda 2      |
| 12     | Moneda 4      | Moneda 3      | Moneda 5      | Agustinas 2   | x             |
| 13     | Moneda 4      | Agustinas 2   | Moneda 5      | Agustinas 3   | Moneda 3      |
| 14     | Moneda 5      | Agustinas 3   | Moneda 6      | Agustinas 4   | Moneda 4      |
| 15     | Moneda 6      | Agustinas 4   | Agustinas 5   | Morandé 1     | x             |
| 16     | Agustinas 6   | Agustinas 5   | Huérfanos 2   | x             | x             |
| 17     | Huérfanos 1   | Moneda 1      | x             | x             | x             |
| 18     | Agustinas 1   | Moneda 2      | Huérfanos 1   | x             | x             |
| 19     | Agustinas 1   | Moneda 3      | Agustinas 2   | x             | x             |
| 20     | Agustinas 2   | Agustinas 1   | Moneda 4      | Agustinas 3   | x             |
| 21     | Agustinas 3   | Agustinas 2   | Moneda 5      | Agustinas 4   | Morandé 1     |
| 22     | Agustinas 4   | Morandé 1     | Agustinas 3   | Agustinas 5   | x             |
| 23     | Agustinas 5   | Morandé 1     | Agustinas 4   | Agustinas 6   | Huérfanos 2   |
| 24     | Agustinas 6   | Huérfanos 2   | Agustinas 5   | Huérfanos 3   | Morandé 1     |
| 25     | Huérfanos 1   | Monjitas 1    | x             | x             | x             |
| 26     | Huérfanos 1   | Monjitas 1    | x             | x             | x             |
| 27     | Agustinas 1   | Monjitas 2    | x             | x             | x             |
| 28     | Agustinas 2   | Agustinas 3   | x             | x             | x             |
| 29     | Agustinas 3   | Catedral 1    | x             | x             | x             |
| 30     | Teatinos      | Huérfanos 2   | Morandé 1     | Agustinas 5   | x             |
| 31     | Huérfanos 2   | Teatinos      | Huérfanos 3   | Agustinas 6   | Catedral 2    |
| 32     | Monjitas 1    | Huérfanos 1   | x             | x             | x             |
| 33     | Monjitas 1    | Monjitas 2    | x             | x             | x             |
| 34     | Monjitas 2    | Monjitas 1    | x             | x             | x             |

|    |              |              |              |             |   |
|----|--------------|--------------|--------------|-------------|---|
| 35 | Monjitas 2   | Catedral 1   | x            | x           | x |
| 36 | Catedral 1   | Monjitas 2   | x            | x           | x |
| 37 | Catedral 2   | Teatinos     | x            | x           | x |
| 38 | Teatinos     | Catedral 2   | x            | x           | x |
| 39 | Teatinos     | Catedral 2   | Catedral 3   | Huérfanos 2 | x |
| 40 | Monjitas 1   | Monjitas 2   | D. Cervantes | X           | x |
| 41 | Monjitas 2   | D.Cervantes  | Monjitas 1   | x           | x |
| 42 | Monjitas 2   | Catedral 1   | D. Cervantes | x           | x |
| 43 | Catedral 1   | Monjitas 2   | x            | x           | x |
| 44 | Catedral 1   | Morandé 2    | x            | x           | x |
| 45 | Catedral 2   | Teatinos     | Morandé 2    | x           | x |
| 46 | Catedral 2   | Catedral 3   | Teatinos     | x           | x |
| 47 | Monjitas 1   | D. Cervantes | x            | x           | x |
| 48 | D. Cervantes | Monjitas 1   | x            | x           | x |
| 49 | D. Cervantes | 21 de Mayo   | Monjitas 2   | x           | x |
| 50 | D. Cervantes | 21 de Mayo   | Puente       | x           | x |
| 51 | D. Cervantes | 21 de Mayo   | x            | x           | x |
| 52 | Morandé 2    | Catedral 1   | Puente       | x           | x |
| 53 | Morandé 2    | Morandé 3    | x            | x           | x |
| 54 | Morandé 2    | Morandé 3    | x            | x           | x |
| 55 | Morandé 2    | San Pablo 1  | Catedral 2   | x           | x |
| 56 | Puente       | 21 de Mayo   | Morandé 3    | x           | x |
| 57 | Morandé 3    | Morandé 2    | x            | x           | x |
| 58 | Morandé 3    | Morandé 2    | x            | x           | x |
| 59 | Morandé 3    | San Pablo 1  | Morandé 2    | x           | x |
| 60 | San Pablo 1  | San Pablo 2  | Morandé 3    | x           | x |

Tabla A.D-2: Preferencias de bahías por bloque, para el modelo integral de bahías versión II, para aquellos bloques que consideran la nueva bahía de Monjitas

| Bloque | Preferencia 1     | Preferencia 2     | Preferencia 3     | Preferencia 4 | Preferencia 5 |
|--------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------|---------------|
| 25     | Huérfanos 1       | <b>Monjitas N</b> | Monjitas 1        | x             | x             |
| 26     | Huérfanos 1       | Monjitas 1        | <b>Monjitas N</b> | x             | x             |
| 32     | <b>Monjitas N</b> | Monjitas 1        | Huérfanos 1       | x             | x             |
| 33     | Monjitas 1        | Monjitas 2        | <b>Monjitas N</b> | x             | x             |
| 40     | Monjitas 1        | Monjitas 2        | <b>Monjitas N</b> | D. Cervantes  | x             |
| 47     | <b>Monjitas N</b> | Monjitas 1        | D. Cervantes      | x             | x             |
| 48     | D. Cervantes      | Monjitas 1        | <b>Monjitas N</b> | x             | x             |

Tabla A.D-3: Preferencias de bahías por bloque, para el modelo integral de bahías versión II para bahías con cambio de prioridades, opción 1

| Bloque | Preferencia 1 | Preferencia 2 | Preferencia 3      | Preferencia 4 | Preferencia 5 |
|--------|---------------|---------------|--------------------|---------------|---------------|
| 34     | Monjitas 2    | Monjitas 1    | <b>Agustinas 1</b> | x             | x             |
| 35     | Monjitas 2    | Catedral 1    | <b>Agustinas 2</b> | x             | x             |
| 36     | Catedral 1    | Monjitas 2    | <b>Agustinas 2</b> | x             | x             |

Tabla A.D-4: Preferencias de bahías por bloque, para el modelo integral de bahías versión II para bahías con cambio de prioridades, opción 2

| Bloque | Preferencia 1 | Preferencia 2 | Preferencia 3      | Preferencia 4       | Preferencia 5 |
|--------|---------------|---------------|--------------------|---------------------|---------------|
| 34     | Monjitas 2    | Monjitas 1    | <b>Agustinas 1</b> | <b>D. Cervantes</b> | x             |
| 35     | Monjitas 2    | Catedral 1    | X                  | x                   | x             |
| 36     | Catedral 1    | Monjitas 2    | X                  | x                   | x             |

Tabla A.D-5: Tasas de llegadas en primera prioridad para cada cuadra con bahías

| Identificación cuadra | Modelo Original (V1) | Con nueva cuadra (V2) |
|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| Agustinas 1           |                      | 11,999                |
| Agustinas 2           |                      | 9,097                 |
| Agustinas 3           |                      | 4,192                 |
| Agustinas 4           |                      | 0,921                 |
| Agustinas 5           |                      | 0,783                 |
| Agustinas 6           |                      | 1,566                 |
| Catedral 1            |                      | 1,704                 |
| Catedral 2            |                      | 0,829                 |
| Catedral 3            |                      | 0,000                 |
| D, Cervantes          |                      | 4,445                 |
| Huérfanos 1           |                      | 4,698                 |
| Huérfanos 2           |                      | 1,474                 |
| Huérfanos 3           |                      | 0,000                 |
| Teatinos              |                      | 2,902                 |
| V, de Mayo            |                      | 0,000                 |
| Moneda 1              |                      | 2,188                 |
| Moneda 2              |                      | 3,593                 |
| Moneda 3              |                      | 0,944                 |
| Moneda 4              |                      | 4,606                 |
| Moneda 5              |                      | 1,474                 |
| Moneda 6              |                      | 1,566                 |
| Monjitas 1            | 4,307                | 2,925                 |
| Monjitas 2            |                      | 14,440                |
| Monjitas N            | 0,000                | 1,382                 |
| Morandé 1             |                      | 0,000                 |
| Morandé 2             |                      | 3,869                 |
| Morandé 3             |                      | 1,128                 |
| Puente                |                      | 0,345                 |
| San Pablo 1           |                      | 0,138                 |
| San Pablo 2           |                      | 0,000                 |

## ANEXO E: TASAS DE OCUPACIÓN DEL MODELO INTEGRAL DE BAHÍAS

Tabla A.E-1: Tasas de ocupación promedio por cuadra, parte I

| Identificación cuadra | Modelo Original (V1) |           |           | Con nueva cuadra (V2) |         |          |
|-----------------------|----------------------|-----------|-----------|-----------------------|---------|----------|
|                       | 3 bahías             | 4 bahía   | 5 bahías  | 3 bahías              | 4 bahía | 5 bahías |
| Moneda 1              | 100,65%              | 103,03%   | 79,38%    | 101,53%               | 97,77%  | 71,21%   |
| Moneda 2              | 102,69%              | 103,59%   | 89,67%    | 104,09%               | 99,50%  | 85,82%   |
| Moneda 3              | 103,96%              | 106,04%   | 91,31%    | 106,32%               | 101,84% | 87,17%   |
| Moneda 4              | 102,45%              | 101,50%   | 83,11%    | 103,66%               | 97,66%  | 80,57%   |
| Moneda 5              | 101,57%              | 92,81%    | 60,43%    | 102,63%               | 87,51%  | 55,37%   |
| Moneda 6              | 93,90%               | 54,78%    | 36,47%    | 90,45%                | 53,69%  | 34,88%   |
| Agustinas 1           | 105,41%              | 107,06%   | 98,91%    | 107,66%               | 104,11% | 96,90%   |
| Agustinas 2           | 105,68%              | 108,36%   | 98,77%    | 108,31%               | 105,05% | 96,22%   |
| Agustinas 3           | 105,23%              | 107,85%   | 97,39%    | 107,77%               | 104,45% | 94,71%   |
| Agustinas 4           | 96,57%               | 35,93%    | 20,71%    | 94,67%                | 30,90%  | 20,06%   |
| Agustinas 5           | 92,70%               | 24,97%    | 17,33%    | 85,09%                | 23,78%  | 16,85%   |
| Agustinas 6           | 92,76%               | 48,16%    | 35,27%    | 86,33%                | 46,13%  | 34,09%   |
| Huérfanos 1           | 103,21%              | 104,40%   | 93,51%    | 104,62%               | 101,07% | 88,74%   |
| Huérfanos 2           | 94,15%               | 53,81%    | 35,41%    | 87,74%                | 50,42%  | 33,90%   |
| Huérfanos 3           | 64,68%               | 0,03%     | 0,00%     | 40,55%                | 0,01%   | 0,00%    |
| Monjitas 1            | 105,75%              | 109,16%   | 101,48%   | 108,44%               | 106,20% | 98,59%   |
| Monjitas 2            | 106,62%              | 109,60%   | 102,31%   | 109,50%               | 106,77% | 100,24%  |
| Catedral 1            | 103,16%              | 104,33%   | 95,10%    | 104,75%               | 100,93% | 92,00%   |
| Catedral 2            | 95,69%               | 51,65%    | 25,58%    | 90,98%                | 46,25%  | 23,92%   |
| Catedral 3            | 74,50%               | 0,87%     | 0,00%     | 55,02%                | 0,42%   | 0,00%    |
| San Pablo 1           | 82,40%               | 30,15%    | 10,83%    | 70,19%                | 25,54%  | 9,61%    |
| San Pablo 2           | 62,33%               | 0,05%     | 0,00%     | 38,89%                | 0,01%   | 0,00%    |
| 21 de Mayo            | 97,65%               | 94,77%    | 79,05%    | 96,78%                | 90,08%  | 69,13%   |
| Puente                | 90,26%               | 78,31%    | 28,05%    | 85,34%                | 65,74%  | 16,92%   |
| Morandé 1             | 91,62%               | 0,92%     | 0,02%     | 85,69%                | 0,45%   | 0,01%    |
| Morandé 2             | 100,23%              | 90,81%    | 79,31%    | 99,25%                | 87,34%  | 76,57%   |
| Morandé               | 94,63%               | 72,82%    | 42,67%    | 90,48%                | 66,15%  | 38,74%   |
| Teatinos              | 98,72%               | 77,39%    | 63,24%    | 96,36%                | 74,10%  | 61,02%   |
| D. Cervantes          | 104,50%              | 107,10%   | 98,89%    | 106,66%               | 104,21% | 94,52%   |
| Monjitas N            | Sin bahía            | Sin bahía | Sin bahía | 103,90%               | 102,19% | 86,44%   |

Tabla A.E-2: Tasas de ocupación promedio por cuadra, parte II

| Identificación cuadra | Bahías variables por cuadra (V3) |                  |                  |             |
|-----------------------|----------------------------------|------------------|------------------|-------------|
|                       | Original                         | Agregando bahías | Agregando cuadra | Combinación |
| Moneda 1              | 75,77%                           | 68,20%           | 65,19%           | 59,36%      |
| Moneda 2              | 86,84%                           | 83,34%           | 82,31%           | 79,58%      |
| Moneda 3              | 89,67%                           | 84,98%           | 83,59%           | 79,09%      |
| Moneda 4              | 87,29%                           | 84,72%           | 83,74%           | 81,54%      |
| Moneda 5              | 79,99%                           | 74,36%           | 72,25%           | 66,47%      |
| Moneda 6              | 52,77%                           | 47,81%           | 46,45%           | 43,19%      |
| Agustinas 1           | 96,25%                           | 94,63%           | 94,27%           | 92,96%      |
| Agustinas 2           | 96,15%                           | 93,96%           | 93,39%           | 91,52%      |
| Agustinas 3           | 95,35%                           | 92,82%           | 92,28%           | 89,69%      |
| Agustinas 4           | 32,63%                           | 26,33%           | 24,48%           | 21,60%      |
| Agustinas 5           | 21,09%                           | 20,65%           | 20,52%           | 20,20%      |
| Agustinas 6           | 41,12%                           | 40,24%           | 39,96%           | 39,32%      |
| Huérfanos 1           | 89,03%                           | 86,26%           | 83,39%           | 80,56%      |
| Huérfanos 2           | 40,92%                           | 39,84%           | 39,50%           | 38,74%      |
| Huérfanos 3           | 0,00%                            | 0,00%            | 0,00%            | 0,00%       |
| Monjitas 1            | 98,01%                           | 96,11%           | 94,75%           | 92,76%      |
| Monjitas 2            | 99,27%                           | 97,79%           | 97,34%           | 96,17%      |
| Catedral 1            | 90,86%                           | 88,06%           | 87,53%           | 84,77%      |
| Catedral 2            | 23,08%                           | 22,14%           | 21,85%           | 21,22%      |
| Catedral 3            | 0,00%                            | 0,00%            | 0,00%            | 0,00%       |
| San Pablo 1           | 11,50%                           | 10,59%           | 10,35%           | 9,74%       |
| San Pablo 2           | 0,00%                            | 0,00%            | 0,00%            | 0,00%       |
| 21 de Mayo            | 68,47%                           | 59,41%           | 58,81%           | 46,28%      |
| Puente                | 19,79%                           | 14,67%           | 14,07%           | 11,54%      |
| Morandé 1             | 0,32%                            | 0,10%            | 0,07%            | 0,03%       |
| Morandé 2             | 75,18%                           | 73,24%           | 72,67%           | 71,16%      |
| Morandé 3             | 44,80%                           | 42,42%           | 41,74%           | 40,08%      |
| Teatinos              | 60,00%                           | 58,51%           | 58,04%           | 56,94%      |
| D. Cervantes          | 94,98%                           | 92,66%           | 91,34%           | 88,81%      |
| Monjitas N            | Sin bahía                        | Sin bahía        | 82,00%           | 75,88%      |

**ANEXO F:        PROBABILIDAD DE NECESITAR SERVICIOS ENTRE ZONAS**

Tabla A.F-1: Probabilidad de necesitar un servicio en otra cuadra, parte I

| Identificación<br>cuadra | Modelo Original (V1) |           | Con nueva cuadra (V2) |         |          |         |
|--------------------------|----------------------|-----------|-----------------------|---------|----------|---------|
|                          | 3 bahías             | 4 bahía   | 3 bahías              | 4 bahía | 3 bahías | 4 bahía |
| Moneda 1                 | 2,65%                | 2,71%     | 2,09%                 | 2,67%   | 2,57%    | 1,87%   |
| Moneda 2                 | 4,43%                | 4,47%     | 3,87%                 | 4,49%   | 4,30%    | 3,71%   |
| Moneda 3                 | 1,18%                | 1,20%     | 1,04%                 | 1,21%   | 1,16%    | 0,99%   |
| Moneda 4                 | 5,67%                | 5,62%     | 4,60%                 | 5,74%   | 5,41%    | 4,46%   |
| Moneda 5                 | 1,80%                | 1,64%     | 1,07%                 | 1,82%   | 1,55%    | 0,98%   |
| Moneda 6                 | 1,77%                | 1,03%     | 0,69%                 | 1,70%   | 1,01%    | 0,66%   |
| Agustinas 1              | 15,20%               | 15,44%    | 14,26%                | 15,52%  | 15,01%   | 13,97%  |
| Agustinas 2              | 11,55%               | 11,85%    | 10,80%                | 11,84%  | 11,48%   | 10,52%  |
| Agustinas 3              | 5,30%                | 5,43%     | 4,91%                 | 5,43%   | 5,26%    | 4,77%   |
| Agustinas 4              | 1,07%                | 0,40%     | 0,23%                 | 1,05%   | 0,34%    | 0,22%   |
| Agustinas 5              | 0,87%                | 0,23%     | 0,16%                 | 0,80%   | 0,22%    | 0,16%   |
| Agustinas 6              | 1,75%                | 0,91%     | 0,66%                 | 1,62%   | 0,87%    | 0,64%   |
| Huérfanos 1              | 5,83%                | 5,89%     | 5,28%                 | 5,91%   | 5,71%    | 5,01%   |
| Huérfanos 2              | 0,00%                | 0,00%     | 0,00%                 | 0,00%   | 0,00%    | 0,00%   |
| Huérfanos 3              | 0,00%                | 0,00%     | 0,00%                 | 0,00%   | 0,00%    | 0,00%   |
| Monjitas 1               | 5,47%                | 5,65%     | 5,25%                 | 3,81%   | 3,73%    | 3,47%   |
| Monjitas 2               | 18,50%               | 19,02%    | 17,75%                | 19,00%  | 18,53%   | 17,39%  |
| Catedral 1               | 2,11%                | 2,14%     | 1,95%                 | 2,15%   | 2,07%    | 1,88%   |
| Catedral 2               | 0,95%                | 0,51%     | 0,25%                 | 0,91%   | 0,46%    | 0,24%   |
| Catedral 3               | 0,00%                | 0,00%     | 0,00%                 | 0,00%   | 0,00%    | 0,00%   |
| San Pablo 1              | 0,14%                | 0,05%     | 0,02%                 | 0,12%   | 0,04%    | 0,02%   |
| San Pablo 2              | 0,00%                | 0,00%     | 0,00%                 | 0,00%   | 0,00%    | 0,00%   |
| V, de Mayo               | 0,00%                | 0,00%     | 0,00%                 | 0,00%   | 0,00%    | 0,00%   |
| Puente                   | 0,37%                | 0,33%     | 0,12%                 | 0,35%   | 0,27%    | 0,07%   |
| Morandé 1                | 0,00%                | 0,00%     | 0,00%                 | 0,00%   | 0,00%    | 0,00%   |
| Morandé 2                | 4,66%                | 4,22%     | 3,69%                 | 4,62%   | 4,06%    | 3,56%   |
| Morandé 3                | 1,28%                | 0,99%     | 0,58%                 | 1,23%   | 0,90%    | 0,53%   |
| Teatinos                 | 3,44%                | 2,70%     | 2,21%                 | 3,36%   | 2,58%    | 2,13%   |
| D, Cervantes             | 5,58%                | 5,72%     | 5,28%                 | 5,70%   | 5,57%    | 5,05%   |
| Monjitas N               | Sin bahía            | Sin bahía | Sin bahía             | 1,73%   | 1,70%    | 1,44%   |

Tabla A.F-2: Probabilidad de necesitar un servicio en otra cuadra, parte II

| Identificación cuadra | Bahías variables por cuadra (V3) |                  |                  |             |
|-----------------------|----------------------------------|------------------|------------------|-------------|
|                       | Original                         | Agregando bahías | Agregando cuadra | Combinación |
| Moneda 1              | 1,99%                            | 1,79%            | 1,71%            | 1,56%       |
| Moneda 2              | 3,75%                            | 3,60%            | 3,55%            | 3,44%       |
| Moneda 3              | 1,02%                            | 0,96%            | 0,95%            | 0,90%       |
| Moneda 4              | 4,83%                            | 4,69%            | 4,64%            | 4,51%       |
| Moneda 5              | 1,42%                            | 1,32%            | 1,28%            | 1,18%       |
| Moneda 6              | 0,99%                            | 0,90%            | 0,87%            | 0,81%       |
| Agustinas 1           | 13,88%                           | 13,65%           | 13,59%           | 13,40%      |
| Agustinas 2           | 10,51%                           | 10,27%           | 10,21%           | 10,01%      |
| Agustinas 3           | 4,80%                            | 4,68%            | 4,65%            | 4,52%       |
| Agustinas 4           | 0,36%                            | 0,29%            | 0,27%            | 0,24%       |
| Agustinas 5           | 0,20%                            | 0,19%            | 0,19%            | 0,19%       |
| Agustinas 6           | 0,77%                            | 0,76%            | 0,75%            | 0,74%       |
| Huérfanos 1           | 5,03%                            | 4,87%            | 4,71%            | 4,55%       |
| Huérfanos 2           | 0,00%                            | 0,00%            | 0,00%            | 0,00%       |
| Huérfanos 3           | 0,00%                            | 0,00%            | 0,00%            | 0,00%       |
| Monjitas 1            | 5,07%                            | 4,97%            | 3,33%            | 3,26%       |
| Monjitas 2            | 17,23%                           | 16,97%           | 16,89%           | 16,69%      |
| Catedral 1            | 1,86%                            | 1,80%            | 1,79%            | 1,74%       |
| Catedral 2            | 0,23%                            | 0,22%            | 0,22%            | 0,21%       |
| Catedral 3            | 0,00%                            | 0,00%            | 0,00%            | 0,00%       |
| San Pablo 1           | 0,02%                            | 0,02%            | 0,02%            | 0,02%       |
| San Pablo 2           | 0,00%                            | 0,00%            | 0,00%            | 0,00%       |
| 21 de Mayo            | 0,00%                            | 0,00%            | 0,00%            | 0,00%       |
| Puente                | 0,08%                            | 0,06%            | 0,06%            | 0,05%       |
| Morandé 1             | 0,00%                            | 0,00%            | 0,00%            | 0,00%       |
| Morandé 2             | 3,50%                            | 3,41%            | 3,38%            | 3,31%       |
| Morandé 3             | 0,61%                            | 0,58%            | 0,57%            | 0,54%       |
| Teatinos              | 2,09%                            | 2,04%            | 2,02%            | 1,99%       |
| D. Cervantes          | 5,07%                            | 4,95%            | 4,88%            | 4,74%       |
| Monjitas N            | Sin bahía                        | Sin bahía        | 1,36%            | 1,26%       |