

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**DISEÑO DE UN MODELO PILOTO DE LOGÍSTICA URBANA EN  
EL MUNICIPIO DE LA PAZ**

*Proyecto de grado presentado para la obtención del Grado de Licenciatura  
en Ingeniería Industrial*

**POR: HASSAN ABDUL ALI ORIHUELA**

**TUTOR: ING. PH. D. OSWALDO FERNANDO TERAN MODREGON**

LA PAZ-BOLIVIA

Octubre, 2024



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE INGENIERIA**



**LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.**

**LICENCIA DE USO**

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

**TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.**

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Proyecto de Grado:

**DISEÑO DE UN MODELO PILOTO DE LOGÍSTICA URBANA  
EN EL MUNICIPIO DE LA PAZ**

Presentado por: Univ. Hassan Abdul Ali Orihuela

Para Optar el grado académico de Licenciado en Ingeniería Industrial

Nota numeral: .....

Nota literal: .....

Ha sido: .....

Director de la carrera de Ingeniería Industrial:

Ing. Franz José Zenteno Benítez .....

Tutor: Ing. Oswaldo Fernando Teran Modregon .....

Tribunal: Ing. Anaceli Espada Silva .....

Tribunal: Ing. Edgar Alberto Quiroga Vargas .....

Tribunal: Ing. Carla Lizett Kaune Sarabia .....

Tribunal: Ing. Oscar Fabian Villamor Salazar .....

## **DEDICATORIA:**

A Dios, por su infinito amor y su inmensa misericordia. A Él le debo cada logro y cada paso en este camino.

A mis padres, María Esther y Freddy José, por su ejemplo de sacrificio, amor y entrega. Les dedico este proyecto, fruto de su constante apoyo y motivación.

A mis hermanos Andrea, Nicole, Jonathan y Mariel, por ser mi inspiración y por acompañarme en cada desafío con su cariño y consejos.

A mis amigos, que, con su apoyo incondicional y ánimo, han sido parte esencial en la culminación de esta etapa.

## **AGRADECIMIENTOS:**

En primer lugar, agradezco a Dios por ser mi fuente de fortaleza y guía a lo largo de este proceso. Su dirección me ha permitido superar los obstáculos y avanzar con determinación hacia la culminación de este proyecto.

A mis padres, María Esther y Freddy José, por su apoyo incondicional, por enseñarme el valor del esfuerzo y por ser un ejemplo de dedicación. A mis hermanos Andrea, Nicole, Jonathan y Mariel, por su cariño, su ánimo constante y por estar siempre a mi lado.

A mis amigos, cuyo apoyo y compañerismo me ayudaron a sobrellevar los momentos más desafiantes de este proceso. Su presencia ha sido invaluable.

A mi alma mater, la Universidad Mayor de San Andrés y a la carrera de Ingeniería Industrial, por haberme brindado las herramientas necesarias para crecer tanto personal como profesionalmente.

Finalmente, agradezco a mi tutor, Ing. Oswaldo Terán por su paciencia, dedicación y orientación. Su guía fue clave para la correcta realización de este proyecto.



## ***Tabla de Abreviaturas***

ALC:	América Latina y el Caribe.
BID:	Banco Interamericano de Desarrollo
CAF:	Comunidad Andina de Fomento.
DUM:	Distribución Urbana de Mercancías.
SCM:	Supply Chain Management.
LOGUS:	Guía de Buenas Prácticas de Logística Urbana Sostenible y Segura.
PM:	Partículas en Suspensión.
INE:	Instituto Nacional de Estadística.
GAMLP:	Gobierno Autónomo Municipal de La Paz.
HORECA:	Alimentos, Bebidas y suministros.
ELU:	Espacios Logísticos Urbanos.
CL:	Centros Logísticos.
PL:	Plataformas Logísticas.
MAMCA:	Metodología Multiactores y análisis Multi criterio.
MIT:	Massachusetts Institute of Technology
MPL:	Modelo de Programación Lineal

# Índice

<i>Tabla de Abreviaturas</i> .....	<b>ii</b>
<b>Índice</b> .....	<b>iii</b>
<i>Índice De Ilustraciones</i> .....	<b>viii</b>
<i>Índice De Tablas</i> .....	<b>x</b>
<b>Índice De Anexos</b> .....	<b>xii</b>
<b>Capítulo 1 : Introducción</b> .....	<b>1</b>
1.1.    Antecedentes.....	1
1.1.1.    Antecedentes Generales .....	1
1.1.2.    El municipio de La Paz. ....	3
1.1.3.    Revisión Literaria.....	4
1.2.    Justificación .....	7
1.2.1.    Justificación Académica. ....	7
1.2.2.    Justificación Económica-Social .....	8
1.2.3.    Justificación Metodológica .....	9
1.3.    Planteamiento del Problema .....	9
1.3.1.    Descripción del Problema .....	10
1.3.2.    Análisis Casuístico del Problema.....	12
1.3.3.    Soluciones Opcionales y Toma de Decisiones .....	13
1.3.4.    Árbol de Objetivos .....	16
1.4.    Objetivos del Proyecto .....	17
1.4.1.    Objetivo General.....	18
1.4.2.    Objetivos Específicos.....	18
1.6.    Matriz de Marco Lógico .....	20
1.7.    Alcance y Limitaciones .....	24
1.7.1.    Alcances.....	24
1.7.2.    Limitaciones.....	24

1.7.3.	Marco Normativo.....	24
1.7.3.1.	Ley General del Transporte (Ley N° 165).....	24
1.7.3.2.	Ley de Transporte y Transito Urbano (Ley N° 14) .....	25
1.7.4.	Alcance Geográfico. ....	25
<b>Capítulo 2 : Marco Teórico .....</b>		<b>27</b>
2.1.	Logística .....	27
2.2.	Logística y la Cadena de Suministros. ....	27
2.3.	Logística Urbana.....	28
2.3.1.	Actividades que componen la logística urbana.....	29
2.4.	Logística de Última Milla en el Contexto Urbano. ....	32
2.5.	Optimización y Modelos de Programación Lineal en la Logística Urbana.....	34
2.5.1.	Estructura de un Modelo de Programación Lineal .....	35
2.5.2.	Relación entre Programación Lineal y Logística Urbana .....	36
2.5.3.	Tipos de Programación Lineal y Multiobjetivo .....	36
2.5.4.	Variables Binarias en la Programación Lineal.....	36
2.6.	Tecnologías y Soluciones para la Logística Urbana.....	38
2.7.	Metodología “Mejores Ciudades Para la Logística” .....	40
2.8.1.	Distribución Urbana de Mercancías (DUM).....	43
2.8.2.	Metodología Last Mile Km2.....	43
2.8.3.	Bahías de carga y descarga .....	44
2.8.4.	Espacios Logísticos Urbanos (ELU).....	44
2.8.5.	Unidades de Logística urbana en las Alcaldías.....	44
2.8.6.	Centros Logísticos .....	45
2.8.7.	Plataformas Logísticas .....	45
2.8.8.	Microplataformas Logísticas .....	45
2.8.9.	Estrategia LOGUS .....	45
2.8.10.	Cross Docking.....	46
2.8.11.	Metodología MAMCA.....	46
2.8.12.	Modelo Matemático .....	46
2.8.13.	Modelos de Optimización.....	46
2.8.14.	Modelos Dinámicos .....	46

<b>Capítulo 3 : Perfil Logístico Del Municipio De La Paz .....</b>	<b>48</b>
3.2.    Metodología: Mejores Ciudades para la Logística .....	57
3.2.1.    Recolección de Datos y Caracterización.....	60
3.2.2.    Definición de la zona de estudio.....	62
3.3.    Recolección de datos .....	65
3.3.1.    Fase 1: Comercios, regulaciones y Vías. ....	65
3.3.2.    Interrupciones y vehículos .....	75
3.4.    Fase 3: Indicadores de desempeño logístico.....	79
3.5.    Políticas propuestas para mejorar la distribución de mercancías en la zona .....	85
3.5.1.    Implementación de bahías de carga y descarga .....	85
3.5.2.    Ampliación de vías .....	86
3.5.3.    Implementación de rampas. ....	86
3.5.4.    Regulaciones para las actividades de carga y descarga. ....	87
<b>Capítulo 4 : Diseño Del Modelo Matemático Logístico Urbano.....</b>	<b>88</b>
4.1.    Introducción.....	88
4.2.    Selección De Calles Influyentes .....	89
4.3.    Recolección De Datos .....	94
4.3.1.    Estudio De Campo .....	95
4.3.2.    Selección De Bahías Para El Estudio.....	105
4.3.3.    Codificación Cromático para negocios y tiendas.....	107
4.3.4.    Cálculo de distancias entre bahías y tiendas .....	108
4.4.    Formulación del Modelo .....	125
4.4.1.    Descripción del modelo .....	125
4.4.2.    Arquitectura del modelo .....	125
4.4.3.    Función Objetivo .....	125
4.4.4.    Variables de decisión .....	125
4.4.5.    Restricciones del modelo .....	126
4.5.    Procedimiento.....	126
4.5.1.    Cálculos Solver Fase 1 .....	126
4.5.2.    Cálculos Solver Fase 2.....	131
4.6.    Resultados.....	136

4.6.1.	Resultados Primera Parte .....	136
4.6.2.	Resultados Segunda Parte .....	140
<b>Capítulo 5 : Modelo de Simulación de Bahías Logística Urbana.....</b>		<b>142</b>
5.1.	Introducción.....	142
5.2.	Modelo Conceptual .....	142
5.3.	Datos de entrada .....	146
5.3.1.	Distribución Porcentual de Tiendas y Negocios.....	146
5.3.2.	Tiempo entre llegadas .....	148
5.3.3.	Tiempos de Servicio .....	149
5.4.	Condiciones de simulación.....	150
5.5.	Simulación Arena® Software Simulator .....	151
5.6.	Corridas de simulación .....	156
5.7.	Análisis de Resultados.....	158
5.7.1.	Resultados Simulación de Bahía 2 - Calle Vicente Ochoa.....	158
5.7.2.	Resultados Simulación de Bahía 3 - Calle Vicente Ochoa.....	161
5.7.3.	Resultados Simulación de Bahía 6 - Calle Eloy Salmon .....	165
5.8.	Comparativa de simulación con y sin proyectos .....	170
5.9.	Ranking Índice de Desempeño Logístico.....	173
5.10.	Comparativa Logística Urbana en América Latina .....	175
<b>Capítulo 6 : Análisis Económico .....</b>		<b>178</b>
6.1.	Introducción.....	178
6.2.	Inversiones.....	179
6.3.	Costos Operativos y mantenimiento.....	180
6.4.	Costos de congestión Urbana .....	181
6.5.	Flujo de costos .....	182
6.6.	Costo Anual Equivalente (CAE) .....	183
6.7.	Indicador Costo Eficiencia (ICE) .....	184
6.8.	Resultados.....	185
<b>Capítulo 7: Conclusiones y Recomendaciones .....</b>		<b>186</b>
6.1.	Conclusiones.....	186

6.2. Recomendaciones .....	190
<b>Bibliografía.....</b>	<b>191</b>

## ***Índice De Ilustraciones***

<b>Ilustración 1.1:</b> Árbol de Problemas, problemática de la Logística Urbana en el Municipio. ....	13
<b>Ilustración 1.2:</b> Árbol de Objetivos, Logística Urbana en el municipio de La Paz .....	17
<b>Ilustración 1.3:</b> Estructura Analítica del Proyecto .....	19
<b>Ilustración 1.4:</b> La Paz, Delimitación Geográfica del proyecto.....	26
<b>Ilustración 2.1:</b> GAML P, Cadenas Logísticas que conviven en el Municipio. ....	30
<b>Ilustración 2.2:</b> Logística Urbana, Actores Principales. ....	31
<b>Ilustración 2.3:</b> Logística Urbana, Metodología Mejores Ciudades Para La Logística.....	41
<b>Ilustración 2.4:</b> Logística Urbana, Bahías De Carga Y Descarga.....	43
<b>Ilustración 3.1:</b> Municipio De La Paz, Superficie Y Poblacion, Rural Y Urbana. ....	50
<b>Ilustración 3.2:</b> Municipio De La Paz, Densidad Poblacional por distrito. ....	52
<b>Ilustración 3.3:</b> Municipio De La Paz, Densidad Poblacional por distrito. ....	53
<b>Ilustración 3.4:</b> Municipio De La Paz: Número de Vendedores en Mercado por rubro. ....	54
<b>Ilustración 3.5:</b> Municipio De La Paz, Número de vendedores registrados por macrodistrito.....	55
<b>Ilustración 3.6:</b> Metodología Utilizada: Recolección de Datos .....	62
<b>Ilustración 3.7:</b> Metodología Utilizada: Delimitación del kilometro cuadrado .....	63
<b>Ilustración 3.8:</b> Kilómetro cuadrado: Segmentación por cuadrantes.....	64
<b>Ilustración 3.9:</b> Inventario de Tiendas, Número de Tiendas en la zona.....	67
<b>Ilustración 3.10:</b> Características de entrega: Bultos por rango de hora .....	69
<b>Ilustración 3.11:</b> Características de entrega, Frecuencia porcentual por tipo de vehículo de descarga .....	71
<b>Ilustración 3.12:</b> Características de entrega, Tiempo promedio de descarga por tipo de comercio .....	73
<b>Ilustración 3.13:</b> Características de entrega, Frecuencia porcentual de rango de distancia Tienda-Vehículo .....	75
<b>Ilustración 3.14:</b> Interrupciones, Frecuencia de tráfico vehicular por tipo de vehículo .....	76
<b>Ilustración 3.15:</b> Interrupciones, Cantidad de vehículos afectados por hora .....	77
<b>Ilustración 3.16:</b> Interrupciones, Distribucion porcentual por tipos de interrupciones .....	78

<b>Ilustración 4.1:</b> Selección de calles influyentes dentro del Kilometro cuadrado.....	93
<b>Ilustración 4.2:</b> Mapa de la calle Gallardo seleccionada como la calle influyente.....	94
<b>Ilustración 4.3:</b> Selección de calles influyentes, Captura de la calle Gallardo .....	95
<b>Ilustración 4.4:</b> Captura de cuadrantes alrededor de la calle Gallardo .....	96
<b>Ilustración 4.5:</b> Calle Gallardo: Tráfico y saturación vehicular en la calle influyente .....	97
<b>Ilustración 4.6:</b> Distribución porcentual de negocios dentro la calle Gallardo.....	99
<b>Ilustración 4.7:</b> Mapeo de vias de tráfico dentro la zonificacion de la calle Gallardo.....	100
<b>Ilustración 4.8:</b> Mapeo de Bahías Opcionales en la Calle Gallardo .....	106
<b>Ilustración 4.9:</b> Modelado gráfico de tiendas y bahías cuadrante 53 de la calle Gallardo	111
<b>Ilustración 4.10:</b> Modelado gráfico de tiendas y bahías cuadrante 54 de la calle Gallardo .....	112
<b>Ilustración 4.11:</b> Modelado gráfico de tiendas y bahías cuadrante 55 de la calle Gallardo .....	113
<b>Ilustración 4.12:</b> Modelado gráfico de tiendas y bahías cuadrante 57 de la calle Gallardo .....	114
<b>Ilustración 4.13:</b> Modelado gráfico de tiendas y bahías cuadrante 58 de la calle Gallardo .....	115
<b>Ilustración 4.14:</b> Modelado gráfico de tiendas y bahías cuadrante 59 de la calle Gallardo .....	116
<b>Ilustración 4.15:</b> Ventana de asignacion de parametros de Solver para cuadrante 58.....	129
<b>Ilustración 4.16:</b> Ventana de asignacion de parametros de Solver para la fase 2 del MPL .....	136
<b>Ilustración 4.17:</b> Comparativa de distancia total vs. Distancia Óptima por Bahía .....	138
<b>Ilustración 4.18:</b> Grado de cobertura porcentual por bahía de descarga en calle Gallardo .....	139
<b>Ilustración 5.1:</b> Modelo conceptual de la simulación de bahías para el municipio de La Paz .....	144
<b>Ilustración 5.2:</b> Modelo conceptual de la simulación de bahías para el municipio de La Paz .....	145
<b>Ilustración 5.3:</b> Modelo de simulación sin proyecto calle Vicente Ochoa (1).....	151
<b>Ilustración 5.4:</b> Modelo de simulación sin proyecto calle Vicente Ochoa (2).....	152
<b>Ilustración 5.5:</b> Modelo de simulación sin proyecto calle Eloy Salmon .....	153
<b>Ilustración 5.6:</b> Modelo de simulación con proyecto Bahía 2 calle Vicente Ochoa.....	154

<b>Ilustración 5.7:</b> Modelo de simulación con proyecto Bahía 3 calle Vicente Ochoa.....	155
<b>Ilustración 5.8:</b> Modelo de simulación con proyecto Bahía 6 calle Eloy Salmon .....	156
<b>Ilustración 5.9:</b> Parametros de replicacion del modelo de simulación .....	157
<b>Ilustración 5.10:</b> Resultados de simulación logística urbana calle Vicente Ochoa .....	158
<b>Ilustración 5.11:</b> Resultados de simulación logística urbana Bahía 2 .....	160
<b>Ilustración 5.12:</b> Resultados de simulación logística urbana calle Vicente Ochoa (2).....	162
<b>Ilustración 5.13:</b> Resultados de simulación logística urbana calle Bahía 3 .....	164
<b>Ilustración 5.14:</b> Resultados de simulación logística urbana calle Eloy Salmon .....	166
<b>Ilustración 5.15:</b> Resultados de simulación logística urbana Bahía 6 .....	168

## ***Índice De Tablas***

<b>Tabla 1.1:</b> Lista de Titulos y Autores referencial sobre logística Urbana en America Latina y Metodología de la Ultima Milla .....	7
<b>Tabla 1.2:</b> Matriz De Priorización, Selección de Alternativas .....	15
<b>Tabla 1.3:</b> Matriz de Marco Lógico del proyecto.....	20
<b>Tabla 2.1:</b> Logística Urbana, Caracterización de Tipologías .....	32
<b>Tabla 3.1:</b> Municipio De La Paz: Uso del espacio público por macrodistrito. ....	56
<b>Tabla 3.2:</b> Municipio De La Paz, Actores de la logística urbana. ....	56
<b>Tabla 3.3:</b> Municipio De La Paz, Actores de la logística urbana. ....	59
<b>Tabla 3.4:</b> Inventario De Tienda, Número de Tiendas en la zona.....	66
<b>Tabla 3.5:</b> Regulación de transito, Inventario de señáleticas .....	67
<b>Tabla 3.6:</b> Características de entrega, Tipo de vehículo para descarga de mercaderia .....	71
<b>Tabla 3.7:</b> Características de entrega, Tiempo promedio de descarga por tipo de comercio. ....	72
<b>Tabla 3.8:</b> Características de entrega, Frecuencia rango de distancias tienda-vehículo.....	74
<b>Tabla 3.9:</b> Indicadores Clave de Rendimiento, Tabla de Indicadores para la metodología del Km2 .....	83
<b>Tabla 3.10:</b> Indicadores Clave de Rendimiento, Tabla de Indicadores para la metodología del Km2 .....	84
<b>Tabla 3.11:</b> Indicadores Clave de Rendimiento, Cálculo de KPIs en la zona de estudio....	85

<b>Tabla 4.1:</b> Analytic Hierarchy Process, Tabla de criterios para la selección de las calles influyentes .....	90
<b>Tabla 4.2:</b> Analytic Hierarchy Process, Pesos por criterios seleccionados .....	91
<b>Tabla 4.3:</b> Analytic Hierarchy Process, Resultados de la selección de las calles más influyentes .....	92
<b>Tabla 4.4:</b> Selección de calles influyentes: Inventario de tiendas en la calle Gallardo .....	98
<b>Tabla 4.5:</b> Código de rutas según calles dentro la zonificación de la calle Gallardo .....	100
<b>Tabla 4.6:</b> Estudio de densidad vehicular y sentido de vías en la calle Gallardo .....	102
<b>Tabla 4.7:</b> Selección de calles influyentes: Inventario de tiendas en la calle Gallardo .....	104
<b>Tabla 4.8:</b> Geolocalización de bahías opcionales en la calle Gallardo .....	106
<b>Tabla 4.9:</b> Selección de calles influyentes: Inventario de tiendas en la calle Gallardo .....	108
<b>Tabla 4.10:</b> Plantilla de registro de Tiendas para la calle Gallardo .....	109
<b>Tabla 4.11:</b> Captura de datos: Análisis de inventario de tiendas en la calle Gallardo .....	110
<b>Tabla 4.12:</b> Cálculo de distancias en distribución uniforme entre tiendas por cuadrante y lado en la calle Gallardo .....	118
<b>Tabla 4.13:</b> Cálculo de distancias Tienda-Bahía para el cuadrante 53 .....	119
<b>Tabla 4.14:</b> Cálculo de distancias Tienda-Bahía para el cuadrante 54 .....	120
<b>Tabla 4.15:</b> Cálculo de distancias Tienda-Bahía para el cuadrante 55 .....	121
<b>Tabla 4.16:</b> Cálculo de distancias Tienda-Bahía para el cuadrante 57 .....	122
<b>Tabla 4.17:</b> Cálculo de distancias Tienda-Bahía para el cuadrante 58 .....	123
<b>Tabla 4.18:</b> Cálculo de distancias Tienda-Bahía para el cuadrante 59 .....	124
<b>Tabla 4.19:</b> Datos de Entrada del modelo de Programación Lineal Fase 1 .....	128
<b>Tabla 4.20:</b> Resultados de las variables binarias de decisión del cuadrante 58 .....	130
<b>Tabla 4.21:</b> Costos estimados de mano de obra para la instalación de bahías .....	132
<b>Tabla 4.22:</b> Costos estimados de materiales y administrativos por bahía .....	132
<b>Tabla 4.23:</b> Costos Totales estimados por bahía .....	133
<b>Tabla 4.24:</b> Costos de distribución estimados en la calle Gallardo según tipo de producto .....	133
<b>Tabla 4.25:</b> Comparativa de distancia Total v. Distancia Óptima por Bahía .....	137
<b>Tabla 4.26:</b> Rutas Óptimas por bahía según el modelo de programación Lineal Fase 1 ..	139
<b>Tabla 4.27:</b> Selección de bahías con alto grado de cobertura distribuidos según costos de instalación y distribución .....	141

<b>Tabla 5.1:</b> Inventario de negocios y tiendas próximas a las bahías seleccionadas.....	146
<b>Tabla 5.2:</b> Distribucion porcentual de Inventario de negocios y tiendas próximas a las bahías seleccionadas .....	147
<b>Tabla 5.3:</b> Comparación de resultados de simulación Bahía 2 – Calle Vicente Ochoa ....	170
<b>Tabla 5.4:</b> Comparación de resultados de simulación Bahía 3 – Calle Vicente Ochoa ....	171
<b>Tabla 5.5:</b> Comparación de resultados de simulación Bahía 6 – Calle Eloy Salmon .....	172
<b>Tabla 5.6:</b> Ranking Índice de Desempeño Logístico América Latina y el Caribe .....	173
<b>Tabla 5.7:</b> Comparación con otros estudios realizados en Latino América sobre Logística Urbana .....	176
<b>Tabla 6.1:</b> Costos de Inversión en bahías de carga y descarga.....	179
<b>Tabla 6.2:</b> Resumen de costos totales de inversión en bahías seleccionadas .....	180
<b>Tabla 6.3:</b> Costo de Mantenimiento de bahías de carga y descarga .....	180
<b>Tabla 6.4:</b> Costos de Congestión Urbana en America Latina y el Caribe .....	181
<b>Tabla 6.5:</b> Flujo de Costos Sin Proyecto .....	182
<b>Tabla 6.6:</b> Flujo de Costos Con Proyecto. ....	183
<b>Tabla 6.7:</b> Resumen de costos totales de inversión en bahías seleccionadas .....	185

## Índice De Anexos

<b>Anexo A- 1:</b> La Paz, Proyección de la Mancha Urbana, 2020-2040 .....	198
<b>Anexo A- 2:</b> La Paz, Proyección de la Mancha Urbana, 2020-2040 .....	198
<b>Anexo A- 3:</b> Problemática Vinculada a la DUM .....	199
<b>Anexo B- 1:</b> Diferentes Orientaciones de bahías sobre la calle.....	201
<b>Anexo B- 2:</b> Diferentes tipos de vehículos para carga y descarga de productos .....	201
<b>Anexo B- 3:</b> Señaleticos y configuración de bahías de carga y descarga .....	202
<b>Anexo D- 1:</b> Inventario de Tiendas en el Kilómetro cuadrado macrodistrito “Max Paredes” cuadrantes 1-10.....	204
<b>Anexo D- 2:</b> Inventario de Tiendas en el Kilometro cuadrado macrodistrito “Max Paredes” cuadrantes 11-20.....	205

<b>Anexo D- 3:</b> Inventario de Tiendas en el Kilometro cuadrado macrodistrito “Max Paredes” cuadrantes 21-35.....	206
<b>Anexo D- 4:</b> Inventario de Tiendas en el Kilometro cuadrado macrodistrito “Max Paredes” cuadrantes 36-49.....	207
<b>Anexo D- 5:</b> Inventario de Tiendas en el Kilometro cuadrado macrodistrito “Max Paredes” cuadrantes 51-70.....	208
<b>Anexo D- 6:</b> Inventario de Tiendas en el Kilometro cuadrado macrodistrito “Max Paredes” cuadrantes 71-79.....	209
<b>Anexo E- 1:</b> Inventario de Tiendas en la calle Gallardo.....	211
<b>Anexo E- 2:</b> Histograma de frecuencias de distancias Bahía 1 .....	212
<b>Anexo E- 3:</b> Histograma de frecuencias de distancias Bahía 2 .....	212
<b>Anexo E- 4:</b> Histograma de frecuencias de distancias Bahía 3 .....	213
<b>Anexo E- 5:</b> Histograma de frecuencias de distancias Bahía 4 .....	213
<b>Anexo E- 6:</b> Histograma de frecuencias de distancias Bahía 5 .....	214
<b>Anexo E- 7:</b> Histograma de frecuencias de distancias Bahía 6 .....	214
<b>Anexo E- 8:</b> Histograma de frecuencias de distancias Bahía 7 .....	215
<b>Anexo E- 9:</b> Modelo de Programación Lineal Fase 1 “Minimizacion de distancias” en el cuadrante 53.....	216
<b>Anexo E- 10:</b> Modelo de Programación Lineal Fase 1 “Minimizacion de distancias” en el cuadrante 54-A .....	217
<b>Anexo E- 11:</b> Modelo de Programación Lineal Fase 1 “Minimizacion de distancias” en el cuadrante 54-B.....	218
<b>Anexo E- 12:</b> Modelo de Programación Lineal Fase 1 “Minimizacion de distancias” en el cuadrante 55-A .....	219
<b>Anexo E- 13:</b> Modelo de Programación Lineal Fase 1 “Minimizacion de distancias” en el cuadrante 55-B.....	220
<b>Anexo E- 14:</b> Modelo de Programación Lineal Fase 1 “Minimizacion de distancias” en el cuadrante 57-A .....	221
<b>Anexo E- 15:</b> Modelo de Programación Lineal Fase 1 “Minimizacion de distancias” en el cuadrante 58-B.....	222

<b>Anexo E- 16:</b> Modelo de Programación Lineal Fase 1 “Minimizacion de distancias” en el cuadrante 59-A .....	223
<b>Anexo E- 17:</b> Modelo de Programación Lineal Fase 1 “Minimizacion de distancias” en el cuadrante 59-B.....	224
<b>Anexo E- 18:</b> Datos de entrada para el modelo de programación lineal Fase 2 “Maximizacion de cobertura de Bahías” .....	225
<b>Anexo E- 19:</b> Parametros de entrada del MPL Fase 2 “Maximizacion de cobertura de bahías” .....	230
<b>Anexo E- 20:</b> Modelo de Programación Lineal “Maximizacion de cobertura de Bahías de Carga y Descarga” .....	231
<b>Anexo F- 1:</b> Áreas urbanas de las ciudades principales en America Latina y el Caribe.....	233
<b>Anexo F- 2:</b> Factores a costos de congestion en ciudades principales .....	234
<b>Anexo F- 3:</b> Ilustración de embotellamiento y efectos del tráfico pesado en ciudades.....	235
<b>Anexo F- 4:</b> Distribución de incidentes de tráfico en principales ciudades de Amarica Latina y el Caribe .....	236

## RESUMEN

El proyecto propone un modelo piloto de logística urbana para La Paz, enfocado en optimizar la distribución de mercancías, reducir la congestión vehicular y disminuir costos logísticos. A través de la metodología Mejores Ciudades para la Logística del MIT, se analizó el perfil logístico del municipio, identificando indicadores clave de desempeño para focalizar intervenciones en puntos críticos de congestión, mejorando la eficiencia en zonas de alta demanda.

El modelo de programación lineal desarrollado optimiza rutas de distribución, minimizando distancias recorridas por vehículos de carga y descarga, lo cual reduce tiempos operativos y costos. Este modelo permite una priorización de áreas críticas, basada en la metodología de proceso jerárquico analítico, seleccionando zonas con mayor potencial de mejora para una logística más efectiva.

La simulación realizada con el software Arena evalúa el impacto de implementar bahías de carga y descarga en áreas congestionadas. Los escenarios simulados demostraron mejoras significativas en el nivel de servicio y reducciones notables de congestión, confirmando la efectividad de la propuesta en absorber la demanda logística.

El análisis económico muestra la viabilidad a largo plazo del proyecto, justificando la inversión inicial con ahorros en tiempos y costos operativos. Este proyecto impulsa la competitividad empresarial y optimiza la logística urbana de La Paz, promoviendo el desarrollo económico y la sostenibilidad.

**Palabras clave:** Logística urbana, optimización de rutas, modelo de programación lineal, simulación, distribución de mercancías, perfil logístico, bahías de carga y descarga, última milla.

## SUMMARY

The project proposes a pilot model of urban logistics for La Paz, focused on optimizing the distribution of goods, reducing traffic congestion, and lowering logistics costs. Using the MIT's Better Cities for Logistics methodology, the logistics profile of the municipality was analyzed, identifying key performance indicators to focus interventions on critical congestion points, improving efficiency in high-demand areas.

The developed linear programming model optimizes distribution routes by minimizing distances traveled by cargo vehicles, which reduces operational times and costs. This model enables the prioritization of critical areas, based on the analytical hierarchy process methodology, selecting zones with the greatest potential for improvement to achieve more effective logistics.

The simulation performed with Arena software evaluates the impact of implementing loading and unloading bays in congested areas. The simulated scenarios showed significant improvements in service levels and notable congestion reductions, confirming the effectiveness of the proposal in absorbing logistics demand.

The economic analysis demonstrates the long-term viability of the project, justifying the initial investment with savings in operational times and costs. This project enhances business competitiveness and optimizes urban logistics in La Paz, promoting economic development and sustainability.

**Keywords:** Urban logistics, route optimization, linear programming model, simulation, goods distribution, logistical profile, loading and unloading bays, last mile.

## Capítulo 1 : Introducción

### 1.1. Antecedentes

En el contexto actual de globalización y urbanización acelerada, la logística urbana emerge como un elemento crítico en la articulación de cadenas de suministro eficientes, especialmente en regiones altamente urbanizadas como América Latina y el Caribe (ALC). Esta disciplina, enfocada en optimizar los procesos de entrega y distribución de mercancías en entornos urbanos, no solo busca mitigar los efectos adversos sobre el tráfico, la contaminación y el ruido, sino también fortalecer el tejido económico y social de las ciudades. Al considerar la creciente complejidad de las redes de suministro y la imperiosa necesidad de sistemas de distribución sostenibles, el estudio de la logística urbana y la Distribución Urbana de Mercancías (DUM) se posiciona como una piedra angular para el desarrollo económico y la sustentabilidad urbana. La interacción entre la expansión urbana, el incremento de la demanda de bienes y servicios, y la eficiencia de las operaciones logísticas, delinean un escenario donde la investigación y la innovación en logística urbana se vuelven imprescindibles para abordar los retos presentes y futuros en la gestión de ciudades.

#### 1.1.1. Antecedentes Generales

La logística urbana, juega un papel clave en el desarrollo económico de las ciudades, que, a su vez, es análogo a la Distribución Urbana de Mercancías (DUM), o logística de la última milla, que representa el último eslabón de servicio en la cadena de abastecimiento. El concepto de Logística Urbana incluye todos los movimientos relacionados con actividades comerciales, de suministro, distribución de productos para la industria y el consumo de bienes en las ciudades (Banco Interamericano de desarrollo, 2014).

América Latina y el Caribe (ALC) es una región altamente urbanizada, con aproximadamente el 80% de su población viviendo en áreas urbanas, una cifra que se

incrementa en ciertos países específicos. Estas ciudades y sus alrededores también albergan una gran proporción de la industria manufacturera, y la mayoría de las importaciones y exportaciones, de diversos tipos, pasan a través de los puertos ubicados en zonas urbanas. Esto indica que la gran mayoría de las mercancías en América Latina se producen, consumen y/o transitan por las ciudades de la región.

El crecimiento de la población urbana tiene como consecuencia directa un aumento en la demanda de productos y servicios, lo cual requiere un incremento en las actividades logísticas necesarias para abastecerlos de manera adecuada. Sin embargo, a medida que las ciudades se expanden, estas operaciones logísticas se enfrentan a desafíos en infraestructuras congestionadas, especialmente en las redes viales y en los estacionamientos. Estas condiciones complicadas de operación suelen resultar en un empeoramiento de los niveles de tráfico, ruido y contaminación en la ciudad, lo cual afecta la competitividad de las operaciones logísticas y las actividades comerciales relacionadas. Aunque el transporte de carga solo representa entre el 10% y el 20% del tráfico en la ciudad, genera impactos desproporcionados en la congestión vehicular, la contaminación ambiental y la seguridad vial (Blanco, 2014)

Sin embargo, en lo que respecta a la movilidad urbana de mercancías, las ciudades de ALC han avanzado significativamente menos. Aún existen muchos desafíos en las operaciones y en la tipología de los actores involucrados en la logística urbana en la región. En este sentido, se está produciendo una transformación activa en muchas ciudades de la región en términos de cómo se lleva a cabo la logística urbana y quiénes son los actores relevantes en este ámbito (SPIM-Taryet & CAF, 2019).

El propósito de este proyecto de investigación es realizar un estudio integral sobre la movilidad de carga o logística urbana en la ciudad de La Paz. Mediante el uso de datos censales y diversas herramientas analíticas, se busca caracterizar las diferentes zonas

comerciales de la ciudad desde esta perspectiva. Este estudio proporcionará una clasificación de las áreas urbanas que presenten características logísticas similares, lo cual permitirá focalizar y adaptar las decisiones de política pública a las particularidades de cada zona en específico. De esta manera, se busca establecer una base sólida de conocimiento para mejorar la planificación y gestión de la movilidad de carga en la ciudad de La Paz.

### ***1.1.2. El municipio de La Paz.***

El municipio de Nuestra Señora de La Paz abarca una extensa área de 3.020 Km<sup>2</sup> en su totalidad. En su núcleo urbano, se encuentra la sede del Gobierno Nacional, que se extiende sobre una superficie de 149 Km<sup>2</sup>. Esta región urbana es reconocida como el centro de mayor importancia en la zona altiplánica del país en términos de población. Según las estimaciones demográficas basadas en datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística (INE), se proyecta que la población del departamento supere los 3.100.000 habitantes durante el presente año. (GAML, 2017).

La posición geográfica de la ciudad de La Paz confirma su condición de único centro urbano de atracción en el occidente del país y en el eje central. En consecuencia, la competitividad del municipio adquiere un papel fundamental al convertirse en un área metropolitana económicamente integrada. Aunque la industria desempeña un papel destacado, especialmente en el municipio de El Alto, son las rutas comerciales internacionales las que atraviesan La Paz, transportando los volúmenes más significativos del comercio boliviano. La ciudad exhibe una dinámica propia que se proyecta no solo en su región circundante, sino en todo el país. (GAML, 2017)

Los macro distritos Centro y Max Paredes se destacan como los principales centros comerciales de la ciudad, no solo por su relevancia en términos de demanda de servicios públicos y su función como punto de conexión entre distintas áreas del municipio, sino también por ser los macro distritos con el mayor número de licencias de funcionamiento

otorgadas para negocios comerciales. Estos dos macro distritos concentran la mayor cantidad de licencias de funcionamiento otorgadas por el municipio, lo que refleja su vitalidad económica y su importancia como destinos preferidos por los emprendedores y comerciantes. Asimismo, también albergan el mayor número de vendedores registrados, quienes contribuyen a la dinámica comercial intensa y activa que caracteriza a estas zonas de la ciudad.

### ***1.1.3. Revisión Literaria***

Según el BID, en relación a las tendencias logísticas en la distribución urbana. La distribución de mercancías en entornos urbanos plantea cuatro cuestiones principales: la congestión en áreas centrales y la preservación de sectores históricos, la congestión generalizada en la trama urbana, las preocupaciones ambientales y la reducción de emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero, y los costos logísticos y los riesgos de inflación a nivel local. Cabe destacar que cada vez más, los proyectos de centros logísticos se integran en los planes y programas de ordenamiento territorial urbano-metropolitano debido a las externalidades positivas que generan. Estos centros, al facilitar la distribución centralizada, reducen el número de vehículos en las flotas y acortan las distancias recorridas por cada vehículo, lo cual alivia la congestión en las redes viales urbanas y, por ende, disminuye las emisiones de contaminantes y gases de efecto invernadero. Además, los centros logísticos representan una oportunidad de negocio inmobiliario, similar a los parques industriales, y son estos los resultados que se persiguen, al menos en su mayoría, en nuestro contexto local. (Juan Pablo Antun & BID, 2013)

Bajo el amplio ámbito de la logística urbana y en respuesta a este desafío, el Massachusetts Institute of Technology (MIT), a través del Megacity Logistics Lab, ha estado desarrollando un atlas logístico urbano que se centra en los criterios de la "última milla". Este

atlas tiene como objetivo estudiar diversos factores relevantes en la dinámica de las ciudades y proporcionar apoyo en la toma de decisiones en la planificación urbana. Se han utilizado varias metodologías, pero una que ha sido implementada en diferentes lugares de la región consiste en caracterizar sectores de las ciudades mediante la medición de la densidad comercial, el flujo de bienes, la intensidad de las entregas, entre otros, en una escala de Km<sup>2</sup>. ("Why Last Mile Logistics", 2019)

Se hará mención de otro artículo de investigación realizado en la ciudad colombiana de Barranquilla por investigadores de la Universidad Libre local. Esta investigación aborda las problemáticas principales en la logística urbana, analizándolas desde dos perspectivas importantes: la perspectiva de la carga y la perspectiva de la ciudad. Entre los problemas identificados se encuentran la degradación del espacio urbano, el ruido, las emisiones contaminantes y la congestión vehicular. A partir de la experiencia de los panelistas y el análisis de los actores involucrados, se establecen diversas estrategias resumidas en sistemas de información, distribución, producción sincronizada y políticas públicas. Como resultado, se llega a algunas conclusiones, entre las cuales se destaca que los problemas en la logística urbana no tienen una solución universal. Las estrategias propuestas se centran en la reducción de los costos de transporte, la eficiencia en la cadena de suministro y la mejora de la movilidad en la ciudad. En consecuencia, se enfatiza la optimización de los recursos financieros como un elemento fundamental para las empresas en este contexto. (Suero et al., 2013)

Una vez culminado el congreso chileno de logística urbana e ingeniería de transporte, se concluyó que el transporte urbano de carga es un aspecto fundamental en el desarrollo de un país, afectando su economía y la calidad de vida de sus habitantes. Considerando el objetivo de alcanzar una logística urbana sustentable, donde la sustentabilidad considera las dimensiones de eficiencia económica, equidad social y reducción del impacto sobre el medio ambiente. Además, se refrenda la importancia de las políticas públicas que rigen la distribución urbana de mercancías, estas que están enfocadas a hacer de este proceso algo

sustentable mediante restricciones, mejorar la eficiencia e incentivos económicos para reducir las externalidades del transporte, finalmente se procede a analizar su eventual aplicación en la realidad chilena. (*Revisión crítica a políticas de logística urbana sustentable*, 2019)

En el ámbito nacional o local, no se han encontrado investigaciones específicas relacionadas con la logística urbana o la distribución urbana de mercancías. Sin embargo, basándonos en los antecedentes mencionados en los párrafos anteriores y en las experiencias de otros grandes centros urbanos de América Latina, se presenta un estudio profundo con características similares en la ciudad de La Paz.

Dado el rápido avance tecnológico, la logística urbana se encuentra estrechamente vinculada a este progreso. Se vislumbra un potencial de desarrollo en los campos de infraestructura y sustentabilidad mediante la implementación de políticas que regulen la circulación de vehículos de distribución dentro de las ciudades. Estas políticas podrían incluir la asignación de áreas exclusivas para la carga y descarga de mercancías, la creación de centros de consolidación, la implementación de horarios nocturnos para las entregas y la adopción de vehículos que no utilicen combustibles fósiles, entre otras soluciones. El objetivo principal de estas medidas sería mejorar tanto la calidad de vida de los habitantes como las operaciones de la logística urbana en La Paz.

La base bibliográfica de la revisión literaria del proyecto resalta el estado del arte de los últimos 10 años en relación a la logística urbana y los estudios realizados por el MIT en la metodología aplicada, por otro el CAF como el BID trabajan con temas relacionados respecto a la logística de las mega ciudades de América Latina y el Caribe (LAC) como también señalan los problemas adyacentes a la congestión y a la falta de infraestructura en la región,

toda esta revisión bibliográfica base se encuentra en la siguiente tabla como base referencial de todo el estudio llevado a cabo:

**Tabla 1.1:** Lista de Títulos y Autores referencial sobre logística Urbana en America Latina y Metodología de la Ultima Milla

TÍTULO	AUTOR	AÑO
Perfil Logístico de América Latina	Banco de Desarrollo de América Latina (CAF)	2016
Guía técnica extendida para bahías de carga y descarga	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit	2022
Impacto de la infraestructura en las operaciones logísticas Gestión de carga y entrega de mercancías	Gabriela Maraví, Diego Matuk y Mario Chong	2019
Distribución Urbana de Mercancías	Banco Interamericano de desarrollo (BID)	2013
Why Last Mile Logistics	MIT Megacity Logistics Lab	2019
Planteamientos Estratégicos para la Logística Urbana: Perspectiva de la Relación Universidad-Estado-Empresa	Diego Fernando Suero Pérez Erika Fontalvo Orozco Karen Meza Peralta	2013
Logística urbana: Los desafíos de la Distribución Urbana de Mercancías	Banco Interamericano de desarrollo (BID)	2014
Congestión urbana en América Latina y el Caribe: características, costos y mitigación	Banco Interamericano de desarrollo (BID)	2021
Desafíos para la movilidad de carga en zonas de congestión	Daniel Merchán y Edgar Blanco	2016

**Fuente:** Elaboración propia con base a consulta bibliográfica de temas relacionados al estudio

Como se observa en el conjunto anterior se muestra las guías que son de utilidad en la revisión bibliográfica y base para el diseño de la propuesta del proyecto en función al análisis de la problemática planteada en el capítulo 1 del proyecto.

## 1.2. Justificación

A través de un enfoque integrado que combina análisis econométrico, optimización cuantitativa y tecnologías de simulación, este proyecto aspira a mejorar significativamente la distribución de mercancías y la movilidad en la ciudad. Encarnando los principios académicos y respondiendo a las demandas sociales y económicas locales, esta iniciativa representa un compromiso hacia la innovación y la aplicación.

### 1.2.1. Justificación Académica.

En el marco de los lineamientos académicos y regulaciones establecidas por la Universidad Mayor de San Andrés, y en el contexto de los procesos de enseñanza y

aprendizaje de la licenciatura en Ingeniería Industrial, se propone el desarrollo de un proyecto de grado. Este proyecto de investigación tiene como objetivo ofrecer una solución óptima a los desafíos logísticos que enfrenta el municipio de La Paz, siendo la Ingeniería Industrial el campo de acción principal.

Para lograr este objetivo, se requerirá el uso de herramientas precisas que se relacionen e interactúen con la Logística Urbana. Entre estas herramientas se incluyen el análisis de datos econométricos para la caracterización del problema, métodos cuantitativos para la toma de decisiones, como modelos de optimización, que están estrechamente vinculados a la investigación de operaciones. También se utilizará la simulación de operaciones para evaluar diferentes escenarios y soluciones propuestas. Además, se empleará la ingeniería de sistemas para comprender y diseñar soluciones integrales, y se realizará la preparación y evaluación de proyectos para garantizar la viabilidad y eficacia de las propuestas planteadas.

### ***1.2.2. Justificación Económica-Social***

Se busca crear espacios, herramientas y mecanismos que mejoren las condiciones actuales para todos los actores involucrados, como el municipio y el sector empresarial. Se espera que estas mejoras generen un impacto económico positivo en el municipio en un futuro cercano y a mediano plazo.

Es importante destacar que el proyecto se alinea con los fundamentos que dirigen el Modelo Académico del Sistema de la Universidad Boliviana. Estos fundamentos son un conjunto de premisas cualitativas que guían la acción y la perspectiva de la universidad en su desarrollo institucional, siempre en línea con los intereses de la sociedad. La Universidad Mayor de San Andrés, como institución pública, asume la responsabilidad social de contribuir al bienestar y progreso de la comunidad a la que pertenece.

### **1.2.3. Justificación Metodológica**

En el campo de la ciencia, existen diferentes tipos de investigación, cada uno con sus propias características y enfoques. En el caso del proyecto, se considera que se enmarca dentro de los siguientes tipos de investigación:

- Investigación aplicada: El proyecto busca abordar una problemática real y concreta, que es la movilidad de personas y mercancías en el municipio. Se tiene interés en obtener conocimientos que puedan aplicarse directamente en la solución de este problema, en lugar de buscar un conocimiento de valor universal. El enfoque se centra en generar resultados prácticos y aplicables a corto plazo.
- Investigación tecnológica: El objetivo principal del proyecto es encontrar soluciones prácticas y efectivas para mejorar la logística urbana y la distribución de mercancías en el municipio. Para lograrlo, se enfocará en el desarrollo y diseño de nuevas herramientas, métodos y procedimientos que puedan transformar y optimizar la realidad actual. El enfoque está orientado a la aplicación de la tecnología en la solución de problemas logísticos.

Es importante destacar que estas clasificaciones de investigación pueden variar según diferentes autores y contextos. Sin embargo, se considera que los tipos de investigación aplicada y tecnológica son los más adecuados para el proyecto, ya que permiten abordar de manera práctica y con un enfoque tecnológico los desafíos de la logística urbana en el municipio (Suárez, 2016).

### **1.3. Planteamiento del Problema**

El municipio de La Paz enfrenta retos críticos en logística urbana que inciden en la congestión, contaminación, consumo de combustible, ratios de desempeño y seguridad vial,

resaltando la urgencia de soluciones innovadoras y sostenibles. Estos desafíos, que impactan tanto a la ciudadanía como al tejido empresarial local, especialmente a las pequeñas y medianas empresas, subrayan la necesidad de abordajes integrados que combinen ingeniería, planificación urbana y gestión ambiental. El reconocimiento de estos problemas es el primer paso hacia políticas públicas que fomenten una logística de mercancías eficiente y respetuosa con el entorno, apuntando a mejorar la calidad de vida en La Paz y la competitividad empresarial.

### **1.3.1. Descripción del Problema**

La falta de prácticas adecuadas de logística urbana en el municipio de La Paz presenta una serie de problemas que deben ser abordados. Entre ellos, se destacan los siguientes:

1. **Congestión:** El flujo constante de camiones y vehículos de carga en las vías públicas contribuye significativamente a la congestión del tráfico en la ciudad. Las paradas frecuentes, la ocupación de carriles de circulación y la concentración en horas pico generan retrasos y dificultades en la movilidad de las personas.
2. **Contaminación:** El transporte urbano de mercancías, especialmente aquellos vehículos que utilizan motores diésel, emiten altos niveles de contaminantes, como partículas en suspensión, que afectan la calidad del aire y la salud de los ciudadanos. Además, el impacto visual y sonoro de los vehículos de carga también contribuye a la degradación ambiental.
3. **Accidentes viales:** La presencia de camiones y vehículos de carga en las calles aumenta el riesgo de accidentes viales. El tamaño y la maniobrabilidad de estos vehículos pueden representar un desafío para la seguridad vial, especialmente en áreas urbanas congestionadas.
4. **Consumo de Combustible:** Las prácticas ineficientes de distribución y la congestión vehicular prolongan los tiempos de traslado, obligando a los vehículos de carga a

permanecer más tiempo en circulación y, consecuentemente, a consumir más combustible. Este aumento no solo eleva los costos.

5. **Ratios de desempeño:** Estos índices, que pueden incluir tiempos de entrega prolongados, altas tasas de emisión de contaminantes por entrega, y un incremento en los costos logísticos por unidad de producto, destacan las ineficiencias en el sistema de distribución de mercancías. Tales indicadores no solo afectan la competitividad y la sostenibilidad económica de las empresas, sino que también tienen un impacto negativo en la calidad de vida urbana y en el medio ambiente.

Estos problemas logísticos también tienen un impacto en las empresas, especialmente en las micro y pequeñas empresas. Los costos logísticos se incorporan en la estructura de costos totales de estas empresas, lo que puede afectar su competitividad. Por lo tanto, es fundamental que el municipio trabaje en colaboración con las empresas para desarrollar planes de movilidad intraurbana de personas y mercancías que permitan reducir costos y optimizar los recursos disponibles.

Además, es necesario tener en cuenta el impacto ambiental de la distribución urbana de mercancías en la ciudad. La alta concentración de vehículos de carga en el parque automotor del municipio contribuye a la generación de contaminantes, lo cual afecta la calidad del aire y la salud de los ciudadanos. Esto requiere la implementación de medidas y políticas que fomenten el uso de medios de transporte más limpios y sostenibles.

En resumen, la falta de prácticas adecuadas de logística urbana en el municipio de La Paz genera problemas de congestión, contaminación y seguridad vial. Estos desafíos deben ser abordados mediante la implementación de políticas y medidas que promuevan una distribución eficiente y sostenible de mercancías, garantizando así una mejor calidad de vida para los ciudadanos.

### ***1.3.2. Análisis Casuístico del Problema.***

Es alentador ver que el municipio paceño tiene una visión futura de convertirse en una metrópoli moderna y ha desarrollado un plan integral para lograrlo. Para lograr una transformación exitosa, es importante que la logística urbana sea considerada como un elemento fundamental en las políticas y planificación urbana.

La integración de la logística urbana en las políticas urbanas permitirá abordar de manera más completa y eficiente los desafíos relacionados con la distribución de mercancías en la ciudad. Esto implica considerar la logística urbana en la planificación territorial y el urbanismo, asegurando la creación de infraestructuras y espacios adecuados para la carga y descarga de mercancías, así como la optimización de las rutas de distribución.

Además, es importante vincular la logística urbana con el medio ambiente, promoviendo prácticas sostenibles y el uso de medios de transporte más limpios y eficientes. Esto contribuirá a reducir el impacto ambiental de la distribución de mercancías y mejorar la calidad del aire en la ciudad.

Asimismo, la integración de la logística urbana en las políticas de producción y comercio permitirá impulsar la eficiencia y competitividad de las empresas locales, especialmente las micro y pequeñas empresas. La optimización de la cadena de suministro, la reducción de costos logísticos y la mejora en los tiempos de entrega serán elementos clave para promover el desarrollo económico y el crecimiento empresarial.

De esta manera, para lograr la visión de una metrópoli moderna, es esencial que el municipio paceño integre el concepto de logística urbana en sus políticas urbanas. Esto permitirá abordar de manera integral los desafíos relacionados con la distribución de mercancías, promoviendo prácticas sostenibles, mejorando la eficiencia de las empresas y contribuyendo al desarrollo económico y la calidad de vida de los ciudadanos.

**Ilustración 1.1:** Árbol de Problemas, problemática de la Logística Urbana en el Municipio.



**Fuente:** Elaboración propia con base a información recabada del Municipio.

En función al análisis de problemas, se genera la siguiente pregunta, que enfatiza la credibilidad y confiabilidad que respalda a nuestro proyecto:

*El municipio de La Paz, para la distribución urbana de mercancías, ¿requerirá de un modelo de logística urbana?*

### 1.3.3. Soluciones Opcionales y Toma de Decisiones

Las soluciones que se proponen parecen ser pertinentes para abordar los desafíos de la logística urbana en el municipio paceño. Aquí está un resumen de las posibles soluciones mencionadas:

**Caracterización:** Realizar un inventario comercial para calcular la densidad comercial en la ciudad y comprender la dinámica del sector. Esto ayudará a visualizar y entender mejor la infraestructura existente.

**Centros logísticos:** Establecer centros logísticos estratégicamente ubicados que concentren y redistribuyan la carga, regulen el tráfico de vehículos y mejoren las estrategias de distribución en la ciudad.

**Utilización de Big Data:** Utilizar grandes volúmenes de datos para elaborar modelos predictivos de distribución y mejorar la fiabilidad de las entregas. Esto implica almacenar información sobre los hábitos de consumo de los clientes y utilizarla para optimizar las entregas.

**Rediseño de redes de distribución:** Considerar el uso de almacenes urbanos más pequeños ubicados en el centro de la ciudad. Estos almacenes se utilizan para productos de alta rotación y como plataformas de cross-docking. La inversión en inmuebles antiguos para convertirlos en instalaciones logísticas también es una opción.

**Modelos de optimización:** Desarrollar modelos de predicción de la demanda en la logística urbana de mercancías, centrándose en la cantidad de viajes generados en lugar de la cantidad de mercancía. Además, utilizar modelos de localización de facilidades logísticas para mejorar la integración y el desempeño de los actores involucrados.

Estas soluciones abordan aspectos clave como la caracterización, la infraestructura, la tecnología, la eficiencia en la distribución y la planificación de los centros logísticos. Al implementar estas medidas, el municipio paceño estará en camino de enfrentar los desafíos de la logística urbana y mejorar la movilidad de personas y mercancías en la ciudad.

**Tabla 1.2: Matriz De Priorización, Selección de Alternativas**

MATRIZ DE PRIORIZACIÓN							
Impacto Viabilidad Técnica	Centros Logísticos	Utilizacion de Big Data	Caracterizacion y Rediseño	Modelo de Prediccion de demanda	Modelo de Localizacion de facilidades	Total	Orden
Centros Logísticos		1	0	0	1	2	4
Utilizacion de Big Data	0		0	0	0	0	5
Caracterizacion y Rediseño	1	1		1	1	4	1
Modelo de Prediccion de demanda Logistica	0	1	1		0	2	3
Modelo de localizacion de facilidades logisticas	1	1	0	1		3	2

**Fuente:** *Elaboración Propia*

Es una buena estrategia utilizar una matriz de prioridades para comparar y evaluar las diferentes soluciones. Al priorizar la solución relacionada con la caracterización del casco viejo del municipio, estás siguiendo una estrategia acertada, ya que la caracterización es un paso fundamental en el desarrollo de la logística urbana.

La caracterización te permitirá comprender mejor la infraestructura existente, la dinámica del sector y la densidad comercial en el casco viejo. Esto te proporcionará una base sólida para el diseño de un modelo piloto y para la aplicación de los modelos de optimización de predicción y localización. Además, el rediseño de rutas también es un aspecto importante a considerar en tu plan logístico municipal.

Es importante destacar que la integración de la movilidad de personas y la logística urbana de mercancías es fundamental, como sugieren los organismos regionales mencionados. Al trabajar en un plan conjunto que aborde ambas dimensiones, estarás abordando los desafíos de manera integral y maximizando el impacto de las soluciones.

En resumen, enfocarse en la caracterización del casco viejo como paso inicial y luego integrar las diferentes soluciones en un plan logístico municipal te permitirá abordar de manera efectiva los desafíos de la logística urbana en el municipio paceño.

Finalmente, la visión futura del municipio paceño apunta a constituirse en una metrópoli moderna, el municipio ha desarrollado un plan integral denominado “La Paz que queremos-La Paz 2040”, este plan hace hincapié principalmente en el interés la movilidad de las personas, a través del plan de desarrollo intra urbano; sin embargo, la movilidad de las mercancías no está aún tan desarrollada en comparación con el interés anterior, la búsqueda de una metrópoli moderna requerirá que se incluya el concepto de logística urbana, por supuesto en tenor a todas las características propias del municipio. Esto implica que la logística urbana deberá integrarse de manera más completa en políticas urbanas, no solo de movilidad de las personas, sino también de planificación territorial, urbanismo, medio ambiente, producción y comercio.

#### **1.3.4. *Árbol de Objetivos***

El árbol de objetivos establece el curso de los propósitos que se quiere lograr con el diseño de un modelo de logística urbana en la ciudad de La Paz, mejorando la planificación urbana, reduciendo los costos logísticos, reduciendo la emisión de partículas contaminantes mediante el descongestionamiento de vías es así que el árbol siguiente es una representación de lo que se busca con el diseño del modelo y la funcionalidad de los medios a utilizar que son la matriz del estudio del proyecto.

**Ilustración 1.2:** *Árbol de Objetivos, Logística Urbana en el municipio de La Paz*



**Fuente:** *Elaboración propia con base a información recabada del Municipio.*

#### **1.4. Objetivos del Proyecto**

Este proyecto tiene como meta primordial el diseño de un modelo piloto de logística urbana para el municipio de La Paz, orientado a optimizar la distribución de mercancías y apoyar el Plan integral de movilidad. Se enfoca en objetivos específicos que incluyen la generación de un perfil logístico municipal mediante el análisis detallado de las zonas comerciales clave, el desarrollo de un modelo de programación lineal.

#### **1.4.1. Objetivo General**

Diseñar un modelo piloto de logística urbana, que contribuya al Plan integral de movilidad y que permita renovar la distribución urbana de mercancías en el municipio de La Paz.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos.**

Los Objetivos específicos son:

- ✓ Establecer el perfil logístico del municipio, a través de la caracterización de las principales zonas comerciales del municipio de La Paz.
- ✓ Diseñar un modelo de programación lineal, a través de la selección y análisis de las variables determinantes arrojadas por el perfil logístico.
- ✓ Evaluar la eficiencia de las bahías logísticas urbanas en La Paz, a través de un modelo de simulación.
- ✓ Determinar la factibilidad económica del proyecto.

#### **1.5. Estructura Analítica del Proyecto (EAP)**

La estructura analítica del proyecto de acuerdo a la metodología de la CEPAL (2015, pág. 80) consiste en un diagrama ajustado a la alternativa seleccionada con 4 niveles jerárquicos los cuales son el fin, propósito, componentes y actividades que son llevados a cabo en el proyecto, el siguiente esquema muestra dicha estructura en función a las necesidades y características del proyecto el cual posteriormente es tomado en cuenta como base para la construcción de la matriz de marco lógico:

La ilustración 1.3 presenta 3 productos que tienen como fin mejorar el ordenamiento urbano en el municipio de La Paz, en primera instancia el desarrollo del perfil logístico característico del municipio de La Paz, como segundo producto los modelos de optimización

para la implementación de bahías de carga y descarga como medios para la mejora del orden urbano en zonas comerciales y finalmente el modelo de simulación para determinar indicadores claves de rendimiento como también garantizar la viabilidad y factibilidad de estas ante la presentación de esta para su implementación.

**Ilustración 1.3:** Estructura Analítica del Proyecto



**Fuente:** Elaboración propia con base a la metodología de la CEPAL y los objetivos del proyecto de logística urbana para el municipio de La Paz

## 1.6. Matriz de Marco Lógico

*Tabla 1.3: Matriz de Marco Lógico del proyecto*

NIVEL	RESUMEN NARRATIVO	INDICADOR	Fuente de Información	Método de Recolección	Frecuencia	Responsable
FIN	F1. Mejorar el ordenamiento urbano en las zonas comerciales del municipio de La Paz	Al finalizar el proyecto se presenta el impacto positivo en la logística urbana vehicular con la reducción de congestamiento en zonas comerciales de la ciudad de La Paz	Modelo de Simulación de bahías	Análisis Estadístico y replicas del modelo	Cualquier momento	Autor
PROPOSITO	P1. Diseñar un Modelo de Logística Urbana Para el Municipio de La Paz	Se Obtiene el perfil Logístico de la ciudad de La Paz	Registros del Proyecto	Revisión de los registros	Al finalizar la fase	Autor
		Se obtiene el modelo base para la optimización de bahías en zonas comerciales	Registros del Proyecto	Revisión de los registros	Al finalizar la fase	Autor
		Se obtiene el modelo de simulación basado en los parámetros actuales y propuestos	Registros del Proyecto	Revisión de los registros	Al finalizar la fase	Autor

COMPONENTES	C1. Perfil Logístico Urbano del Municipio de La Paz	Uso de espacios por Macro distritos según distribución porcentual	Registros del Proyecto	Revisión de los registros	Al finalizar la fase	Autor
		Kilómetro Cuadrado según área comercial en un número determinado de cuadras y calles	Registros del Proyecto	Encuestas y estudio de campo	Trimestral	Autor
		Distribución porcentual de tiendas por tipo de producto o servicio	Registros del Proyecto	Encuestas y estudio de campo	Trimestral	Autor
		Se obtiene el porcentaje de inventario de regulaciones en el kilómetro cuadrado	Registros del Proyecto	Encuestas y estudio de campo	Trimestral	Autor
		Al finalizar se obtiene el flujo vehicular y las horas pico de carga y descarga de mercadería	Registros del Proyecto	Encuestas y estudio de campo	Trimestral	Autor
		Al finalizar se tiene los tipos de vehículos más usados en distribución porcentual	Registros del Proyecto	Encuestas y estudio de campo	Trimestral	Autor
		Se cuenta con los tiempos promedios de descarga	Registros del Proyecto	Encuestas y estudio de campo	Trimestral	Autor

		Al finalizar se cuenta con los rangos de distancia promedio de vehículo a tiendas	Registros del Proyecto	Encuestas y estudio de campo	Trimestral	Autor
		Al finalizar se cuenta con indicadores de desempeño de Logística Urbana	Registros del Proyecto	Revisión bibliográfica	Al finalizar la fase	Autor
COMPONENTES	C2. Modelo de Optimización e Implementación de Bahías de carga y descarga	Al finalizar se cuenta con la selección de calles influyentes	Registros del Proyecto	Resultado de encuestas de campo	Mensual	Autor
		Se cuenta con la valoración de la densidad vehicular de las calles influyentes	Registros del Proyecto	Encuestas y estudio de campo	Mensual	Autor
		Al finalizar se cuenta con la distancia de todas las tiendas a las bahías opcionales	Registros del Proyecto	Encuestas y estudio de campo	Mensual	Autor
		Conjunto de bahías optimas seleccionadas	Registros del Proyecto	Análisis Matemático basado en optimización	Mensual	Autor
		Rutas optimas de bahías hacia las tiendas	Registros del Proyecto	Análisis Matemático basado en optimización	Mensual	Autor
		Costo total de instalación de bahías en la zona seleccionada	Registros del Proyecto	Análisis Matemático basado en optimización	Mensual	Autor

COMPONENTES	C3. Simulador de implementación de Bahías de Carga y Descarga	Adaptación de datos de entrada	Registros del Proyecto	Encuestas basadas en el perfil logístico	Trimestral	Autor
		Planteamiento del modelo conceptual	Registros del Proyecto	Revisión bibliográfica	N/A	Autor
		Estructuración del modelo en simulador	Documentación Simulador Arena	Componentes del simulador en Arena	N/A	Autor
		Análisis del impacto de las bahías en la logística Urbana	Documentación Simulador Arena	Componentes del simulador en Arena	Al finalizar la fase	Autor
		Análisis comparativo de escenarios con bahías de descarga	Registros del Proyecto	Análisis matemático	Al finalizar la fase	Autor

**Fuente:** Elaboración con base a la metodología de la CEPAL y la estructura analítica de logística urbana para el municipio de La Paz, 2024.

## **1.7. Alcance y Limitaciones**

### **1.7.1. Alcances.**

- ✓ El presente proyecto explorara el contexto logístico urbana en el que desarrollan sus actividades los distintos actores, entre ellos, ciudadanos, comercios, proveedores, transportistas y clientes.
- ✓ La investigación prestara particular atención a la distribución urbana de mercancías (DUM), la DUM normalmente hace referencia a distribución de mercancías destinada al comercio, sector horeca (hostelería y alimentos) y familias.

### **1.7.2. Limitaciones.**

- La dificultad presente en el acceso a fuentes de información primaria y secundaria, en particular en cuanto a datos municipales (mapas cartográficos, movimiento comercial en el casco viejo, etc.)
- Banco de datos incompletos y no actualizados.
- El periodo de tiempo de recolección de la información comprende un año de duración a partir de febrero de 2022.

### **1.7.3. Marco Normativo**

Bajo las características y particularidades del presente proyecto las siguientes leyes establecen los parámetros normativos de estudio y cumplimiento:

#### **1.7.3.1. Ley General del Transporte (Ley N° 165)**

La ley N° 165 Ley General del Transporte, en su artículo 4, ámbito de aplicación, en segundo punto indica:

“Las instituciones, entidades y reparticiones de los diferentes niveles central y autonómicos de gobierno que facilitan el flujo de pasajeros y la carga a nivel nacional e

internacionales”; además, en el punto cuarto indica: “Las personas naturales o jurídicas que desarrollan y/o administran infraestructura y prestan servicios logísticos complementarios al transporte.”

### **1.7.3.2. Ley de Transporte y Transito Urbano (Ley N° 14)**

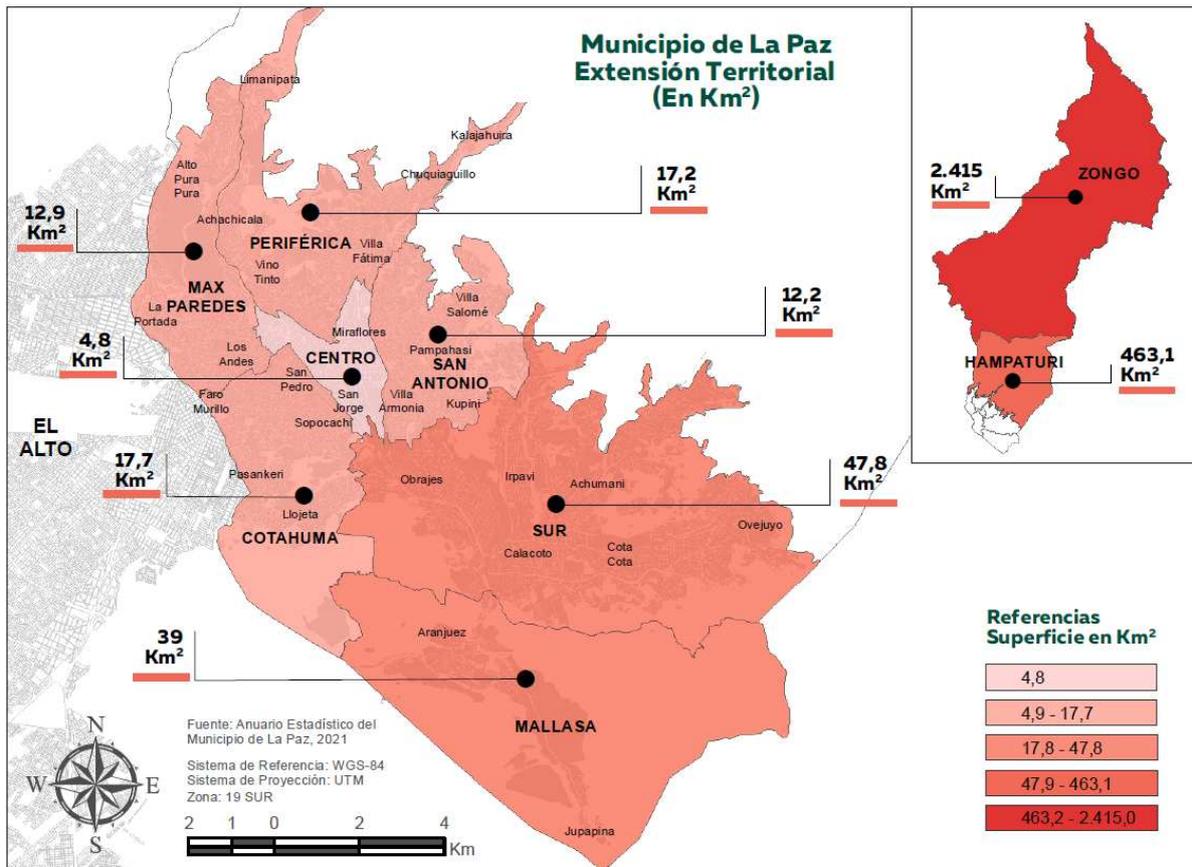
Ley Municipal N°14 de Transporte y Transito Urbano, qué, en su artículo primero, disposiciones generales, señala lo siguiente: “La presente ley municipal tiene por objeto normar, regular y controlar el transporte y transito urbano, qué forman parte del sistema de movilidad urbana, en la jurisdicción del municipio de La Paz, bajo criterios de calidad, equidad y seguridad.”

De esta manera, bajo la normativa vigente y criterios de logística urbana sostenible y segura, desarrollaremos esta investigación.

### **1.7.4. Alcance Geográfico.**

Para efectos de la recolección de datos para la generación del perfil logístico, se Abarcarán los distritos con mayor movimiento comercial en el municipio paceño: Centro y Max Paredes.

Ilustración 1.4: La Paz, Delimitación Geográfica del proyecto<sup>1</sup>



Fuente: Extraído del Anuario estadístico del Municipio de La Paz.



<sup>1</sup> El mapa presentado es parte del anuario de la gobernación de La Paz este si bien muestra todos los macrodistritos presentes en el municipio, solo se toma en cuenta el macro distrito Max Paredes y parte del Macro distrito Centro.

## Capítulo 2 : Marco Teórico

### 2.1. Logística

La logística es una función operativa importante que comprende todas las actividades necesarias para la obtención y administración de materias primas y componentes, así como el manejo de los productos terminados, su empaque y su distribución a los clientes. (Ferrel O.C. & Hirt Geoffrey, 2004)

La logística es el proceso de administrar estratégicamente el flujo y almacenamiento eficiente de las materias primas, de las existencias en proceso y de los bienes terminados del punto de origen al de consumo. (Lamb Charles & McDaniel Carl, 2012)

La logística es el movimiento de los bienes correctos en la cantidad adecuada hacia el lugar correcto en el momento apropiado. (Franklin B. Enrique, 2004)

Ahora bien, bajo estas tres definiciones y a manera de síntesis, adoptaremos de manera más amplia y precisa la siguiente definición: La logística es una función operativa que comprende todas las actividades y procesos necesarios para la administración estratégica del flujo y almacenamiento de materias primas y componentes, existencias en proceso y productos terminados; de tal manera, que éstos estén en la cantidad adecuada, en el lugar correcto y en el momento apropiado.

### 2.2. Logística y la Cadena de Suministros.

Logística y cadena de suministro es un conjunto de actividades funcionales (transporte, control de inventario, etc.) que se repiten muchas veces a lo largo del canal de flujo, mediante las cuales la materia prima se convierte en productos terminados y se añade valor para el consumidor en el lugar y momento oportuno. La importancia de la logística gira en torno a crear valor: valor para los clientes y proveedores de la empresa, y valor para sus

accionistas. Los productos y servicios no tienen valor a menos que estén en posesión de los clientes cuándo (tiempo) y dónde (lugar) ellos deseen consumirlos. (Suero et al., 2013)

Una cadena de suministro en su conjunto abarca desde productos básicos (lo que está en el suelo, mar o aire) para vender el producto final al cliente final para reciclar el producto usado producto. El material fluye de un producto básico (como una mina de bauxita como fuente de mineral de aluminio) al producto terminado (como una lata de cola).(Harrison et al., 2014)

### **2.3. Logística Urbana.**

En los últimos años los conceptos logísticos están siendo aplicados a la optimización y mejoramiento del flujo de las ciudades, lo que se conoce como logística urbana, debido a que se están presentando problemas de congestión de transporte en la distribución de productos, ya que muchas veces, las operaciones de carga y descarga de mercancías se realizan (justificadamente o no) de forma que entorpecen el tráfico, esto junto con la inadecuada ubicación de los centros de consumo y la escasez de sistemas alternativos de transporte y parqueaderos son algunas de las actividades erróneas dentro del flujo de la ciudad que necesita ser controlado y solucionado por la logística urbana. (Suero et al., 2013)

El concepto de la logística urbana ha surgido como un enfoque integral con el fin de mitigar el impacto negativo del transporte urbano de mercancías. Se define la logística urbana como un proceso para la total optimización de las actividades logísticas llevadas a cabo por las entidades (públicas y privadas) en las zonas urbanas, teniendo en cuenta factores tales como: tráfico, congestión y consumo de energía en la estructura del mercado económico. Se basa en la comprensión de los problemas que incluyen los costos de distribución, sociales y ambientales. (Sarmiento, 2017)

La logística urbana se basa en cuatro pilares fundamentales: la capacidad de recuperación (mitigar los daños causados por los desastres naturales y de origen humano para hacer una rápida recuperación después de este tipo de eventos), la sostenibilidad, la movilidad y la calidad de vida. Ellos representan los objetivos de la logística urbana y son compatibles con valores sociales. Por lo tanto, la logística urbana tiene como objetivo reducir las deseconomías, para tornar de manera eficaz todo el sistema a través de soluciones innovadoras que reduzcan los problemas logísticos causados por la distribución de mercancías en zonas urbanas, de igual forma, procura la mejora de la calidad de vida, pues permite reducir la congestión y aumentar la movilidad, reducir los niveles de contaminación y ruido. (Sarmiento, 2017)

### ***2.3.1. Actividades que componen la logística urbana***

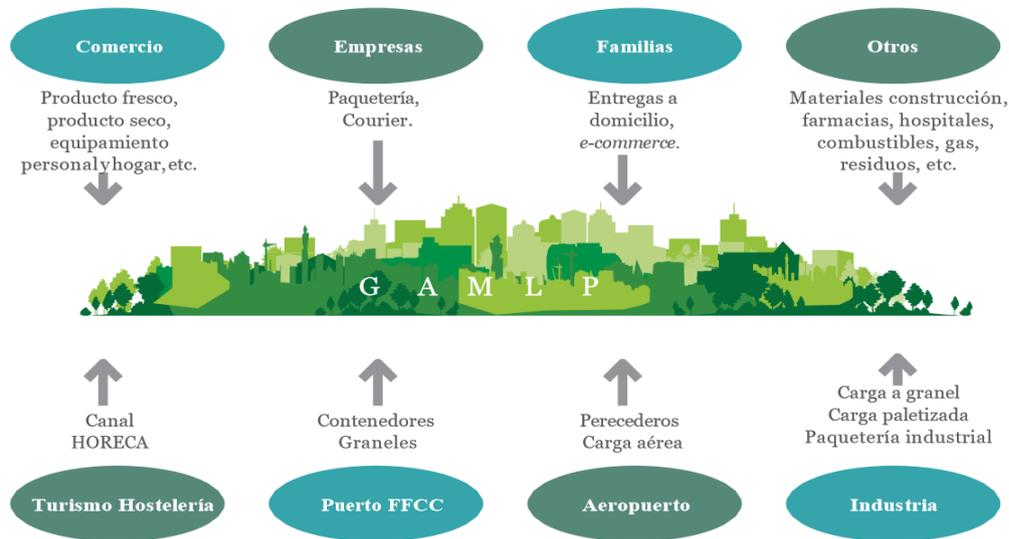
La logística urbana abarca los variados flujos de mercancías dentro de las ciudades, correspondiendo a múltiples cadenas logísticas identificadas por el Banco Mundial, que superan las 150 en total. Cada cadena se distingue por sus actores específicos, productos y vehículos, lo que refleja la diversidad y complejidad de las necesidades logísticas en entornos urbanos. Esta gran variedad exige estrategias diferenciadas para gestionar eficazmente la logística urbana, resaltando la importancia de adaptar las políticas y prácticas a las características únicas de cada tipo de logística involucrada.

#### **2.3.1.1. Tipología de las cadenas logísticas en las ciudades.**

La logística urbana la constituyen los flujos de mercancías que circulan en las ciudades y áreas metropolitanas, flujos que corresponden a un amplio abanico de tipologías que responden a la gran variedad de cadenas logísticas que se desarrollan en todo o en parte en el tejido urbano. El Banco Mundial ha identificado más de 150 cadenas logísticas diferentes que se desarrollan en las ciudades. Cada una de estas cadenas implica actores diferentes, mueve productos con características, volumen y requerimientos de manutención

diferentes, en vehículos de características y tonelaje diferentes y con distinta frecuencia y rotación. (SPIM-Taryet & CAF, 2019)

*Ilustración 2.1: GAMLP, Cadenas Logísticas que conviven en el Municipio.*

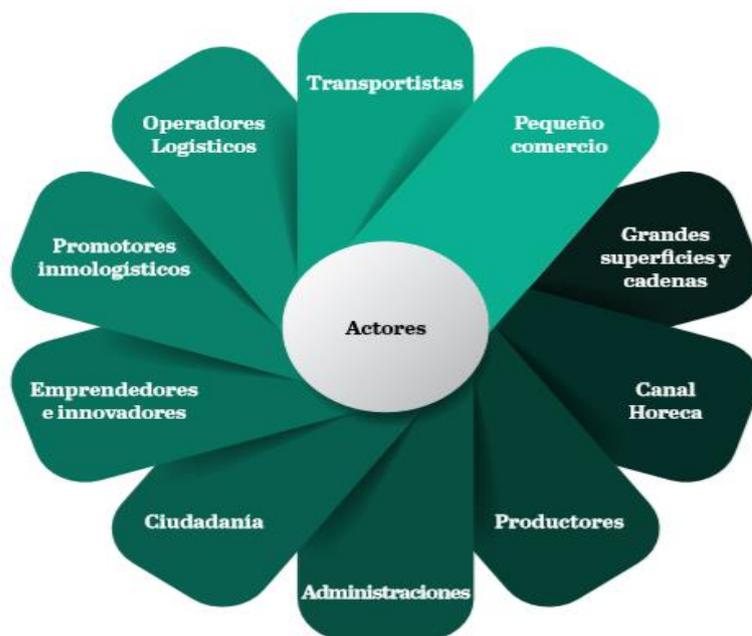


*Fuente: Modificación obtenido a partir de datos de LOGUS & CAF.*

### 2.3.1.2. Actores de la logística urbana.

Existe una pluralidad de cadenas logísticas diferentes que conviven en la ciudad lo que significa un amplio número de actores con características operativas diferentes, intereses a menudo contrapuestos, que mueven cargas de tipo muy diversos, con vehículos diversos, con requerimientos y horarios diferentes.

*Ilustración 2.2: Logística Urbana, Actores Principales.*



*Fuente: Modificación obtenido a partir de datos de LOGUS & CAF.*

En el cuadro siguiente se caracterizan algunas de las tipologías de cadenas logísticas más habituales que se desarrollan en las ciudades. Se puede observar una pluralidad de tipologías de vehículos, de tipos de envíos y de requerimientos operativos. Esto explica por qué a menudo una regulación apropiada para unos tipos de operativa de logística urbana, sea inapropiada para otros. Incluso dentro del mismo sector los requerimientos operativos pueden variar según los tipos de envíos. El tiempo requerido para abastecer una farmacia o una perfumería (productos pequeños), por ejemplo, puede ser de unos pocos minutos; en cambio el abastecimiento a una tienda de muebles o electrodomésticos puede requerir de un tiempo mucho más largo (SPIM-Taryet & CAF, 2019).

**Tabla 2.1: Logística Urbana, Caracterización de Tipologías**

Sectores	Tipología habitual de los envíos	Tipología habitual de vehículos	Frecuencia	Variación diaria de las rutas	Tiempo de entrega
Pequeño comercio no asociado a cadenas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Productos muy variados.</li> <li>Por tamaño: pequeño y grande (p.ej. medicamentos o electrodomésticos).</li> <li>Por manutención: a temperatura controlada o no, alimentario o no.</li> <li>Por sistema embalaje: en pallet, en caja cerrada, en caja abierta, ropa colgada.</li> </ul>	Variado: <ul style="list-style-type: none"> <li>Furgonetas: pequeño comercio.</li> <li>Camiones medianos: establecimientos medianos y grandes.</li> <li>Vehículos propios del comerciante (a menudo turismos).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Varias veces al día (alimentación, prensa, etc).</li> <li>Varias veces a la semana (electrodomésticos, ferretería, artículos para el hogar).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Caso de autoabastecimiento: la ruta siempre es la misma.</li> <li>Servido por distribuidores: las rutas varían según el día.</li> </ul>	10-20 min.
Comercio asociado a cadenas y grandes superficies	<ul style="list-style-type: none"> <li>Productos muy variados.</li> <li>Abastecimiento segmentado en: producto seco (envasado), productos frescos (normalmente verduras, carnes y pescados por separado) productos especiales (p.e. bollería, productores con distribución propia).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Camiones medianos.</li> <li>Tráileres en grandes supermercados.</li> <li>Camiones frigo especializados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Varias veces al día.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Escasa variación de rutas.</li> </ul>	>30 min.
Oficinas	Documentos, suministros y paquetes de pequeño mediano tamaño (menos 10Kg).	<ul style="list-style-type: none"> <li>Furgonetas.</li> <li>Pequeños vehículos</li> <li>Motoristas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Varias veces al día.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta variación de rutas.</li> </ul>	<10 min.
Restaurantes, bares cafeterías (Horeca)	Alimentos, bebidas y suministros. Suministradores específicos por marcas y tipología de productos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Furgonetas, camiones medianos.</li> <li>Camiones frigo especializados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Varias veces al día.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta variación de rutas.</li> </ul>	20-30 min.
Familias	Envíos de pequeño tamaño (menos 5 kg).	<ul style="list-style-type: none"> <li>Furgoneta, moto, bicicleta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Varias veces al día.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta variación de rutas.</li> </ul>	<10 min.
Industrias	Muy variados. <ul style="list-style-type: none"> <li>Tamaño superior al del comercio.</li> <li>Generalmente mercancía paletizada.</li> <li>Pero también pueden ser graneles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Furgonetas, camiones o tráiler.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Varias veces al día.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>En función de tipo de empresa y producto.</li> </ul>	Variable en función de tipo de empresa y producto.
Puerto	Carga contenerizada y graneles.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tráiler portacontenedores y otros camiones de gran porte.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Muchas al día.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Escasa variación de rutas.</li> </ul>	>30 min (sin contar esperas).
Construcción y obras públicas	Materiales de construcción.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Camiones de gran porte y normalmente gran peso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Varias al día o varias a la semana según tipo de obra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Escasa variación de rutas.</li> </ul>	>30 min.
Gasolineras, establecimientos venta gas embotellado	Combustibles e hidrocarburos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vehículos sujetos a normativa de transporte de mercancías peligrosas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Varias al día o varias a la semana según tipo de obra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Escasa variación de rutas.</li> </ul>	>30 min.

**Fuente:** Modificación obtenido a partir de datos de LOGUS & CAF.

## 2.4. Logística de Última Milla en el Contexto Urbano.

La logística de última milla se ha convertido en un aspecto esencial de la cadena de suministro, especialmente en entornos urbanos densamente poblados como La Paz, Bolivia. Esta etapa final de la entrega, desde el centro de distribución hasta el destinatario final, presenta desafíos únicos debido a las restricciones de tiempo, la congestión del tráfico y las demandas específicas de los clientes.

La última milla representa un porcentaje significativo de los costos totales de la cadena de suministro y afecta directamente la satisfacción del cliente. La entrega puntual y eficiente se ha vuelto más crítica en un mundo donde la comodidad y la rapidez son prioritarias. Además, la última milla en entornos urbanos también tiene un impacto ambiental, con emisiones de carbono y congestión vehicular que requieren soluciones sostenibles.

En el caso de La Paz, una ciudad con una topografía desafiante y tráfico congestionado, la logística de última milla enfrenta desafíos adicionales. La infraestructura vial, los tiempos de entrega y las restricciones de acceso pueden influir en la eficiencia y efectividad de la distribución de mercancías. Por ejemplo, la combinación de calles estrechas y altas pendientes puede afectar la capacidad de los vehículos de entrega y la velocidad de movimiento.

Algunas soluciones tecnológicas han surgido para abordar estos desafíos. La optimización de rutas mediante algoritmos avanzados y el uso de sistemas de gestión de flotas permiten una asignación más eficiente de vehículos y una reducción de los tiempos de espera. Además, la implementación de vehículos eléctricos y la exploración de alternativas como el uso de bicicletas de carga pueden ayudar a mitigar el impacto ambiental.

En el estudio se señala que la implementación exitosa de estrategias de logística de última milla en entornos urbanos requiere una colaboración estrecha entre gobiernos, empresas y comunidades locales. Además, la adaptabilidad y la innovación son esenciales para abordar los cambios rápidos en la demanda y las condiciones urbanas.

En resumen, la logística de última milla en el contexto de La Paz, Bolivia, enfrenta desafíos específicos debido a la topografía y la congestión del tráfico. Soluciones tecnológicas y colaboración interdisciplinaria son cruciales para optimizar las entregas, reducir costos y minimizar el impacto ambiental.

El acápite de logística de última milla en el contexto del modelo piloto de logística urbana en la ciudad de La Paz, Bolivia, se refiere al proceso final de entrega de bienes desde un centro de distribución hasta el destino final, que generalmente es el hogar del cliente

En este contexto, la logística de última milla juega un papel crucial en la eficiencia y satisfacción del cliente, ya que representa una parte significativa de los costos logísticos totales y puede afectar directamente la calidad del servicio. Específicamente, implica la planificación óptima de rutas y horarios de entrega para maximizar la eficiencia y minimizar los tiempos y costos asociados (García & Pérez, 2018).

La implementación de un modelo piloto de logística urbana en La Paz busca abordar los desafíos específicos relacionados con la congestión del tráfico, las restricciones geográficas y las características únicas de la ciudad. Para ello, se utilizará un enfoque basado en programación lineal multiobjetivo y binario.

La programación lineal multiobjetivo permite considerar múltiples objetivos simultáneamente, como minimizar los costos operativos, maximizar la utilización de vehículos o reducir las emisiones contaminantes. Esto permitirá encontrar soluciones equilibradas que optimicen diferentes aspectos clave de la logística urbana (García & Pérez, 2018).

Por otro lado, el uso de variables binarias permite tomar decisiones discretas, como seleccionar una ruta específica o asignar un vehículo a una determinada tarea. Estas variables también pueden ayudar a modelar restricciones relacionadas con capacidad limitada o disponibilidad limitada de recursos (García & Pérez, 2018).

## **2.5. Optimización y Modelos de Programación Lineal en la Logística Urbana**

La optimización, como disciplina matemática aplicada, juega un papel fundamental en la logística urbana al proporcionar herramientas precisas y eficientes para abordar los desafíos inherentes a la distribución y asignación de recursos en entornos urbanos. Un

enfoque particularmente relevante y ampliamente utilizado en este contexto es la programación lineal, una técnica que se adapta perfectamente a la modelización de problemas logísticos, ya que busca maximizar o minimizar una función objetivo sujeta a restricciones lineales.

### **2.5.1. Estructura de un Modelo de Programación Lineal**

La estructura básica de un modelo de programación lineal consta de tres componentes interrelacionados que guían el proceso de optimización:

**2.5.1.1. Función Objetivo.** La función objetivo define el objetivo específico que se busca optimizar. Esto puede ser la maximización de beneficios, la minimización de costos operativos, o la búsqueda de un equilibrio entre ambos. En el contexto de la logística urbana en La Paz, Bolivia, la función objetivo podría estar orientada a minimizar los costos de transporte y distribución, maximizar la eficiencia de las rutas o incluso considerar la satisfacción del cliente como uno de los objetivos.

**2.5.1.2. Restricciones.** Las restricciones representan las limitaciones y condiciones que deben cumplirse en el proceso de optimización. Estas restricciones son expresadas como ecuaciones o desigualdades lineales y reflejan las capacidades de los recursos, las demandas de los clientes, las limitaciones de tiempo y otros factores. En el contexto de La Paz, las restricciones podrían involucrar límites de tiempo debido al tráfico, restricciones de acceso en ciertas áreas, capacidad limitada de los vehículos y otros aspectos específicos de la ciudad.

**2.5.1.3. Variables de Decisión** Las variables de decisión son las incógnitas que deben ser determinadas para alcanzar la optimización deseada. Estas variables representan las decisiones tomadas en el proceso logístico, como las cantidades a transportar, las rutas a seguir, la asignación de vehículos y la programación de entregas. En el caso de La Paz, las variables de decisión podrían involucrar la asignación eficiente de

vehículos a áreas específicas, la planificación de rutas para minimizar los tiempos de viaje y la asignación óptima de recursos en puntos de distribución clave.

### ***2.5.2. Relación entre Programación Lineal y Logística Urbana***

La programación lineal se entrelaza estrechamente con la logística urbana debido a su capacidad para modelar y resolver problemas de distribución de recursos de manera sistemática. La programación lineal permite abordar desafíos específicos, como la planificación de rutas de entrega y la asignación de vehículos, al proporcionar una estructura matemática para representar las complejas interacciones entre recursos limitados y objetivos de optimización.

Los problemas logísticos en entornos urbanos, como la optimización de la última milla en La Paz, a menudo involucran múltiples restricciones y objetivos conflictivos. La programación lineal permite considerar estos factores de manera integrada y ofrece soluciones eficientes al identificar el equilibrio óptimo entre los distintos elementos del problema.

### ***2.5.3. Tipos de Programación Lineal y Multiobjetivo***

Además de la programación lineal estándar, existe un enfoque avanzado conocido como programación lineal multiobjetivo. Este enfoque considera simultáneamente múltiples objetivos de optimización y busca encontrar soluciones que representen un compromiso entre estos objetivos. En el contexto de la logística urbana en La Paz, la programación lineal multiobjetivo podría ser valiosa para tomar decisiones informadas que equilibren la minimización de costos con la satisfacción del cliente y la eficiencia en la distribución.

### ***2.5.4. Variables Binarias en la Programación Lineal***

Las variables binarias son un componente esencial en la programación lineal, ya que permiten la toma de decisiones discretas en un contexto de optimización continua. En el ámbito de la logística urbana, las variables binarias son especialmente útiles para modelar

decisiones "sí/no" o "activar/desactivar", como elegir entre diferentes rutas, determinar si un vehículo debe realizar una parada o decidir qué recursos asignar a una tarea específica.

En Optimization model for the last mile distribution problem in urban áreas, se destaca cómo la programación lineal ha demostrado ser una herramienta poderosa para optimizar problemas logísticos en contextos urbanos. La relación entre la programación lineal y la logística se basa en su capacidad para modelar y resolver problemas de asignación y distribución de recursos de manera efectiva y eficiente.

En resumen, la programación lineal y sus variantes son herramientas esenciales en la logística urbana de La Paz, Bolivia. Estas técnicas proporcionan una estructura matemática sólida para abordar problemas complejos de asignación de recursos, planificación de rutas y gestión de inventario, asegurando soluciones eficientes y bien fundamentadas en un entorno urbano desafiante.

El marco teórico del modelo piloto de logística urbana en la ciudad de La Paz, Bolivia, se basa en el uso de técnicas de optimización y modelos de programación lineal para abordar los desafíos relacionados con la distribución eficiente de bienes dentro del contexto urbano.

La optimización es una disciplina que busca encontrar las mejores soluciones posibles a un problema dado, teniendo en cuenta ciertos criterios o restricciones. En el caso de la logística urbana, el objetivo principal es minimizar los costos asociados con la distribución de productos, al mismo tiempo que se maximiza la satisfacción del cliente y se reducen los impactos negativos en el medio ambiente y la congestión del tráfico.

Los modelos de programación lineal son herramientas matemáticas utilizadas para resolver problemas de optimización donde todas las funciones involucradas son lineales. Estos modelos se basan en la formulación de ecuaciones y desigualdades que representan las relaciones entre variables y restricciones del problema. Luego, utilizando algoritmos

específicos, se busca encontrar los valores óptimos para estas variables que satisfacen todas las restricciones establecidas.

En el caso del modelo piloto de logística urbana en La Paz, se utilizará un modelo multiobjetivo y binario. Esto implica que habrá múltiples objetivos a considerar simultáneamente (como minimizar costos y tiempos de entrega) y algunas variables serán discretas, tomando solo valores binarios (por ejemplo, seleccionar rutas específicas).

Para desarrollar este modelo piloto, se tomarán como referencia diversas fuentes académicas y científicas especializadas en logística urbana, optimización y programación lineal. Algunas fuentes relevantes podrían incluir:

Es importante destacar que el marco teórico debe ser complementado con un análisis de los datos locales y específicos de la ciudad de La Paz para adaptar y validar el modelo de programación lineal propuesto en este contexto particular.

## **2.6. Tecnologías y Soluciones para la Logística Urbana**

El rápido crecimiento de las ciudades ha generado una mayor demanda en los servicios de logística urbana, lo que ha llevado al desarrollo e implementación de diversas tecnologías y soluciones con el objetivo de mejorar la eficiencia y sostenibilidad de este tipo de operaciones. En este marco teórico, se presentarán algunas de estas tecnologías y soluciones, respaldadas por fuentes citadas.

En primer lugar, se destaca el uso de sistemas avanzados de gestión de flotas (FMS, por sus siglas en inglés), los cuales permiten optimizar las rutas y asignación de vehículos en tiempo real. Según Jones et al. (2018), estos sistemas han demostrado reducir los tiempos de entrega hasta en un 20% y disminuir los costos asociados a la logística urbana. Además, estudios como el realizado por Li et al. (2019) indican que el uso del FMS contribuye a una menor congestión vehicular y emisiones contaminantes.

Por otro lado, la utilización de vehículos eléctricos (VEs) ha surgido como una alternativa sostenible para la logística urbana. Investigadores como Zhang et al. (2020) han demostrado que la adopción masiva de VEs reduce significativamente las emisiones de gases contaminantes y mejora la calidad del aire en entornos urbanos. Asimismo, Haghani et al. (2019) señalan que los VEs poseen ventajas económicas a largo plazo gracias a su menor costo operativo en comparación con los vehículos de combustión interna.

En cuanto a las soluciones basadas en tecnologías de la información y comunicación (TIC), el uso de sistemas de seguimiento y monitoreo por GPS ha sido una herramienta fundamental en la logística urbana. Según Lee et al. (2021), estas soluciones permiten un mayor control sobre la ubicación de los vehículos, mejorando la planificación de rutas y tiempos de entrega. Además, Zhou et al. (2019) mencionan que el uso de TIC también facilita la colaboración entre diferentes actores involucrados en la cadena de suministro urbana, optimizando así el flujo de mercancías.

Por último, se destaca el concepto de ciudades inteligentes como una solución integral para la logística urbana. Estas ciudades hacen uso de tecnologías como sensores IoT (Internet of Things) y Big Data para recopilar información en tiempo real sobre el tráfico, condiciones climáticas y demanda del transporte. De acuerdo con Zhang et al. (2020), esta información permite una gestión más eficiente y adaptativa de la logística urbana, reduciendo costos y emisiones contaminantes.

En conclusión, las tecnologías y soluciones presentadas en este marco teórico son ejemplos del amplio abanico disponible para mejorar la logística urbana. El uso de sistemas avanzados de gestión de flotas, vehículos eléctricos, tecnologías de información y comunicación, así como el concepto de ciudades inteligentes, han demostrado su efectividad

en términos de eficiencia operativa y sostenibilidad medioambiental según diversas fuentes citadas.

## **2.7. Metodología “Mejores Ciudades Para la Logística”**

En los últimos años, los responsables de la planificación urbana han empezado a brindar mayor atención a los desafíos logísticos en las ciudades. Sin embargo, no necesariamente han contado con la información y herramientas adecuadas para hacerlo (Dablanc, 2007). Por su parte, la literatura especializada ha señalado, de manera extensiva, la necesidad de abordar esta brecha (Dablanc, 2009), pero pocas herramientas prácticas se han generado para facilitar este proceso. A la fecha, si bien se han publicado una serie de reportes que sintetizan buenas prácticas y proveen recomendaciones para la política pública, no se han propuesto aún metodologías prácticas, basadas en el uso de datos y técnicas analíticas, para analizar y evaluar soluciones de logística urbana, adaptadas a las particularidades de cada ciudad. (Merchán & Blanco, 2017)

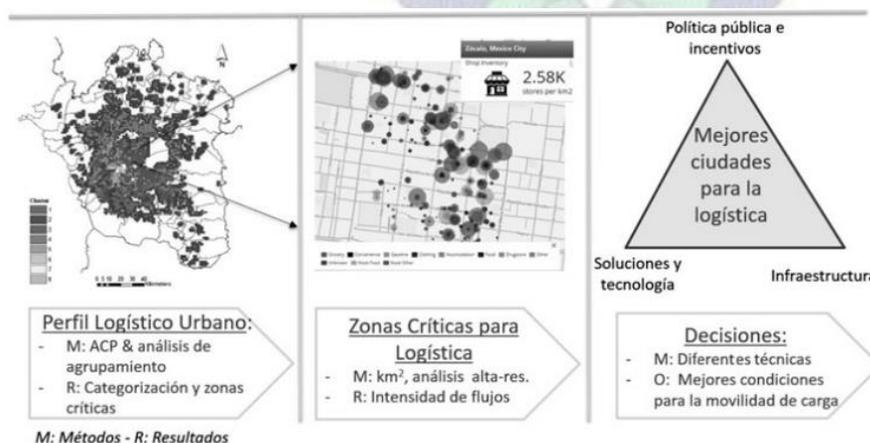
Considerando el vacío en la literatura especializada antes descrito, desde el Laboratorio de Logística en Mega-ciudades de MIT (<http://megacitylab.mit.edu>), se ha propuesto una metodología que incluye 3 niveles de análisis para poder identificar las soluciones y políticas públicas más adecuadas, en función de los perfiles y las necesidades de las distintas zonas dentro de una ciudad. Esta metodología se ha denominado «Mejores Ciudades para la Logística». (Merchán & Blanco, 2017). Las etapas que se proponen para su análisis se describen a continuación.

En toda ciudad existen zonas de alta congestión o críticas, que concentran importantes niveles de actividad económica. Este tipo de zonas, que incluyen sectores como los centros históricos, los distritos comerciales, los de entretenimiento, entre otros, albergan un elevado número de establecimientos comerciales y, por tanto, atraen continuamente una alta

intensidad de flujos logísticos. Para las empresas de productos de consumo masivo, el abastecer estas zonas es fundamental para su negocio, pero al mismo tiempo sumamente complejo: si bien concentran una parte importante de la demanda de clientes y consumidores finales, las operaciones logísticas se ven afectadas por los altos niveles de congestión vehicular y la falta de infraestructura para operaciones de carga y descarga que típicamente se da en la mayoría de las ciudades (Merchán & Blanco, 2017).

Nivel 1: Perfil Logístico Urbano- En este primer nivel de análisis, se busca agrupar las distintas zonas de la ciudad en función de múltiples variables que capturan características de densidad poblacional, niveles de actividad comercial e industrial y capacidad de la infraestructura vial. La selección de estas variables se dio en base a estudios exploratorios previos, en los cuales se pudo concluir que se trata de las características urbanas que tienen mayor impacto en la generación de flujos logísticos en la ciudad. La metodología sugiere establecer una unidad de análisis espacial de un kilómetro cuadrado, para garantizar un equilibrio entre una adecuada resolución en los datos y procesamiento eficiente de la información (Merchán & Blanco, 2017).

**Ilustración 2.3:** Logística Urbana, Metodología Mejores Ciudades Para La Logística



**Fuente:** MIT Megacity Logistics Lab, 2015.

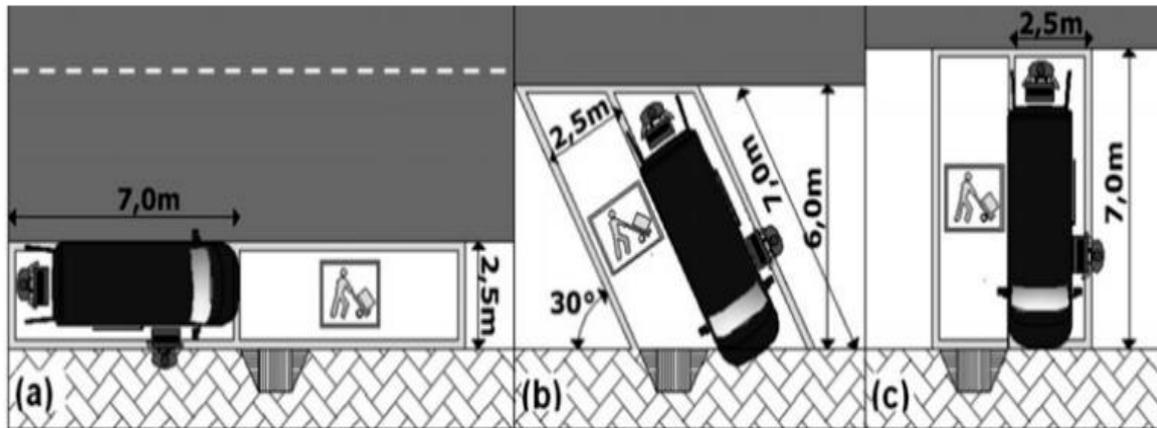
Nivel 2: Análisis de Zonas de Alta Congestión. Como resultado del análisis de agrupamiento, ciertas categorías pueden presentar características sumamente particulares, que las hacen significativamente diferentes a cualquier otro agrupamiento. Este sería el caso, por ejemplo, de un centro histórico: los niveles de población, densidad comercial y el tipo de infraestructura difícilmente se repiten en otras partes de la ciudad. Por tanto, el segundo nivel se enfoca en recolectar y analizar la información específica de estas zonas críticas. El tipo de información recolectada en este segundo nivel incluye, entre otros: el tamaño de los establecimientos comerciales, la proporción de las distintas actividades minoristas y la duración de las operaciones de carga/descarga en la zona. (Merchán & Blanco, 2017)

Nivel 3: Definición de soluciones. El propósito de este tercer nivel de análisis es identificar las soluciones operacionales, de infraestructura y de política pública más adecuadas para cada categoría de logística urbana y para cada zona crítica. En términos generales, los resultados de este proceso de análisis permitirán relacionar las soluciones de movilidad de carga, como aquellas descritas en el Manual de Buenas Prácticas Logísticas para Autoridades (Dablanc, 2011), o las buenas prácticas logísticas propuestas por la comunidad andina de fomento (SPIM-Taryet & CAF, 2019), a las condiciones poblacionales, comerciales y de infraestructura específicas de cada ciudad y zona urbana.

Una alternativa de solución de alto impacto, lo son las bahías de carga y descarga que constituyen la solución de infraestructura de más bajo costo y de más fácil implementación para facilitar las operaciones logísticas. De hecho, pueden fácilmente implementarse en los espacios de estacionamiento existentes en la red vial. Un reciente análisis realizado para la ciudad de Santiago de Chile, sugirió la ubicación de una a tres bahías de carga/descarga por cada manzana urbana, dependiendo de la densidad comercial del sector y de la capacidad de la red vial disponible. Dichas bahías no requieren ser de uso exclusivo de los vehículos de carga a lo largo del día y pueden ser utilizadas para otros fines en horarios de baja intensidad

de operaciones logísticas (Merchán & Blanco, 2017). Además, existen varias alternativas para el diseño de dichas bahías, como se muestra a continuación:

*Ilustración 2.4: Logística Urbana, Bahías De Carga Y Descarga.*



*Fuente: Obtenido a partir de datos del MIT Megacity Logistics Lab, 2015.*

## 2.8. Marco Conceptual.

### 2.8.1. Distribución Urbana de Mercancías (DUM)

La Distribución Urbana de Mercancías es un elemento clave dentro de la política general de gestión de la movilidad y sostenibilidad de las ciudades, se refiere normalmente a la distribución de mercancías destinada al comercio, oficinas, sector horeca (alimentos, bebidas y suministros) y familias. (Juan Pablo Antun & BID, 2013)

### 2.8.2. Metodología Last Mile Km2

Se llama Last Mile Km2, el cual propone un análisis logístico de un área de un determinado lugar (Km2), en relación a variables demográficas, de actividad económica y de infraestructura vial. La principal finalidad de esta metodología es conocer la caracterización de las zonas de algunas megaciudades del mundo y comprender los factores que afectan en el desarrollo de sus prácticas logísticas urbanas (MIT Megacity Logistics Lab - Massachusetts Institute of Technology, s/f).

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

Son estacionamientos reservados preferentemente para vehículos de carga; a partir de los cuales se pueden hacer entregas peatonales. Las bahías de carga y descarga constituyen la solución de infraestructura de más bajo costo y de más fácil implementación para facilitar las operaciones logísticas. De hecho, pueden fácilmente implementarse en los espacios de estacionamiento existentes en la red vial. Dichas bahías no requieren ser de uso exclusivo de los vehículos de carga a lo largo del día y pueden ser utilizadas para otros fines en horarios de baja intensidad de operaciones logísticas. Además, existen varias alternativas para el diseño de dichas bahías. (Merchán & Blanco, 2016)

### **2.8.4. Espacios Logísticos Urbanos (ELU)**

Es como un conjunto de instalaciones de puntos de interrupción a granel, disponer de recursos y sistemas para optimizar la circulación de mercancías en ciudades, tanto desde un punto de vista funcional y un punto de vista ambiental. ULSs se dedican a la recomposición de los flujos que circulan por toda la ciudad, ofreciendo servicios específicos para profesionales de la logística (almacenaje, manejo, alojamiento de sus vehículos, etc.). (Gonzales-Feliu et al., 2014)

### **2.8.5. Unidades de Logística urbana en las Alcaldías**

Se trata de disponer de una unidad en el seno de la organización municipal dedicada específicamente a tratar las cuestiones relacionadas con la movilidad de cargas y con capacidad de interlocución con los diferentes sectores implicados. Mejor si cuenta con transversalidad respecto al conjunto de departamentos de la administración que inciden en la logística urbana. (SPIM-Taryet & CAF, 2019)

### **2.8.6. Centros Logísticos**

En un amplio sentido, un centro logístico es un territorio equipado para el desarrollo de actividades logísticas. Los centros logísticos son los nodos donde se van a desarrollar las actividades logísticas y deben estar perfectamente equipados, estos se conciben para la realización del abastecimiento a los entornos urbanos próximos. (Juan Pablo Antun & BID, 2013)

### **2.8.7. Plataformas Logísticas**

Las plataformas logísticas de distribución urbana son centros que concentran actividades logísticas y servicios asociados en un recinto acotado, especialmente diseñado para tal fin y, a menudo, seguros. Dichos centros concentran plataformas de Cross Docking, es decir, bodegas donde se realiza la recepción y desconsolidación de cargas que provienen de larga distancia (y por tanto utilizando camiones de mayor porte) para distribuirlas en las zonas urbanas mediante vehículos de menor porte. (SPIM-Taryet & CAF, 2019)

### **2.8.8. Microplataformas Logísticas**

Las micro plataformas son pequeñas plataformas de ruptura de carga en tejido urbano y muy cercanos a los puntos de entrega que permiten transbordar la carga de camiones o furgonetas a pequeños vehículos, a menudo con tracción a pedal o eléctrica para la entrega en la última milla. Pueden ser iniciativas promovidas por las administraciones públicas y con vocación multioperador o, a veces, mono-operador. Normalmente se instalan en espacios públicos, a veces en aparcamientos subterráneos. (SPIM-Taryet & CAF, 2019)

### **2.8.9. Estrategia LOGUS**

La Estrategia LOGUS se configura como un nuevo paso adelante en el desarrollo de una estrategia integral de la movilidad urbana y añade a los cuatro objetivos anteriores de un nuevo objetivo “Productividad” que adquiere pleno sentido en la medida que los flujos de

mercancías están directamente asociados, como también se ha dicho, a la eficiencia, competitividad y productividad del tejido económico. (SPIM-Taryet & CAF, 2019)

#### ***2.8.10. Cross Docking***

Método de distribución, que consiste en el traspaso de carga de una etapa a otra, sin almacenamiento interno. (SPIM-Taryet & CAF, 2019)

#### ***2.8.11. Metodología MAMCA***

La metodología de multi actores y análisis multi criterio MAMCA, consiste en plantear los procedimientos para analizar problemas relacionados con la logística urbana de mercancías. Para ello hay que tener en cuenta varios criterios, como también, hay que tener en consideración varios grupos de actores. Estos actores suelen tener intereses por lo cual pueden oponerse a soluciones que van en contra de sus intereses. (Chakkour, 2014)

#### ***2.8.12. Modelo Matemático***

Es una representación matemática que da una realidad compleja expresada de forma sencilla, se usa como herramienta para la toma de decisiones, cuyos resultados sean útiles y tangibles. Basado en un problema específico organiza, estructura y analiza datos que den una solución con el uso o desarrollo de algoritmos. (Taha, 2004)

#### ***2.8.13. Modelos de Optimización***

Los modelos de optimización sirven como herramienta para la toma de decisiones, que maximizan o minimizan una función objetivo a partir de un método o técnica de optimización, sometida a un conjunto de variables y restricciones. (Manuel Ulloa, 2015)

#### ***2.8.14. Modelos Dinámicos***

En un modelo dinámico, los elementos que intervienen en la modelización no permanecen invariables, sino que se consideran como funciones del tiempo, describiendo

trayectorias temporales. El análisis de un modelo dinámico tiene por objeto el estudio de la trayectoria temporal específica de alguno/s de sus elementos (Juan, s/f).



### Capítulo 3 : Perfil Logístico Del Municipio De La Paz

El desarrollo del marco práctico inicia con un diagnóstico inicial de la situación actual en el municipio paceño. Esto implica realizar una caracterización exhaustiva utilizando enfoques cuantitativos y cualitativos. El objetivo es identificar las variables relevantes, recopilar datos demográficos y de establecimientos comerciales, así como información sobre la infraestructura existente. De esta manera, se busca identificar los problemas de logística urbana, incluyendo las causas raíz y los puntos críticos, para poder establecer prioridades en cuanto a los aspectos más importantes a abordar. Además, se realizará la identificación de los actores implicados en el proceso.

En base a los datos procesados por el investigador, se evalúan las posibles medidas a implementar, así como sus posibles impactos y su viabilidad a largo plazo. Se elaborará un plan de acción siguiendo una metodología que divide el análisis en fases sistemáticas: planeación, trabajo de campo, consolidación de datos y análisis de resultados. Durante este proceso, se analizarán las distintas áreas funcionales mínimas con el objetivo de establecer un modelo logístico y definir indicadores que faciliten la toma de decisiones y la planificación adecuada.

A continuación, se procede a la fase de formulación del modelo, donde se lleva a cabo un estudio para seleccionar las variables representativas en el modelo logístico. Esto incluirá la caracterización, la delimitación del área en kilómetros cuadrados y el modelo de localización de bahías de carga y descarga. Estas variables serán determinadas a partir del análisis de los datos recolectados en la caracterización logística del municipio y serán necesarias para el desarrollo del sistema de estudio propuesto. Se presentará una abstracción simplificada de los elementos esenciales del escenario, con el objetivo de visualizar las relaciones fundamentales y las interacciones clave en el transporte de mercancías dentro de la ciudad.

Finalmente, se lleva a cabo una evaluación económica-financiera del proyecto, así como la recreación de distintos escenarios con y sin el proyecto para comprobar su factibilidad.

### **3.1. Diagnóstico Comercial**

El presente estudio se ha realizado en el Municipio Paceño de La Paz, ubicado en Bolivia. Al igual que en otras ciudades, la distribución urbana de mercancías en esta área se caracteriza por sus efectos externos y su impacto significativo en la sostenibilidad económica, ambiental y social.

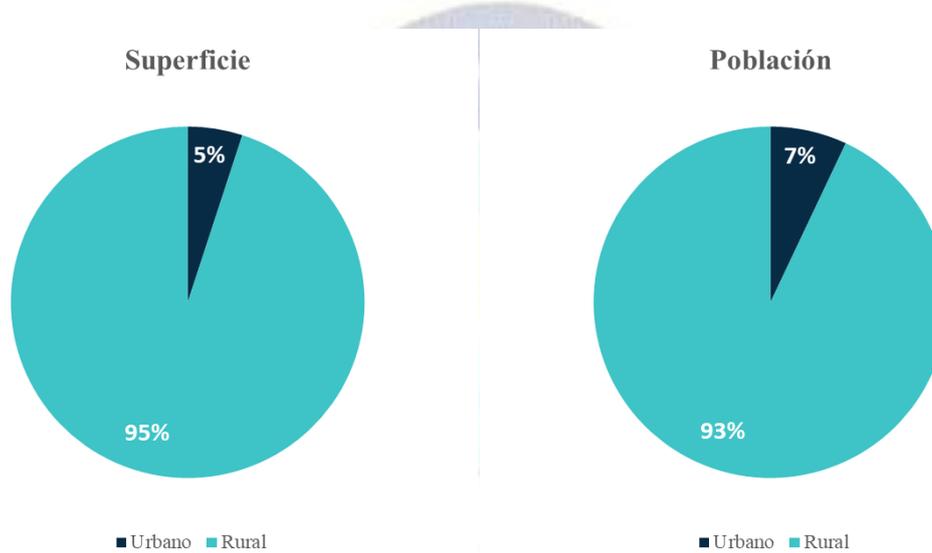
En particular, los macrodistritos Centro y Max Paredes desempeñan un papel fundamental como puntos de referencia comerciales en la ciudad, además de servir como conexiones entre diferentes áreas dentro del municipio. Estos lugares presentan una concentración comercial notable, lo que genera una actividad vehicular y peatonal intensa y, en ocasiones, conflictiva.

Es relevante destacar que la Secretaría Municipal de Movilidad y Transporte no considera el transporte de carga y descarga de mercancías como una variable primordial en su planificación. Por lo tanto, en esta sección se proporciona detalles relacionados con el perfil comercial del municipio.

El municipio de Nuestra Señora de La Paz abarca una superficie total de 3.020 kilómetros cuadrados. El área urbana, que alberga la sede del Gobierno Nacional, ocupa una extensión territorial de 149 kilómetros cuadrados y alberga la población más numerosa de la región altiplánica del país. Según las proyecciones demográficas actuales basadas en datos del Instituto Nacional de Estadística (INE), la población del departamento supera los 3.100.000 habitantes (GAML P, 2017).

Como se mencionó en la sección anterior, América Latina es una región altamente urbanizada y esta característica se refleja en el municipio de La Paz, donde la tasa de población urbana alcanza el 93%, tal como se puede apreciar en la Ilustración adjunto.

**Ilustración 3.1:** Municipio De La Paz, Superficie Y Poblacion, Rural Y Urbana.



**Fuente:** Gobierno Autónomo Municipal de La Paz.

Es importante destacar la ocupación territorial y el crecimiento del conglomerado urbano en el Municipio de La Paz. Dentro de sus 21 distritos, se proyecta una expansión de la zona urbana, lo que inevitablemente aumentará la actividad comercial de la ciudad.

La ubicación de La Paz le confiere un carácter único como centro urbano polarizador en el occidente del país y en el eje central. Por lo tanto, la competitividad del Municipio de La Paz es de suma importancia, ya que forma parte de un área metropolitana integrada económicamente. Si bien la industria es una actividad destacada, especialmente en el Municipio de El Alto, La Paz es el punto de paso para los volúmenes más significativos del comercio internacional boliviano. La dinámica propia de esta ciudad se proyecta no solo en su región inmediata, sino en todo el país (GAMLP, 2017).

Según registros del año 2016, el Municipio de La Paz contaba con diversos establecimientos económicos. Se registraron un total de 86,184 empresas, incluyendo 15

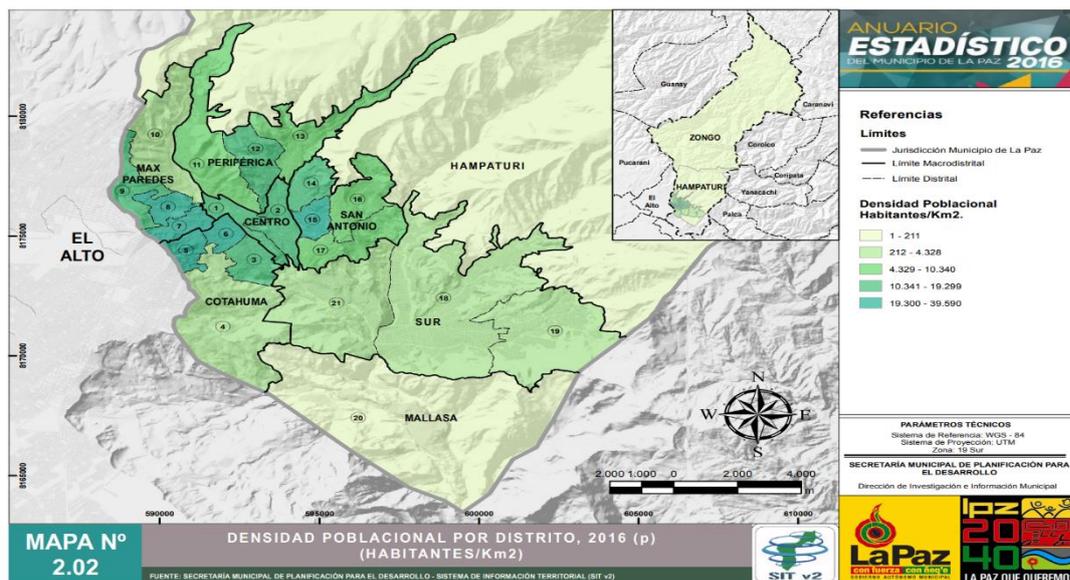
supermercados, más de 6,400 vendedores en mercados, alrededor de 30,000 comerciantes ambulantes y 419 asociaciones de comerciantes (Gobierno Autónomo Municipal de La Paz, 2018).

Tomando en cuenta la metodología de "Mejores Ciudades para la Logística" desarrollada por Megacity Logistics Lab (MIT), es necesario seleccionar un kilómetro cuadrado para generar un perfil logístico urbano a partir de las zonas críticas. Por lo tanto, en los próximos párrafos y siguiendo criterios técnicos, definiremos el área de estudio dentro de los 21 distritos urbanos del municipio.

Los macrodistritos Centro y Max Paredes son posiblemente los puntos de referencia comercial más importantes de la ciudad. Con una creciente demanda de servicios públicos y conectando diversas áreas del municipio, presentan una concentración comercial notable. Esta situación genera una intensa y a veces conflictiva actividad vehicular y peatonal.

El primer criterio a considerar es la densidad de población por distrito. Según se observa en la Ilustración adjunto, los distritos 1, 7 y 8 presentan una densidad poblacional aproximada de 39,000 habitantes por kilómetro cuadrado. Estos distritos son parte de los macrodistritos mencionados en el párrafo anterior, Centro y Max Paredes.

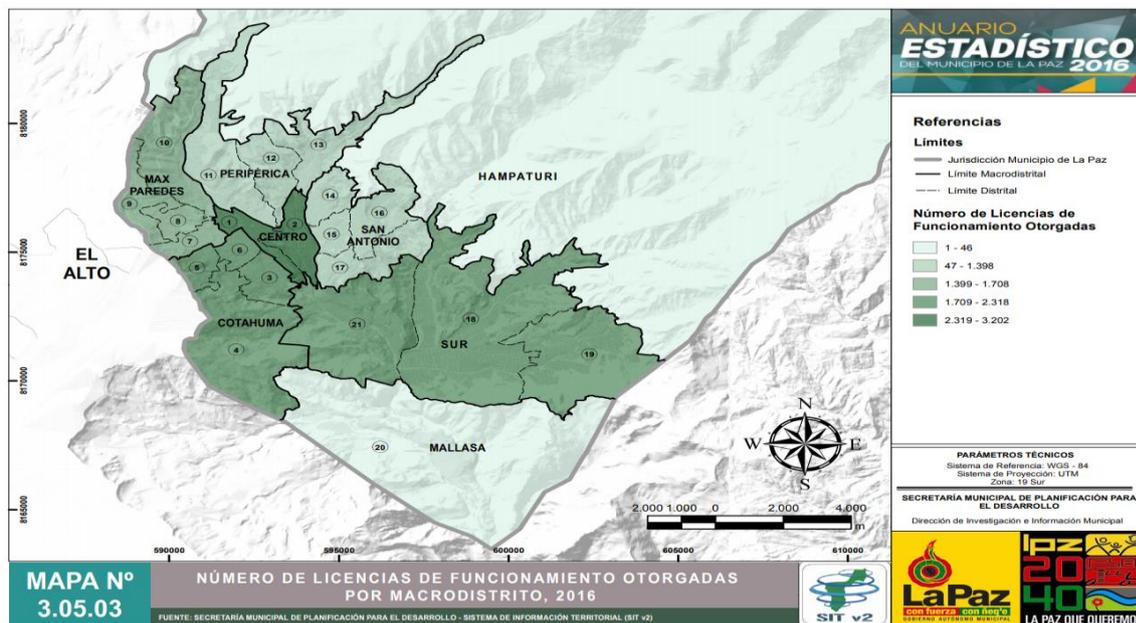
**Ilustración 3.2:** Municipio De La Paz, Densidad Poblacional por distrito.



**Fuente:** Secretaria Municipal de Planificación para el Desarrollo.

Ahora, utilizando la ilustración del anuario estadístico, podemos verificar que el macrodistrito Centro, específicamente en sus distritos 1 y 2, presenta un número mayor de licencias de funcionamiento otorgadas, superando los 3000 registros. Esto indica una alta actividad comercial y un significativo número de establecimientos en funcionamiento en esta zona del municipio.

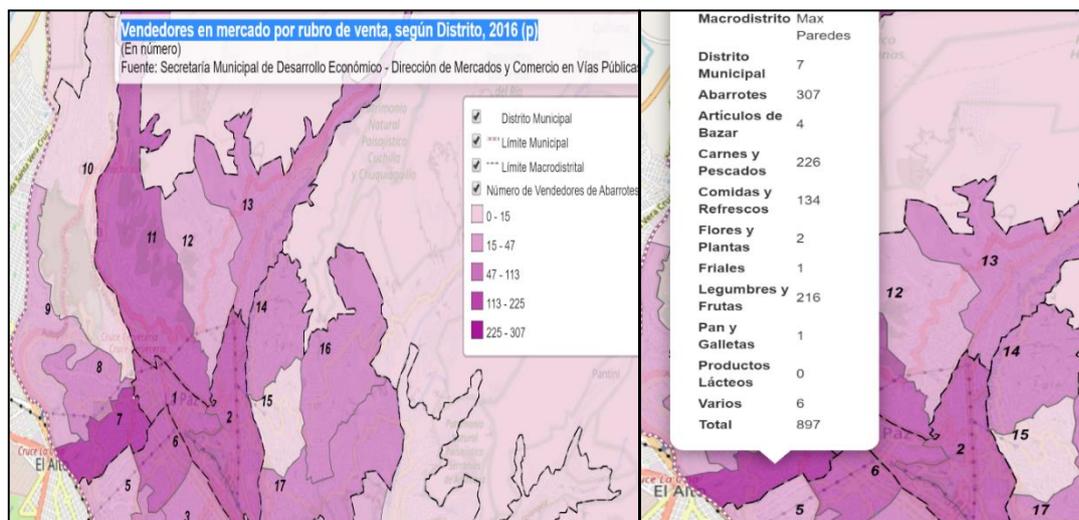
*Ilustración 3.3: Municipio De La Paz, Densidad Poblacional por distrito.*



*Fuente: Secretaria Municipal de Planificación para el Desarrollo.*

La Secretaría Municipal de Desarrollo Económico, a través de la Dirección de Mercados, proporciona información sobre la cantidad de vendedores de abarrotes por distrito. Se destaca que el distrito 7 (Max Paredes) cuenta con el mayor número de vendedores de abarrotes. Además, mediante esta información se presenta una desagregación de las demás actividades comerciales presentes en dicho distrito. Para una visualización más detallada, se puede observar la ilustración adjunta.

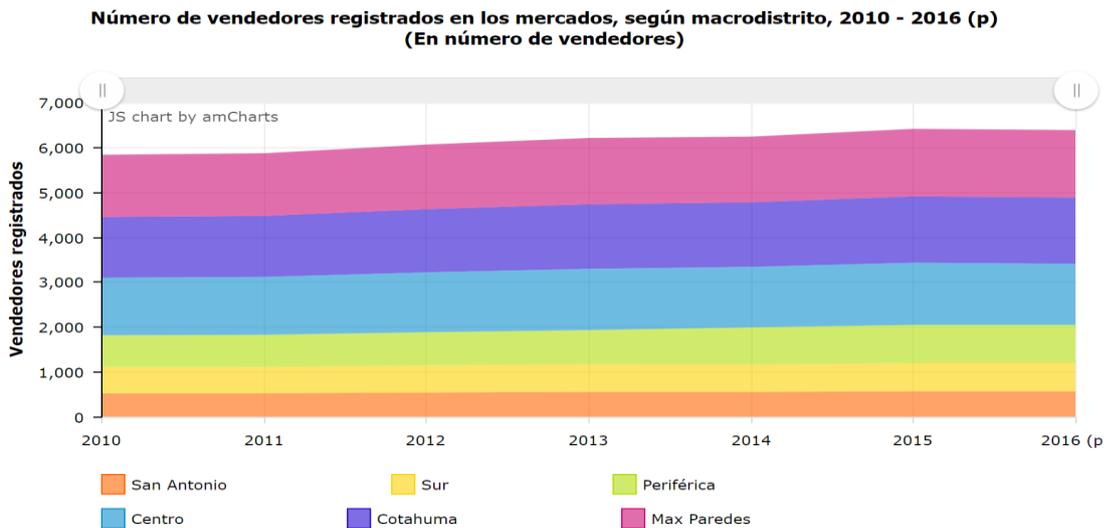
**Ilustración 3.4:** Municipio De La Paz: Número de Vendedores en Mercado por rubro.



**Fuente:** Obtenido a partir de datos de la Secretaría Municipal de Planificación para el Desarrollo.

La Dirección de Mercados y Comercio en Vía Pública ha proporcionado una Ilustración que nos permite visualizar el número de vendedores registrados según los macrodistritos. Nuevamente, se observa que los macrodistritos Max Paredes, Centro y Cotahuma son los preponderantes en cuanto al número de vendedores registrados. Estos macrodistritos presentan una mayor actividad comercial y una mayor concentración de vendedores en comparación con otros macrodistritos del municipio. La información proporcionada por la Dirección de Mercados y Comercio en Vía Pública es relevante para comprender la dinámica y distribución de los vendedores en el municipio.

**Ilustración 3.5:** Municipio De La Paz, Número de vendedores registrados por macrodistrito.



**Fuente:** Dirección de Mercados y Comercio en Via Pública.

Después de haber argumentado de manera técnica y sistemática los distritos con mayor densidad poblacional y movimiento comercial dentro del municipio, es importante mencionar los resultados del diagnóstico del transporte y la vialidad de la ciudad de El Alto en 2011. Según este diagnóstico, un porcentaje aproximado del 24% de la población de El Alto se traslada diariamente y en horas pico hacia la ciudad de La Paz (Pereira Morató, 2018).

Los puntos de llegada identificados en este documento son la calle Pérez Velasco, la garita de Lima y las calles adyacentes a la avenida Buenos Aires y Max Paredes. Estos puntos coinciden con el distrito 1 (Centro) y los distritos 6 y 7 (Max Paredes) del municipio paceño (Pereira Morató, 2018).

Basándose en el desarrollo de los párrafos anteriores y teniendo en cuenta el artículo "Uso del Espacio Público en la Ciudad de La Paz", que presenta el cuadro adjunto, se puede afirmar que los macrodistritos Centro y Max Paredes tienen una mayor distribución de servicios y comercio. Por lo tanto, el desarrollo de la caracterización y el análisis del perfil logístico del municipio se llevará a cabo en estas zonas mencionadas.

**Tabla 3.1:** Municipio De La Paz: Uso del espacio público por macrodistrito.

<b>Macrodistrito</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Centro	28
Max Paredes	23
Cotahuma	20
Periferica	11
Sur	8
San Antonio	7
Mallasa	2
Hampaturi	0.4
Zongo	0.09
<b>Total</b>	<b>100%</b>

*Fuente:* Obtenido de Pereira Morató, 2018

Finalmente, dentro del análisis correspondiente al diagnóstico comercial y la contextualización del municipio, desde un punto de vista micro de la distribución urbana, es necesario, además, examinar a los actores e involucrados puesto que presentan distintos puntos de intereses.

**Tabla 3.2:** Municipio De La Paz, Actores de la logística urbana.

<b>Actores del Municipio</b>	<b>Objetivo</b>
Autoridades	Garantizar accesibilidad Mitigar externalidades logísticas Creación de políticas y regulaciones Reducción del impacto ambiental
Residentes	Tener acceso a variedad de productos y servicios Reducción de las externalidades de la logística urbana, para mejorar su calidad de vida
Proveedores	Crecimiento del mercado Reducción de costos operativos Rentabilidad
Transportistas	Reducción del trafico Reducción de costos
Clientes	Competitividad Rentabilidad

*Fuente:* Elaboración propia

### 3.2. Metodología: Mejores Ciudades para la Logística

La metodología aplicada en este estudio se conoce como Last Mile Km2, la cual se centra en el análisis logístico de un área específica de un lugar, generalmente medida en kilómetros cuadrados (Km2), teniendo en cuenta variables demográficas, económicas e infraestructura vial. El objetivo principal de esta metodología es comprender la caracterización de las zonas en las megaciudades del mundo y analizar los factores que influyen en el desarrollo de las prácticas logísticas urbanas (MIT Megacity Logistics Lab, 2013).

Esta metodología ya ha sido implementada en ciudades como Buenos Aires, Santiago y México, adaptándose a las características geográficas y niveles de urbanización de cada lugar (Castrillo, Goycochea, Rodriguez y Chong, 2017). Last Mile Km2 se compone de cuatro fases de análisis que se describen a continuación. Estas fases tienen como objetivo principal identificar las medidas y planes necesarios para satisfacer las necesidades de diferentes zonas dentro de una ciudad.

**Fase de Caracterización:** En esta etapa se recopila información detallada sobre las características demográficas, la actividad económica y la infraestructura vial de la zona en estudio. Esto incluye datos como densidad de población, tipos de establecimientos comerciales, rutas de transporte y puntos de acceso.

**Fase de Análisis de Variables:** En esta fase se realiza un análisis exhaustivo de las variables recopiladas en la etapa de caracterización. Se examinan las interrelaciones entre estas variables y se identifican los factores clave que influyen en la logística urbana de la zona.

**Fase de Medidas y Planes:** Basándose en los resultados del análisis de variables, se proponen medidas y planes específicos para mejorar la eficiencia y la efectividad de la

logística urbana en la zona estudiada. Esto puede incluir la implementación de nuevas infraestructuras, cambios en las rutas de transporte, optimización de la distribución de mercancías, entre otros.

Fase de Evaluación y Mejora: En esta última fase, se evalúan los resultados de las medidas y planes implementados en la zona de estudio. Se recopilan datos relevantes y se realizan análisis comparativos para determinar el impacto de las acciones tomadas y para identificar posibles mejoras y ajustes en el sistema logístico.

En resumen, la metodología Last Mile Km2 busca proporcionar un enfoque integral para comprender y mejorar las prácticas logísticas en áreas urbanas específicas. A través de sus distintas fases de análisis, busca brindar soluciones adaptadas a las necesidades y características de cada zona en particular.

A continuación, se detalla una breve descripción de los formularios aplicados durante el trabajo de campo:

- **Inventario de Tiendas:** permite identificar la cantidad de tiendas que existen dentro del kilómetro cuadrado seleccionado de una zona específica, recolección geo-referencial de datos de los establecimientos comerciales y actividad comercial en la zona de estudio (Merchán, Blanco, & Bateman, 2015). Incluye detalles como: tipo de establecimiento, largo del frente, ubicación geográfica, nombre del local y disponibilidad de área de carga.

**Tabla 3.3:** Municipio De La Paz, Actores de la logística urbana.

<b>Tipo de Establecimiento</b>	<b>Descripción</b>
Tipo A	Locales pequeños que vendan una línea general de productos
Tipo B	Locales de tamaño mediano o grande donde se vende una línea
Tipo C	Locales especializados en almacenar y despachar combustibles
Tipo D	Locales que venden ropa y accesorios de vestir
Tipo E	Locales que proveen alojamiento a corto plazo a turistas,
Tipo F	Locales que preparan comidas y bebidas a pedido de
Tipo G	Locales que venden medicinas (farmacias)
Tipo S	Escuelas, secundarias, universidades y cualquier tipo de
Tipo O	Locales comerciales que no se atribuyen a las demás
Tipo U	Locales cerrados, desocupados o proveedores de servicios
Tipo K	Kioskos

**Fuente:** *Parametros obtenidos a partir de MIT Megacity Logistics Lab, 2015.*

- **Regulaciones de tránsito y calles:** Describe información de señalización e infraestructura de tránsito. Identifica información relevante a la red vial (uso de la calzada, número de aceras y su dimensión), infraestructura de estacionamientos (disponibilidad y dimensiones de área de carga y descarga) y reglamentos.
- **Entrega de mercadería:** Información demuestra las cantidades de entregas, tipo de productos, tipo de vehículos empleados, entre otros; en una calle que presenta densidad comercial.
- **Conteo de Tráfico:** La información revela datos del flujo de vehículos en una calle que presenta mayor concentración vehicular dentro del km<sup>2</sup>. Datos recolectados del flujo vehicular, pedestre, de carga liviana, mediana y pesada y vehículos de transporte masivo
- **Interrupciones:** Expone las disrupciones en el tránsito vehicular por diversas fuentes de interrupción. Se recolectan datos referentes al tiempo de demora, fuente de disrupción, impacto del bloqueo y el número de vehículos afectados.

La metodología aplicada en este capítulo, nace de la investigación denominada “Desafíos para la movilidad de carga en zonas de alta congestión” Dirigida por los profesores Daniel Merchan y Edgar Blanco, ambos prestigiosos investigadores del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT); esta metodología propone un análisis logístico de un área determinado (km<sup>2</sup>), en relación al estudio de variables demográficas, de actividad económica (comercios) e infraestructura vial, es se denomina “Last Mile Km<sup>2</sup>”

La información recolectada corresponde a indicadores logísticos que permitan visualizar la situación actual de la zona seleccionada (MIT, 2013). Esta metodología comprende la toma de los datos e información por medio de dos fases: la primera corresponde a recolectar y registrar la información total del inventario de tiendas, las regulaciones viales y las restricciones de parqueo en las mismas dentro del Km<sup>2</sup> seleccionado. La segunda fase contempla la recolección de tiempos, productos, cantidades, equipo utilizado en las entregas que se producen en un sector específico y delimitado dentro del Km<sup>2</sup> (MIT, 2013). A más de tomar datos de las entregas, también se toma información referente a las interrupciones del tráfico vehicular que se dan en la zona delimitada relacionadas o no con las entregas (MIT, 2013).

### ***3.2.1. Recolección de Datos y Caracterización.***

Para el desarrollo de esta metodología se han establecido 4 fases de análisis que nos permitirán avanzar de manera sistemática. A continuación, se describen brevemente cada una de estas fases:

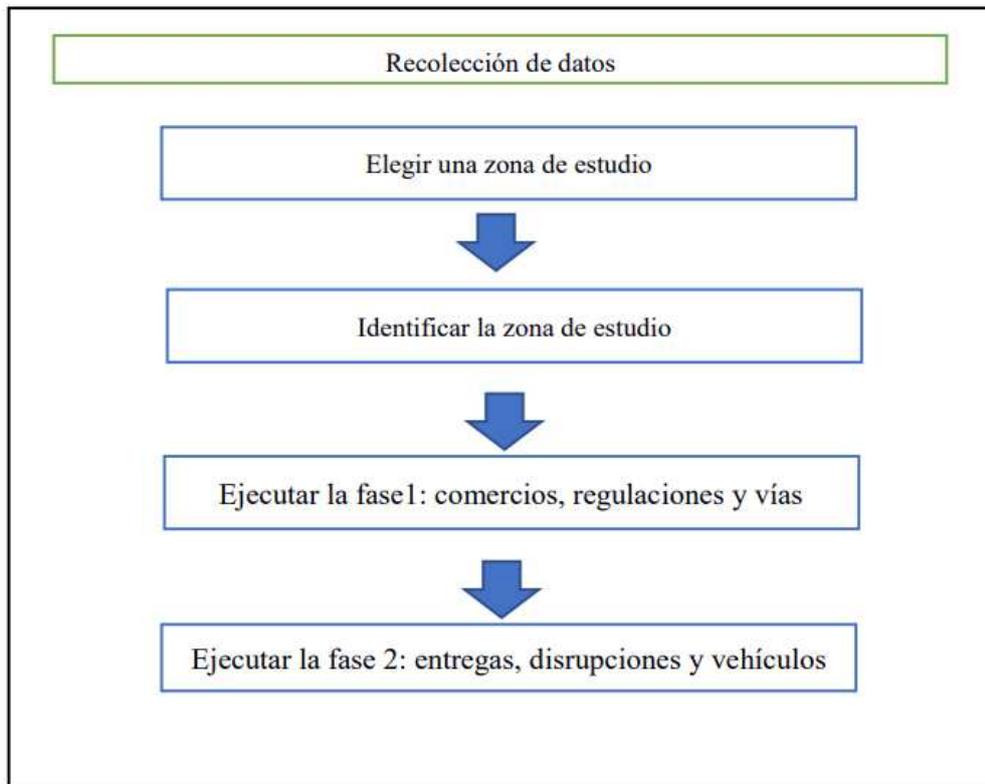
- ✓ **Definición y Segmentación de la Zona de Estudio:** En esta fase, se define y delimita de manera precisa la zona de estudio dentro del municipio. Se pueden utilizar criterios geográficos, demográficos o comerciales para determinar los límites de esta zona.

Una vez definida, se procede a segmentarla en áreas más pequeñas que permitan un análisis detallado.

- ✓ Inventariado de la Zona: En esta etapa, se realiza un inventario exhaustivo de los elementos presentes en la zona de estudio. Esto puede incluir establecimientos comerciales, infraestructura vial, puntos de acceso, áreas de carga y descarga, entre otros. El objetivo es recopilar información completa y detallada sobre todos los componentes relevantes para el análisis logístico.
- ✓ Observación de un Frente Seleccionado: En esta fase, se elige un frente específico dentro de la zona de estudio para realizar una observación detallada. Puede ser una calle, una zona comercial o un área de carga y descarga. Se analizan los flujos de mercancías, el movimiento vehicular, los tiempos de carga y descarga, y otros aspectos relevantes. Esta observación proporciona información valiosa para comprender la dinámica logística en esa área seleccionada.

Cabe mencionar que, dependiendo de la metodología específica que se esté utilizando, las fases pueden variar en su orden o en los aspectos específicos que se aborden en cada una. Sin embargo, en general, estas 4 fases proporcionan un enfoque estructurado para el análisis logístico en el municipio.

**Ilustración 3.6:** Metodología Utilizada: Recolección de Datos



**Fuente:** Last mile Km2, Megacities Logistics Lab MIT

La primera fase de la metodología propone un inventario de la zona con los siguientes formularios: inventario de comercios, regulaciones y vías. La segunda fase tiene el propósito de observar el desenvolvimiento del frente más denso, sus factores variables (no son fijos en el corto plazo) en un periodo para establecer la cantidad de disrupciones, número de entregas y el conteo del tráfico. (Maraví et al., 2019)

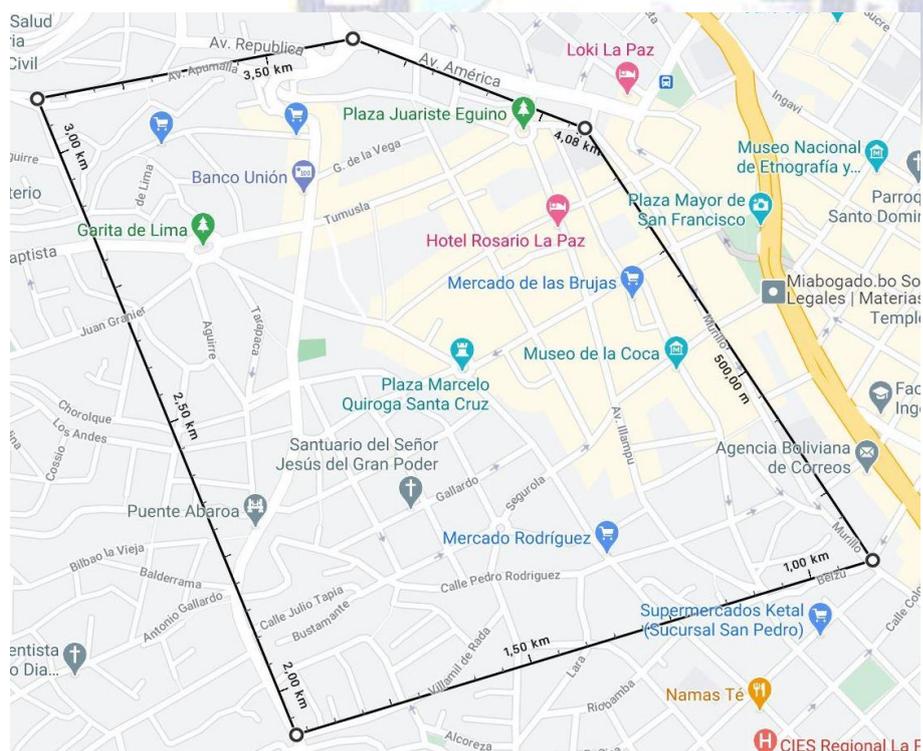
### **3.2.2. Definición de la zona de estudio**

El primer paso es establecer el área de estudio en un kilómetro cuadrado (km<sup>2</sup>). Para lograrlo, se realizó un análisis contextual del municipio que incluyó criterios de densidad poblacional y comercial. Se examinó el número de licencias de funcionamiento otorgadas por distrito, el número de vendedores por macrodistrito y otros indicadores relevantes. Además, se realizó un recorrido por las diferentes zonas para obtener una comprensión más precisa de la realidad local.

Este proceso permitió delimitar la zona de estudio dentro de los distritos 1 y 7, que corresponden a los macrodistritos Centro y Max Paredes, respectivamente. Posteriormente, se realizaron observaciones detalladas en estos distritos, identificando vías y puntos con condiciones operativas complejas. Se tomaron en cuenta factores como infraestructuras altamente congestionadas, distribución vial conflictiva y alta densidad comercial.

Como resultado de este análisis, se delimitó el kilómetro cuadrado de estudio de la siguiente manera: al norte por la avenida América y la plaza Eguino, al este por la calle Murillo, al sur por la calle Rodríguez y al oeste por la calle Calatayud y la plaza Garita de Lima.

**Ilustración 3.7: Metodología Utilizada: Delimitación del kilómetro cuadrado**



**Fuente:** Elaboración propia en base a Last mile Km2, Megacities Logistics Lab MIT

Siguiendo la metodología propuesta por Megacities Logistics Lab, el kilómetro cuadrado de estudio se dividió en un total de 79 cuadras. Esta división en cuadras permite una mejor organización y estructuración en la recopilación de datos en la zona. Cada cuadra se

considera como una unidad de análisis individual, lo que facilita la recopilación de información relevante sobre aspectos logísticos, como la infraestructura vial, los puntos de carga y descarga, la densidad comercial y otros elementos clave para el estudio.

Esta división en cuadras ayuda a obtener una visión detallada y sistemática de la zona de estudio, permitiendo un análisis más preciso y la identificación de patrones o problemáticas específicas en cada cuadra. Además, esta estructuración facilita el seguimiento y la comparación de datos a lo largo del kilómetro cuadrado, lo que contribuye a la comprensión integral de la logística urbana en la zona seleccionada.

**Ilustración 3.8:** Kilómetro cuadrado: Segmentación por cuadrantes.



**Fuente:** Elaboración propia en base a Last mile Km2, Megacities Logistics Lab MIT

### **3.3. Recolección de datos**

Durante la primera fase del estudio enfocado en la interacción entre comercios, regulaciones y vías en un área específica, un equipo llevó a cabo la recolección de datos dentro de un kilómetro cuadrado utilizando formularios impresos. Este proceso se realizó durante tres semanas en horario comercial, precedido por una capacitación exhaustiva que incluyó una simulación práctica. La recopilación reveló una concentración de tiendas de ropa y abarrotes, destacando la complejidad logística debido a la variedad de proveedores. Este hallazgo subraya la necesidad de estrategias efectivas en la gestión de la cadena de suministro para optimizar el abastecimiento en el área estudiada.

#### **3.3.1. Fase 1: Comercios, regulaciones y Vías.**

A continuación, se presenta la información logística recopilada para la zona del kilómetro cuadrado seleccionado. Los datos fueron recolectados por tres personas durante un período de tres semanas en horario laboral (de lunes a viernes) y entre las 08:00 y las 18:00 horas. Se utilizaron formularios impresos con el fin de facilitar la recopilación de datos y evitar cualquier riesgo para las personas mediante el uso de teléfonos inteligentes o tabletas.

Antes de la recopilación de datos en vivo, se llevó a cabo una fase de capacitación que consistió en 8 horas en total. De estas, 4 horas se dedicaron a compartir y comprender la herramienta de recopilación (los formularios) y las otras 4 horas se destinaron a una prueba en vivo donde se utilizó la herramienta de recopilación en una ubicación de prueba. Esta ubicación de prueba consistió en un área de un bloque cuadrado cerca del kilómetro cuadrado seleccionado, y se utilizó para simular las condiciones reales de recopilación de datos en la zona.

### 3.3.1.1.1. Inventario de Tiendas

En cuanto al inventario de tiendas, se encontró que la mayoría de las tiendas ubicadas en la zona (aproximadamente el 43%) están relacionadas con la venta de ropa y productos de vestir. Otro porcentaje significativo corresponde a tiendas y quioscos de abarrotes, así como tiendas de barrio, que representan aproximadamente el 14% del total. De las 9,386 tiendas inventariadas, se identificó un problema común: la necesidad de adquirir productos de consumo envasados y bebidas de diversos proveedores. Esta diversidad de proveedores plantea un desafío logístico en términos de abastecimiento y gestión de la cadena de suministro para estas tiendas.

*Tabla 3.4: Inventario De Tienda, Número de Tiendas en la zona*

<b>INVENTARIO DE TIENDAS EN ZONA</b>			
<b>Categoría</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de Tiendas</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
A	Tienda de víveres	1.300	14%
D	Ropa	4.060	43%
E	Hotel, hostel	55	1%
F	Comida, Bebida	387	4%
G	Farmacia, Dentista	80	1%
S	Escuelas	9	0%
O	Otros	3.337	36%
U	Servicios	158	2%
<b>TOTAL</b>		<b>9.386</b>	<b>100%</b>

*Fuente: Elaboración con base a datos recolectados mediante la metodología Last mile Km2, Megacities Logistics Lab MIT*

Como se evidencia en la ilustración de torta que representa el inventario de las tiendas, se destaca que el 78% de los productos con una presencia significativa en el mercado pertenecen al ámbito de la ropa y otras categorías. Esta clasificación de “Otros” abarca, en función de las particularidades de la región, artículos como electrodomésticos, muebles y diversos insumos.

**Ilustración 3.9:** *Inventario de Tiendas, Número de Tiendas en la zona*



**Fuente:** *Elaboración con base a datos recolectados en la zona mediante la metodología Last mile Km2, Megacities Logistics Lab MIT*

### 3.3.1.1.2. Regulación de tránsito y calles

La elaboración del perfil logístico implica analizar las condiciones viales a las que están sujetas las zonas en cuestión. Esta fase engloba la evaluación de la regulación del tránsito en las calles de la zona seleccionada, centrándose especialmente en la presencia de señalización en los 79 cuadrantes identificados. Se examinan aspectos como la existencia de paradas de autobuses y cruces peatonales para garantizar una comprensión completa del entorno y su impacto en la logística.

**Tabla 3.5:** *Regulación de tránsito, Inventario de señaléticas*

INVENTARIO DE REGULACIONES		
Señalización	Cantidad	Porcentaje
No Tiene	285	83,6%
Parada de bus	13	3,8%
Transito Peatonal	43	12,6%
TOTAL	341	100,0%

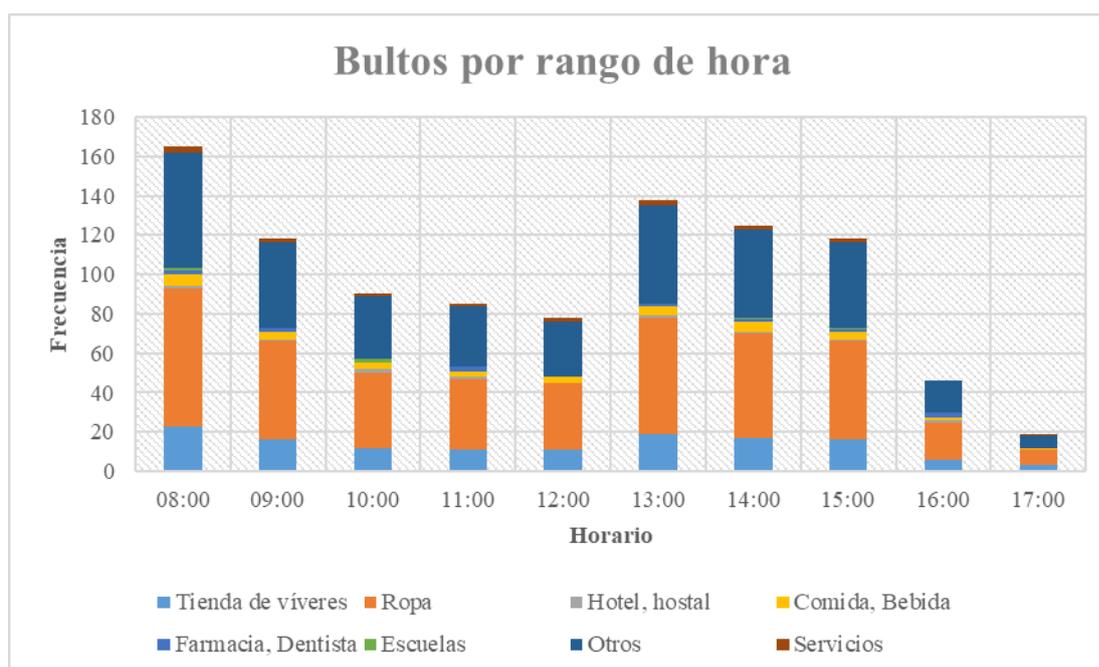
**Fuente:** *Elaboración con base a datos recolectados en la zona mediante la metodología Last mile Km2, Megacities Logistics Lab MIT*

Como se evidencia en la tabla, se destaca que más del 83% de las calles carecen de cualquier tipo de señalización. Únicamente el 3,8% de todas las vías observadas presenta señales, como las destinadas a indicar paradas de buses. Por último, el 12,6% cuenta con al menos una señal relacionada con el tránsito vial. Este panorama resulta crítico en el análisis, especialmente considerando el intenso movimiento peatonal y comercial. La presencia de un desequilibrio entre la regulación vial y la actividad comercial se fundamenta en problemas de desorden urbano, lo cual merece una atención especial en el desarrollo de estrategias logísticas y de planificación urbana.

### **3.3.1.2. Características de entrega de mercadería**

Esta sección del perfil logístico aborda una de las características más significativas: la tasa de entrega de paquetes por hora. En la zona, se identifican períodos con un notable incremento en la actividad comercial, distribuyéndose entre los diversos tipos de establecimientos. Este análisis de la capacidad de entrega por hora se revela como un factor clave para comprender y gestionar eficientemente las demandas logísticas, especialmente en momentos de elevado flujo comercial.

**Ilustración 3.10:** Características de entrega: Bultos por rango de hora



**Fuente:** Elaboración con base a datos recolectados en la zona mediante la metodología Last mile Km2, Megacities Logistics Lab MIT

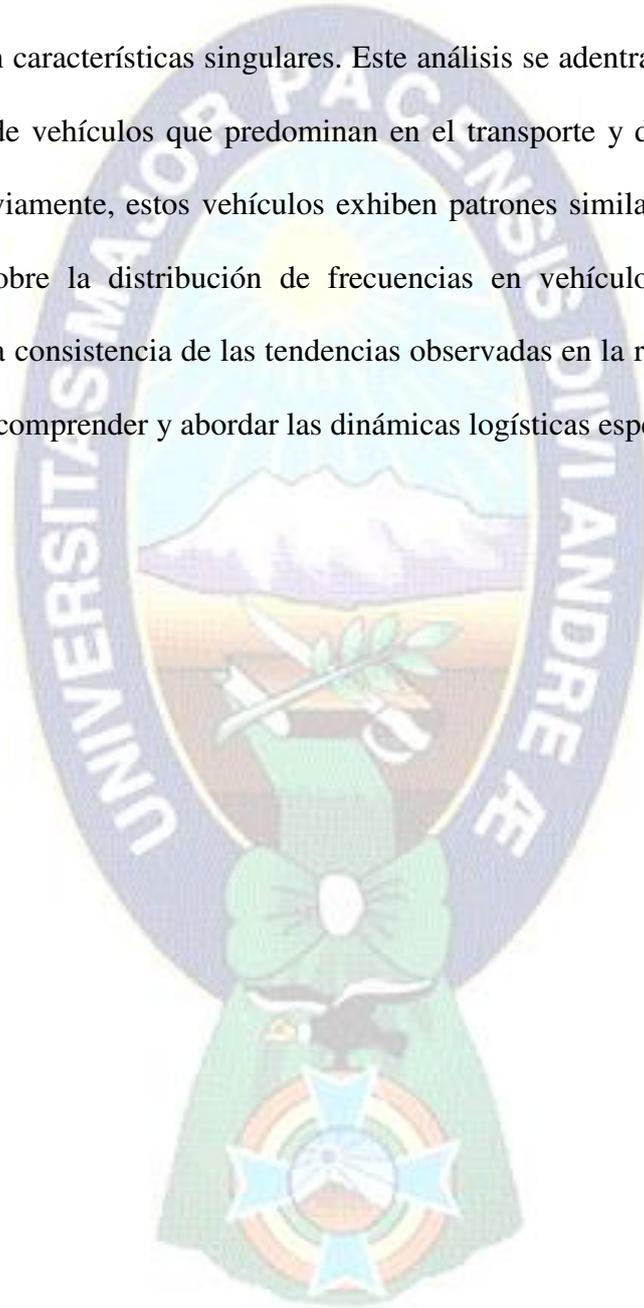
Dentro de la gráfica acumulativa, se registraron 162 bultos en el intervalo de las 8:00, seguido de otra cifra significativa a las 13:00, con un total de 148 unidades entregadas dentro de dicho rango horario. Es importante señalar que las tiendas con un flujo comercial más elevado se encuentran mayormente en las categorías de Ropa y otros productos. Cabe destacar que estas entregas no necesariamente implican descargas directas desde vehículos de transporte, sino que se realizan mediante el flujo desde galpones de almacenamiento más grandes ubicados en las cercanías de los comercios dentro de la zona de análisis.

En cuanto a las entregas, se determinó que el 68% de ellas correspondían a productos de abarrotes (39%) con un total de 166 entregas, y bebidas (29%) con un total de 125 cajas entregadas, según el inventario de las tiendas. Esto respalda la suposición inicial de que la mayoría de las tiendas en la zona son bares, restaurantes, kioscos y otros establecimientos relacionados con la alimentación. Otros productos importantes que se entregan incluyen carnes, botanas, mariscos, verduras y otros productos alimenticios. Estos datos demuestran la

importancia de la logística de distribución de alimentos en la zona y resaltan la necesidad de una gestión eficiente de las entregas en el área de estudio.

### **3.3.1.3. Tipo de vehículo para descarga**

En la región latinoamericana, las condiciones relativas al transporte y descarga de mercancías presentan características singulares. Este análisis se adentra en la clasificación de los diferentes tipos de vehículos que predominan en el transporte y descarga de productos. Como se señaló previamente, estos vehículos exhiben patrones similares a los identificados en otros estudios sobre la distribución de frecuencias en vehículos de descarga. Estos hallazgos subrayan la consistencia de las tendencias observadas en la región, proporcionando una base sólida para comprender y abordar las dinámicas logísticas específicas de la zona.



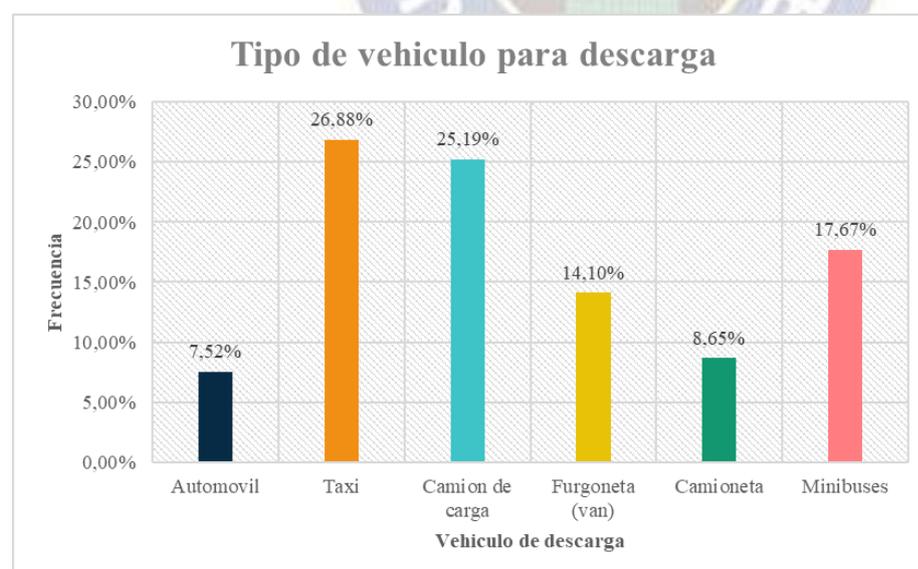
**Tabla 3.6:** Características de entrega, Tipo de vehículo para descarga de mercadería

Tipo de Comercio	Tipo de vehículo						TOTAL
	Automovil	Taxi	Camión de carga	Furgoneta (van)	Camioneta	Minibuses	
Tienda de víveres	5	11	55	23	0	33	<b>127</b>
Ropa	2	48	5	14	5	35	<b>109</b>
Hotel, hostal	13	11	1	10	2	0	<b>37</b>
Comida, Bebida	0	21	0	12	16	10	<b>59</b>
Farmacia, Dentista	0	3	0	2	0	0	<b>5</b>
Escuelas	2	8	0	0	0	1	<b>11</b>
Otros	15	37	67	14	23	15	<b>171</b>
Servicios	3	4	6	0	0	0	<b>13</b>
<b>TOTAL</b>	<b>40</b>	<b>143</b>	<b>134</b>	<b>75</b>	<b>46</b>	<b>94</b>	<b>532</b>

**Fuente:** Elaboración con base a datos recolectados en la zona mediante la metodología Last mile Km2, Megacities Logistics Lab MIT

Con base a los estudios se han registrado 6 tipos de vehículos más frecuentes para el transporte de mercadería, en ese rango para tienda de víveres el vehículo más frecuente utilizados son los camiones de carga, seguido de la ropa que su vehículo más característico de transporte es el taxi, por otro lado, en el caso de Otros no se tiene una tendencia hacia un tipo de vehículo por el contrario casi todos los vehículos conforman parte de este estudio.

**Ilustración 3.11:** Características de entrega, Frecuencia porcentual por tipo de vehículo de descarga



**Fuente:** Elaboración con base a datos recolectados en la zona mediante la metodología Last mile Km2, Megacities Logistics Lab MIT

En síntesis, al analizar la frecuencia porcentual de vehículos más utilizados para descarga de productos, se encontró que el 26,88% de estos son taxis, seguidos por camiones de carga con un 25,19%. Además, se destaca la presencia significativa de minibuses, representando el 17,67%. El 100% restante se distribuye entre otros tipos de vehículos.

Este como bien se mencionó al principio del capítulo al tomar datos de esta zona se evidenciar un patrón de comportamiento similar en diferentes perfiles logísticos consultados, esto debido al parque automotor en Bolivia y factores comerciales característicos de la zona Max Paredes.

### 3.3.1.4. Tiempo promedio de descarga de mercadería

Entre las características del perfil logístico también se encuentra una clara evidencia el tiempo promedio en el cual a un vehículo de descarga le toma aprovisionar la mercadería o los bultos a una tienda comercial dentro de dichas observaciones se presenta una tabla con los tiempos promedios de descarga por tipo de comercio de acuerdo a los datos recolectados en la zona:

**Tabla 3.7:** Características de entrega, Tiempo promedio de descarga por tipo de comercio.

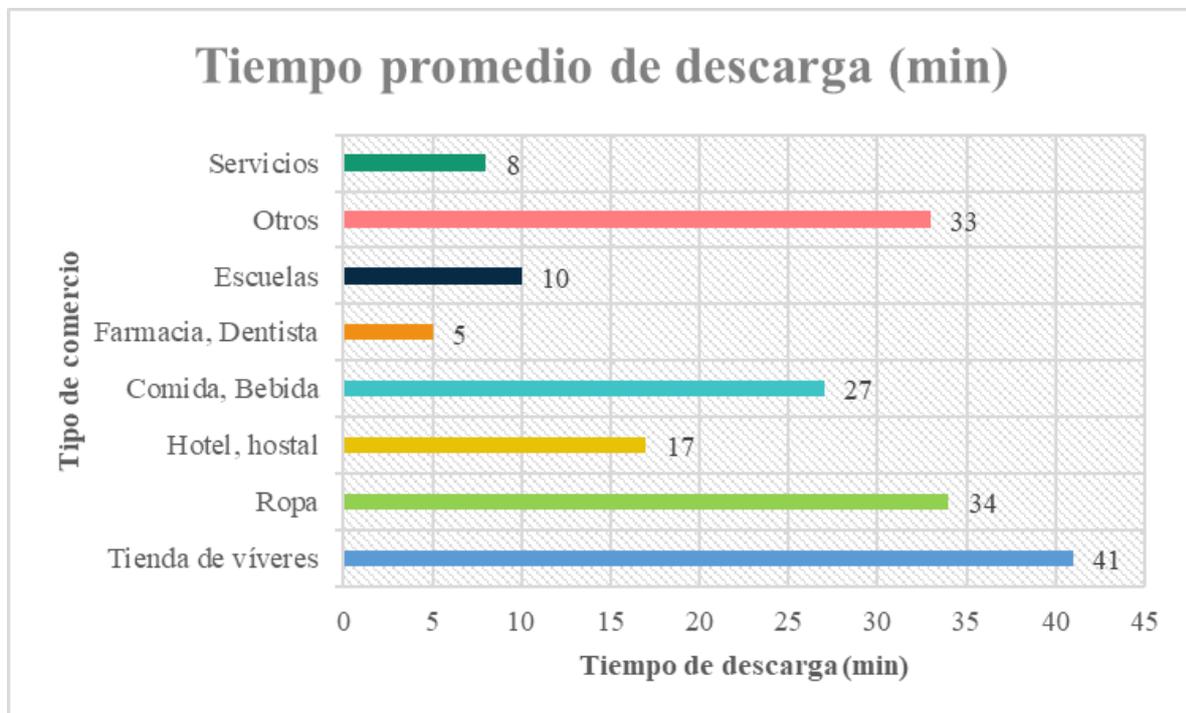
Tipo de Comercio	Tiempo promedio de descarga (min)
Tienda de víveres	41
Ropa	34
Hotel, hostel	17
Comida, Bebida	27
Farmacia, Dentista	5
Escuelas	10
Otros	33
Servicios	8

**Fuente:** Elaboración con base a datos recolectados en la zona mediante la metodología Last mile Km2, Megacities Logistics Lab MIT

Según la **Tabla 3.7**, el tiempo promedio de los productos con mayor porcentaje de participación ronda entre los 30 minutos a 40 minutos, esto debido a los elementos que lo

complementan como ser el tiempo que implica el trasladar la mercadería del vehículo a la tienda, el volumen de los productos, fragilidad y por supuesto el peso de estos productos.

*Ilustración 3.12: Características de entrega, Tiempo promedio de descarga por tipo de comercio*



*Fuente: Elaboración con base a datos recolectados en la zona mediante la metodología Last mile Km2, Megacities Logistics Lab MIT*

Las tiendas de víveres en promedio registraron el tiempo de descarga más alto siendo de 41 minutos, seguido de los comercios de ropa con un tiempo de 34 minutos, en el caso de otros tipos de comercio estos se distribuyen en un promedio de 33 minutos, y ya el restante de comercios con menos participación se distribuyen en tiempos mucho menores.

### **3.3.1.5. Rango de distancia Tienda-Vehículo para carga y descarga**

En conjunto con el análisis de los tiempos promedios de descarga, uno de los factores relevantes identificados consiste en el rango de distancia entre el comercio y el vehículo, casi nunca se llega a descargar al frente del comercio, especialmente en horas pico, los cuales al necesitar accesibilidad es normal ver que muchos de estos lleguen a estacionarse en media vía.

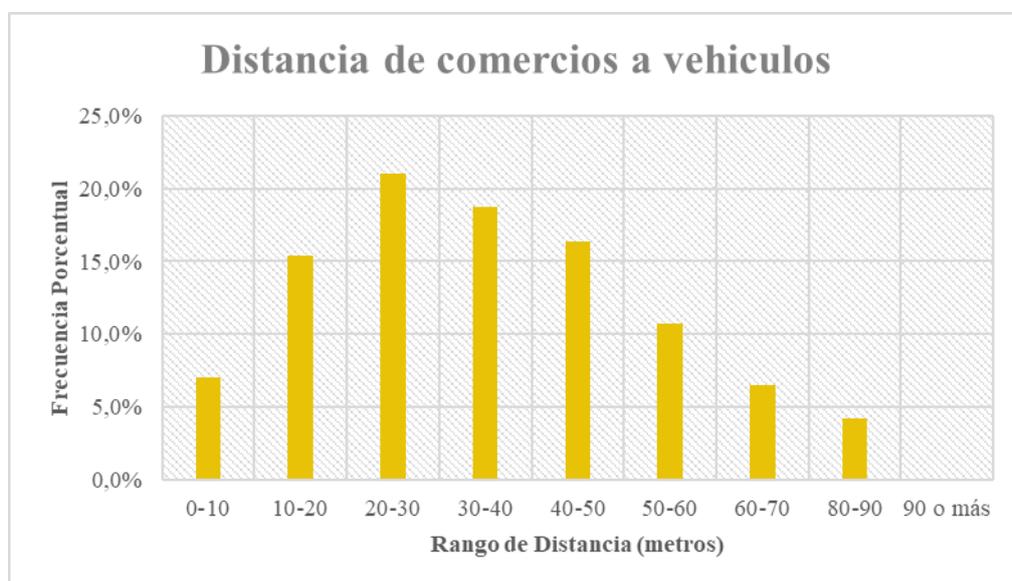
**Tabla 3.8:** Características de entrega, Frecuencia rango de distancias tienda-vehículo

<b>Distancia de Tienda-Vehículo</b>		
<b>Rango de Distancia (m)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
0-10	15	7,0%
10-20	33	15,4%
20-30	45	21,0%
30-40	40	18,7%
40-50	35	16,4%
50-60	23	10,7%
60-70	14	6,5%
80-90	9	4,2%
90 o más	0	0,0%
<b>TOTAL</b>	<b>214</b>	<b>100%</b>

**Fuente:** Elaboración con base a datos recolectados en la zona mediante la metodología Last mile Km2, Megacities Logistics Lab MIT

La **Tabla 3.8** ilustra la frecuencia con la que se observa el rango de distancias entre un comercio y los vehículos de descarga. Se destaca que las descargas son más frecuentes en un rango amplio, predominantemente entre los 20 y 70 metros. A medida que se alejan de esta franja, las frecuencias disminuyen, ya que, por un lado, la congestión en las calles dificulta el acceso, y por otro, no es práctico descargar la mercancía a distancias considerablemente alejadas del comercio, lo que podría generar fatiga. Ante estas condiciones, a menudo se opta por esperar o explorar alternativas para la descarga.

**Ilustración 3.13:** Características de entrega, Frecuencia porcentual de rango de distancia Tienda-Vehículo



**Fuente:** Elaboración con base a datos recolectados en la zona mediante la metodología Last mile Km2, Megacities Logistics Lab MIT

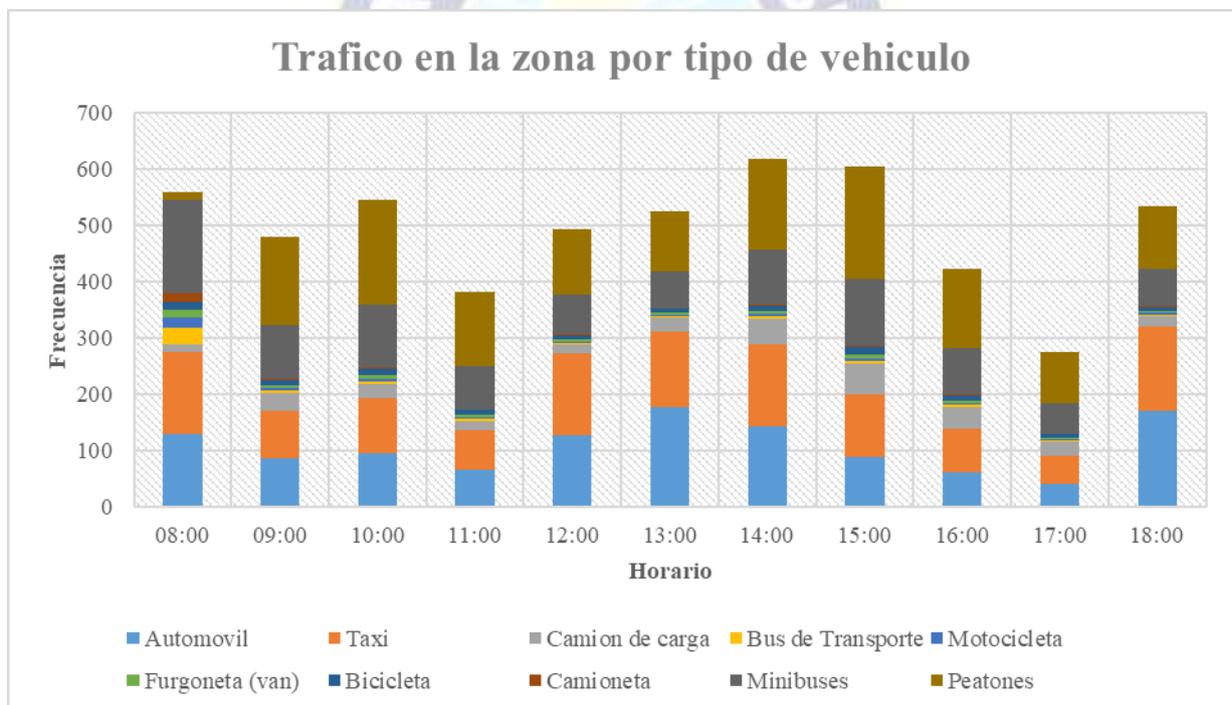
Como se aprecia en el histograma, la frecuencia de descargas se concentra principalmente en el rango de 20 a 30 metros, representando el 20% de la frecuencia total. Le sigue el intervalo de distancias de 30 a 40 metros, con una frecuencia porcentual del 18% y de esta forma como una distribución normal este va reduciendo hasta completar el 100% de rangos de descarga.

### 3.3.2. Interrupciones y vehículos

Una vez recolectados los datos del inventario de tiendas, se procedió a recopilar los datos correspondientes a las entregas dentro del kilómetro cuadrado del Municipio de La Paz, siguiendo la metodología del MIT Megacity Logistics Lab (2013). La información recolectada se presenta en el apéndice 2, en el formulario de recopilación de seguimiento de entregas (Delivery Tracking Collection Form).

En cuanto al flujo vehicular en la zona, se constató una congestión significativa prácticamente en cualquier momento del día. La tendencia indicó que la mayoría de los vehículos presentes eran automóviles, llegando a un punto álgido con casi 160 vehículos en un lapso de 15 minutos. Asimismo, se destacó una marcada presencia de taxis, especialmente durante las horas pico. De manera sorprendente, también se registró una notable afluencia de peatones en la zona.

**Ilustración 3.14:** Interrupciones, Frecuencia de tráfico vehicular por tipo de vehículo



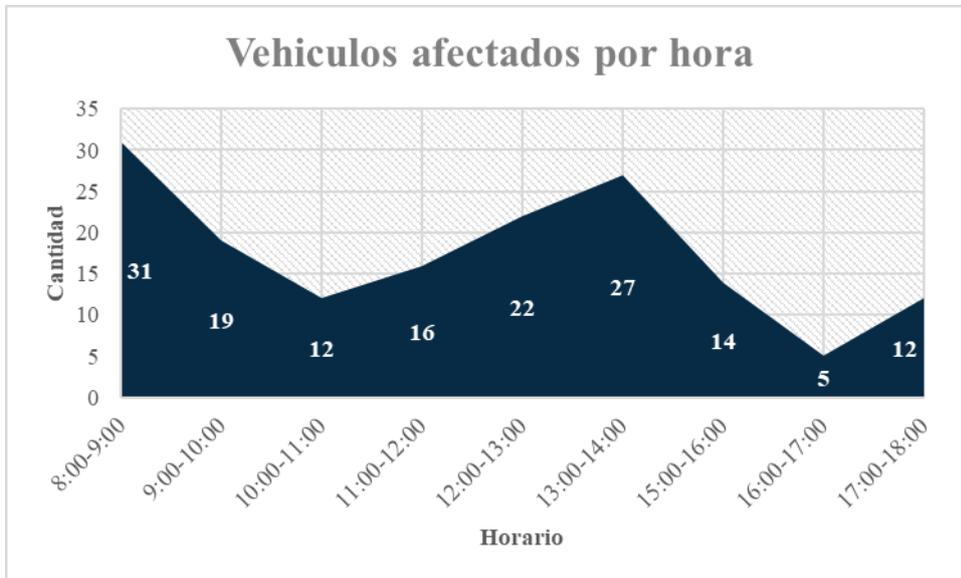
**Fuente:** Elaboración con base a datos recolectados en la zona mediante la metodología Last mile Km2, Megacities Logistics Lab MIT

La gráfica ilustra el patrón de tráfico en toda la zona, con datos agrupados por hora. Durante estos intervalos, la presencia de peatones, minibuses, automóviles y taxis destaca como los elementos que definen el comportamiento del tráfico en el área de estudio de un kilómetro cuadrado.

En el análisis de vehículos afectados por hora, se determinó que el número de interrupciones aumenta en la mañana; como consecuencia, la cantidad de automóviles

afectados por la interrupción es mayor ya que la gente todavía está tratando de llegar a sus lugares de trabajo.

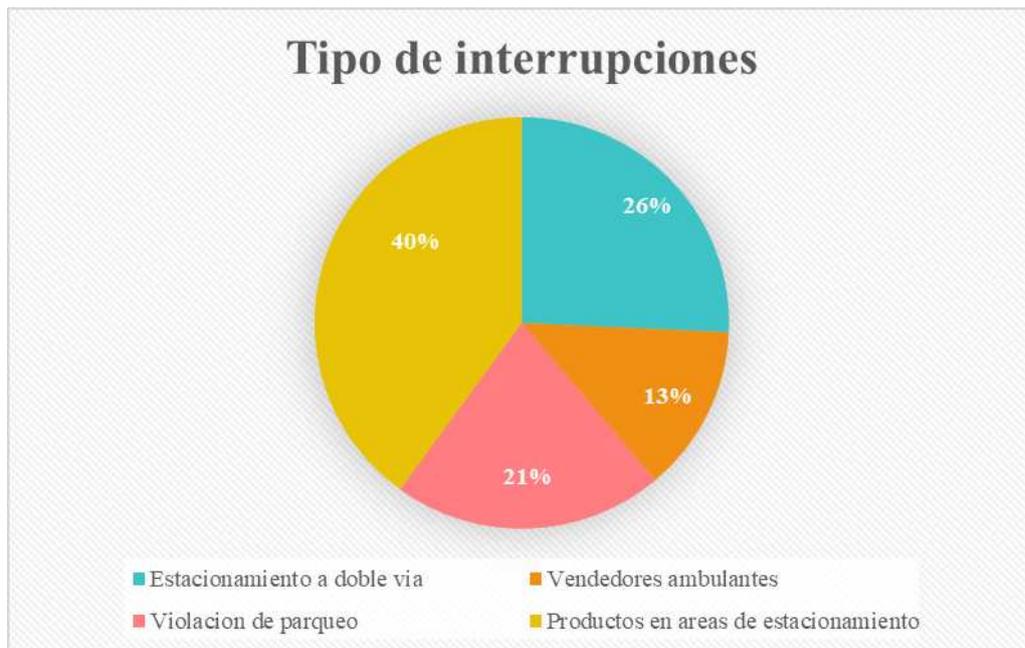
*Ilustración 3.15: Interrupciones, Cantidad de vehículos afectados por hora*



**Fuente:** Elaboración con base a datos recolectados en la zona mediante la metodología Last mile Km2, Megacities Logistics Lab MIT

En última instancia, para afinar la precisión del estudio en respuesta a la congestión vehicular en la zona investigada, se recopilaron datos sobre los factores que influyen en este fenómeno. En la gráfica subsiguiente, se presentan los factores más recurrentes identificados durante la investigación.

**Ilustración 3.16:** Interrupciones, Distribucion porcentual por tipos de interrupciones



**Fuente:** Elaboración con base a datos recolectados en la zona mediante la metodología Last mile Km2, Megacities Logistics Lab MIT

Entre los tipos de interrupciones más comunes, con un 40% de incidencia, destaca la presencia de productos en las áreas de estacionamiento. Dadas las características particulares de la zona analizada, la gran cantidad de comercios tiende a concentrar sus productos en zonas de tránsito peatonal y estacionamiento, lo que resulta en vías más estrechas para la circulación tanto de peatones como de vehículos.

El 26% del estudio de factores influyentes en la congestión se debe al estacionamiento en doble vía, pues este factor es atribuible al hecho de que al no existir estacionamientos vehiculares por saturación vehicular y mercadería sobre expuesta en vías peatonales y de estacionamiento vehicular, como consecuencia muchos vehículos llegan a estacionarse en media vía lo que genera un perjuicio que desencadena una serie de problemas a nivel urbano.

El restante 21% y 13% se distribuye en la violación de parqueo y vendedores ambulantes si bien son altamente frecuentes este tipo de factores esto solo ocurre en zonas de alta densidad comercial, por lo cual no se compara con la dos anteriores mencionadas que de

manera relativa son altamente frecuentes dado que este escenario se replica en varias calles dentro la zona estudiada.

### **3.4. Fase 3: Indicadores de desempeño logístico.**

Tras la recopilación de datos y el análisis de los resultados obtenidos, se procedió a establecer los indicadores clave de rendimiento (KPI) actuales, basado en las mediciones presentes en la literatura relacionada con las operaciones de transporte urbano de mercancías. Sin embargo, al realizar una exhaustiva revisión, se constató que los KPI existentes en la literatura no guardaban una relación directa con la metodología del km<sup>2</sup>, la cual requería ser adaptada para su aplicación en este contexto específico. En respuesta a esta discrepancia, los autores optaron por revisar y ajustar algunos KPI existentes, al mismo tiempo que propusieron nuevos indicadores pertinentes para la metodología del km<sup>2</sup>. Se enfocaron en garantizar que estos indicadores fueran comparables, replicables y aportaran un valor significativo al análisis de las operaciones de transporte urbano de mercancías.

Los indicadores de desempeño desempeñan un papel crucial en la evaluación y perfeccionamiento de las operaciones logísticas urbanas. Desempeñan la función esencial de medir la eficiencia, efectividad y calidad de los procesos de distribución y entrega en entornos urbanos. A continuación, se exponen algunos indicadores clave, junto con sus fórmulas de cálculo y parámetros de análisis principales:

1. Tiempo de Entrega (TD): El tiempo de entrega mide el intervalo de tiempo entre la solicitud de entrega y la llegada del producto al destinatario. Fórmula:

$$TD = \text{Hora de Llegada} - \text{Hora de Solicitud de Entrega}$$

2. Tasa de Cumplimiento de Entregas (TCE): La TCE evalúa la proporción de entregas realizadas a tiempo en relación con el total de entregas planificadas. Fórmula:

$$TCE = \left( \frac{\text{Entregas a Tiempo}}{\text{Total de Entregas}} \right) * 100\%$$

3. Costo de Distribución por Entrega (CDE): El CDE calcula el costo promedio asociado con cada entrega realizada, incluyendo combustible, mantenimiento y otros costos operativos.

$$CDE = \frac{\text{Costo Total de Distribución}}{\text{Total de Entregas}}$$

4. Utilización de Vehículos (UV): La UV mide la eficiencia en el uso de los vehículos de entrega al comparar la distancia recorrida con la distancia total disponible.

$$UV = \left( \frac{\text{Distancia Recorrida}}{\text{Distancia Total Disponible}} \right) * 100\%$$

5. Eficiencia de Rutas (ER): La ER evalúa la optimización de las rutas de entrega al comparar la distancia recorrida con la distancia óptima posible.

$$\left( \frac{\text{Distancia Recorrida}}{\text{Distancia Óptima}} \right) * 100\%$$

6. Nivel de Inventario en Puntos de Distribución: Este indicador mide el nivel de existencias en los puntos de distribución y almacenes, lo que impacta la disponibilidad de productos para la entrega. Parámetro: Comparación entre el inventario actual y el inventario objetivo.

7. Tasa de Devoluciones (TDV): La TDV evalúa el porcentaje de productos entregados que son devueltos por diferentes motivos, como productos dañados o incorrectos.

$$TDV = \left( \frac{\text{Devoluciones}}{\text{Total de Entregas}} \right) * 100\%$$

8. Emisiones de Carbono por Entrega: Este indicador mide las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por cada entrega, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental. Fórmula: Cálculo basado en el consumo de combustible y la eficiencia del vehículo.

La elección de indicadores de desempeño adecuados depende del enfoque específico de la logística urbana y los objetivos de optimización. Estos indicadores permiten evaluar la eficacia de las operaciones, identificar áreas de mejora y tomar decisiones informadas para optimizar la distribución en el entorno urbano.

La logística urbana o logística de última milla se refiere a las actividades relacionadas con la gestión de la entrega de bienes desde el centro de distribución hasta el destino final, que generalmente es una ubicación dentro de un área urbana. Para evaluar y mejorar la eficiencia y efectividad de la logística urbana, se utilizan indicadores clave de desempeño (KPI). A continuación, se mencionan algunos KPI comunes junto con sus fórmulas de cálculo y parámetros principales:

1. Tiempo de entrega: Este indicador mide el tiempo promedio que tarda un envío en ser entregado desde el centro de distribución hasta su destino final. Se calcula dividiendo la suma total del tiempo requerido para todas las entregas por el número total de entregas.

$$\text{Tiempo promedio} = \frac{\sum \text{Tiempo requerido para todas las entregas}}{\text{Número total de entregas}}$$

2. Costo unitario por entrega: Este KPI determina el costo promedio asociado con cada entrega realizada. Incluye los costos directos e indirectos involucrados en el proceso logístico.

$$\text{Costo unitario por entrega} = \frac{\text{Costo total}}{\text{Número total de entregas}}$$

3. Tasa de cumplimiento: Esta métrica indica qué tan bien se cumplen los plazos acordados para las entregas. Se calcula dividiendo el número de entregas realizadas a tiempo entre el número total de entregas programadas.

$$\text{Tasa de cumplimiento} = \frac{\text{Número de entregas realizadas a tiempo}}{\text{Número total de entregas programadas}}$$

5. Índice de errores en la entrega: Este indicador mide la precisión de las entregas. Incluye errores como entregas incorrectas, retrasos, daños o pérdidas de productos durante el proceso logístico.

$$\text{Índice de errores en la entrega} = \left( \frac{\text{Número total de errores}}{\text{Número total de entregas}} \right) \times 100$$

6. Utilización del vehículo: Este KPI mide qué tan bien se utilizan los vehículos de entrega en términos de capacidad y eficiencia. Se calcula dividiendo el peso total entregado por el peso máximo que podría haber sido transportado.

$$\text{Utilización del vehículo} = \frac{\text{Peso total entregado}}{\text{Peso máximo posible para el vehículo}}$$

Es importante tener en cuenta que estos son solo algunos ejemplos de KPI comunes utilizados en logística urbana y logística de última milla. Los parámetros pueden variar según las necesidades específicas de cada empresa u organización.

**Tabla 3.9:** Indicadores Clave de Rendimiento, Tabla de Indicadores para la metodología del Km2

<b>Categorías</b>	<b>KPI propuesto</b>	<b>Formulación</b>
	Cobertura de Distancias.	$\frac{\text{Distancia del vehiculo a la tienda}}{\text{Distancia total recorrida}} * 100\%$
	Cobertura de tiendas	$\frac{\text{Tiendas cubiertas por el vehiculo}}{\text{Número total de tiendas en el área}} * 100$
	Tiempo de servicio	$\frac{\text{Tiempo por tienda}}{\text{Tiempo total en la zona}}$
	Tasa de servicio	$1 - \frac{\text{Número de pedidos pendientes}}{\text{Pedidos totales}} * 100$
Operacional	Puntos de entrega	$\frac{\text{Vehiculos de distribución en la zona}}{\text{Número de puntos de entrega}}$
	Densidad de tiendas	$\frac{\text{Número de tiendas}}{\text{Área total}}$
	Factor de entrega promedio del vehiculo	$\frac{\text{Número de cajas entregadas}}{\text{Número total de vehículos}}$
	Facilidad para entrega	$\frac{\text{Número de carriles de estacionamiento}}{\text{Número total de carriles en calles}}$ ó $\frac{\text{Número de áreas de carga}}{\text{Número total de calles}}$

**Fuente:** Elaboración con base en datos de *Supply Chain Management and Logistic in Latin America*, Chicaiza & Hidalgo. 2018

**Tabla 3.10: Indicadores Clave de Rendimiento, Tabla de Indicadores para la metodología del Km2**

<b>Categorías</b>	<b>KPI propuesto</b>	<b>Formulación</b>
Energía y Consumo Ambiental	Combustible medio	Consumo de combustible por vehículo
	Emisiones	El consumo de combustible x emisiones por tipo de combustible
Trafico	Densidad de trafico	$\frac{\text{Número de vehiculos}}{\text{Área total}}$
		ó $\frac{\text{Número de vehiculos}}{\text{Periodo de tiempo}}$
Vehicular	Velocidad media	$\frac{\text{Distancia recorrida por vehiculo}}{\text{Hora de cubrir esa distancia}}$
	Trafico por carril	$\frac{\text{Número de vehiculos}}{\text{Número total de carriles}}$

**Fuente:** Elaboración con base en datos de *Supply Chain Management and Logistic in Latin America*, Chicaiza & Hidalgo. 2018

Entre los KPI propuestos se dan algunos que requieren un trabajo más profundo con empresas que realizan distribución en la zona para tener resultados más precisos. Los indicadores como la tasa de servicio pueden ser más significantes para las empresas.

El consumo de combustible puede tener un impacto significativo en las finanzas de una empresa. Por otro lado, para los residentes de la zona, la contaminación derivada de este consumo de combustible es un aspecto a tener en consideración.

**Tabla 3.11:** Indicadores Clave de Rendimiento, Cálculo de KPIs en la zona de estudio.

<b>Categorías</b>	<b>KPI propuesto</b>	<b>Resultado</b>
Operacional	Cobertura de tiendas	9%
	Tiempo de servicio	38:36 min
	Tasa de servicio	98%
	Densidad de tiendas	9399
	Factor de entrega	3.55
	Facilidad de entrega	0,333
Trafico	Densidad de trafico	421
	Trafico por carril	113.5

**Fuente:** Elaboración con base en datos de *Supply Chain Management and Logistic in Latin America*, Chicaiza & Hidalgo. 2018

### **3.5. Políticas propuestas para mejorar la distribución de mercancías en la zona**

La falta de infraestructura, el desorden en la distribución de mercancías y la congestión vehicular en la zona de análisis, evidencian una inexistente planificación urbana. En esta sección se presentará una serie de estrategias para la gestión de mercancías y entregas con el objetivo de usar, de manera adecuada, el espacio público en base a la caracterización de la zona de estudio y el impacto en los ciudadanos.

#### **3.5.1. Implementación de bahías de carga y descarga**

La política de asignación del espacio en la vía para actividades de carga y descarga sería recomendable en el tercer y cuarto frente, por el estacionamiento en doble fila para estas actividades y, muchas veces, ambas vías, causado por la falta de espacios dedicados. Una eficaz implementación de esta política reduciría en un 63,64% la cantidad de interrupciones totales, apoyando a un mejor flujo vehicular, el cual mejoraría en un promedio de 7 minutos por viajes en la zona. El objetivo es reducir el tiempo de las interrupciones y evitar sanciones a los transportistas. Actualmente, se requiere una distancia mínima de 3,0 a 4,2 metros para

abastecer locales, el segundo frente cumple con esta norma. Esta política se ha aplicado en San Francisco, donde tomó la decisión de ampliar las aceras y designar el uso compartido de la vía para actividades de estacionamiento y carga. En Washington DC, un estudio de flete en la vía recomendó proporcionar espacios de estacionamiento y carga más largos. Otras recomendaciones son aumentar el tamaño de las áreas de carga a 30 metros lineales. El Departamento de Transporte de la ciudad de Nueva York aumentó los estacionamientos de carga asignados a vehículos comerciales e instaló parquímetros. La industria del transporte de mercancías ha reaccionado favorablemente a esta política y ha facilitado el flujo de los productos. En Lima, se está empezado a implementar estas bahías con un efecto en la competitividad económica de las ciudades al reducir los costos de transporte de carga en estos sistemas urbanos.

### ***3.5.2. Ampliación de vías***

Los nuevos o mejorados caminos consideran los radios de giro amplio de los camiones; los camiones grandes no pueden girar a la derecha sin interferir con el tráfico de sentido contrario o cortan las aceras. Un ejemplo de esta iniciativa son los corredores de carga, implementados en el Georgia Logistics en Atlanta. Las vías en la zona de estudio son de un solo sentido. La ampliación de las vías permitiría reducir el tráfico, además los vehículos de carga tendrían más espacio para transitar, realizar los repartos y abordar con más seguridad los giros amplios. La ampliación de las vías reduciría aproximadamente en un 26,50% la cantidad de interrupciones totales relacionadas al uso vehicular. Sin embargo, las implementaciones de proyectos viales en el Perú son altamente ineficientes con un promedio de 36,78% de atraso acumulado.

### ***3.5.3. Implementación de rampas.***

La construcción de rampas en las aceras para transportar mejoraría la eficiencia de las actividades de carga y descarga. Estas rampas facilitan a los conductores la entrega de

grandes cantidades de carga y reduce el tiempo en las áreas de estacionamiento y carga. Las rampas también permiten descargar los productos para una ubicación general, dividir la carga y distribuirla a varios lugares cercanos, además de contar con un único lugar de carga y descarga. Del total de entregas, el 46,15% se realizó con carretillas. Estas se concentraron en el primer y cuarto frente. La implementación de rampas permitiría mejorar la productividad del abastecimiento a un bajo costo.

#### **3.5.4. Regulaciones para las actividades de carga y descarga.**

La implementación de bahías de carga y descarga con zonas de usos flexibles fue implementada en el programa del Department of Transportation (DOT) de la ciudad de Nueva York. Estas regulaciones podrían mejorar el sistema de planificación de las empresas; y reduciría el tiempo de descarga dependiendo de la ventana de abastecimiento y su posterior costo. La viabilidad de la política va a depender de las regulaciones a los operadores logísticos. Esta opción ha demostrado, a nivel mundial, una mejora en la gestión en un 69%. Sin embargo, si bien la restricción podría reducir la congestión de transporte de carga y mejorar la seguridad y movilidad de la zona, su efectividad

## Capítulo 4 : Diseño Del Modelo Matemático Logístico Urbano

El Capítulo IV detalla el desarrollo de un modelo matemático para la optimización de rutas y bahías en áreas urbanas clave, seleccionadas mediante análisis jerárquico. Este enfoque incluye la recopilación y análisis de datos críticos como las distancias entre bahías y comercios, tipos de tiendas y la densidad de negocios, esenciales para la optimización logística. El modelo propuesto se divide en dos fases principales: la optimización de rutas, utilizando el modelo de la ruta más corta, y la maximización de la cobertura de bahías, fundamentales para mejorar el rendimiento logístico. Este análisis concluye con la presentación de resultados que ilustran el impacto positivo de la implementación del modelo.

### 4.1. Introducción

El capítulo IV, presenta el diseño del modelo matemático para la optimización de rutas y bahías para las calles influyentes que es determinado mediante el proceso de análisis jerárquico, en este procedimiento de elección de los cuadrantes más influyentes se procede a la recolección de información relevante para el estudio entre los que se señalan de manera general las distancias estimadas de bahías y las tiendas, los tipos de tiendas existentes en las zonas y la estratificación densimétrica de los negocios en ciertos cuadrantes.

Concluida la fase de selección de la calle influyente y recolección de datos se presenta un modelo comprendido en 2 partes, la primera parte centrado en la optimización de rutas mediante el modelo de la ruta más corta, y en la segunda fase la maximización de la cobertura de bahías como un indicador clave de rendimiento así mismo se presentan los costos de distribución e instalación relacionados al proyecto.

Finalmente, la presentación de resultados muestra el enfoque de modelado matemático mediante valores numéricos el impacto en la implementación considerando restricciones y tomando la mejor combinación de estas, permite mejorar el enfoque del perfil

logístico de la calle influyente, en los siguientes puntos de este capítulo se desglosa todo el análisis para el logro de los resultados bajo un enfoque de optimización matemática.

#### **4.2. Selección De Calles Influyentes**

Con el objetivo de avanzar hacia la siguiente etapa del estudio, se lleva a cabo la selección de vías prominentes en la zona. Estas calles deben cumplir con ciertos requisitos, como la cantidad de comercios, variedad de tiendas, facilidad de observación y garantías de seguridad para los investigadores. Para lograrlo, se empleará un enfoque conocido como Análisis Multi-Criterio, el cual implica asignar ponderaciones a los distintos criterios de evaluación. Entre los criterios considerados se encuentran la cantidad de tiendas, la variedad de establecimientos, el flujo de tránsito vehicular y peatonal, la facilidad de medición y la seguridad. Además, se utilizará el Proceso de Análisis Jerárquico para determinar el peso porcentual de cada criterio en el análisis.

Una vez recopilados los datos del inventario de tiendas, siguiendo la metodología del MIT Megacity Logistics Lab, se procedió a recopilar los datos relacionados con las entregas en el área del km<sup>2</sup> escogido en el municipio de La Paz (MIT, 2013). Esta información incluye tiempos, productos, cantidades y equipos utilizados. Los detalles específicos de los datos recopilados se encuentran disponibles en el formulario 2 (Formulario de Recolección de Seguimiento de Entregas).

Antes de recolectar los datos, se llevó a cabo la selección de la zona de observación para la segunda fase utilizando la técnica MCDM (Multiple Criteria Decision Making) junto con el AHP (Analytic Hierarchy Process). Se plantearon seis opciones potenciales para continuar con la investigación, teniendo en cuenta la densidad comercial y la experiencia del observador.

**Tabla 4.1:** *Analytic Hierarchy Process, Tabla de criterios para la selección de las calles influyentes*

<b>CRITERIO</b>	<b>DESCRIPCION</b>
<b>Cantidad de Comercios</b>	Cantidad de comercios encontrados en cada una de las potenciales opciones a analizar
<b>Variedad de Comercios</b>	Porcentaje de variedad de acuerdo al tipo de tienda presente en cada una de las opciones de estudio
<b>Facilidad de Observación</b>	Capacidad de visibilidad dentro de cada una de las opciones analizadas
<b>Flujo Vehicular</b>	Flujo del tránsito vehicular dentro de cada una de las opciones analizadas
<b>Flujo Peatonal</b>	Flujo del tránsito peatonal dentro de cada una de las opciones analizadas
<b>Seguridad</b>	Nivel de seguridad dentro de cada una de las opciones a ser analizadas

**Fuente:** *Elaboración con base en criterios seleccionados y metodología AHP propuesta por Saaty. 1995*

Los criterios seleccionados para el análisis AHP se describen a continuación junto con sus respectivas definiciones:

- ✓ **Número de tiendas:** Este criterio se refiere a la cantidad total de tiendas presentes en cada opción. Cuanto mayor sea el número de tiendas, mayor será la puntuación destacada.
- ✓ **Variedad de tiendas:** Este criterio evalúa la diversidad y amplitud de los diferentes tipos de tiendas en cada opción. Se asigna una puntuación más alta a las opciones que presentan una mayor variedad de tiendas.
- ✓ **Facilidad de observación:** Este criterio se refiere a la comodidad y facilidad para realizar la observación en cada opción. Se asigna una puntuación más alta a las opciones que ofrecen una mejor accesibilidad y visibilidad para los investigadores.
- ✓ **Seguridad:** Este criterio evalúa el nivel de seguridad y garantías para los investigadores en cada opción. Se asigna una puntuación más alta a las opciones que brindan un entorno seguro y protegido.

- ✓ Flujo peatonal: Este criterio considera la cantidad de personas que transitan a pie en cada opción. Se asigna una puntuación más alta a las opciones con un mayor flujo peatonal.
- ✓ Disponibilidad de bahías de carga y descarga: Este criterio se refiere a la presencia de espacios designados para la carga y descarga de mercancías en cada opción. Se asigna una puntuación más alta a las opciones que cuentan con una mayor disponibilidad de bahías.

Estos criterios se definieron en base a la información disponible, con el objetivo de realizar una evaluación comparativa utilizando la calificación pareada establecida por el AHP.

**Tabla 4.2:** Analytic Hierarchy Process, Pesos por criterios seleccionados

<b>Criterio</b>	<b>Peso (%)</b>
C1	20
C2	20
C3	30
C4	10
C5	10
C6	10

**Fuente:** Elaboración con base a la metodología AHP propuesta por Saaty. 1995

Una vez realizadas las evaluaciones pareadas utilizando la técnica AHP, se limita que el criterio de "Facilidad de observación" (C3) tiene el mayor peso, con un valor de 0,30. Este resultado es lógico, ya que una observación adecuada en la segunda fase del estudio permite un análisis más sólido con los datos e información obtenidos (MIT, 2015).

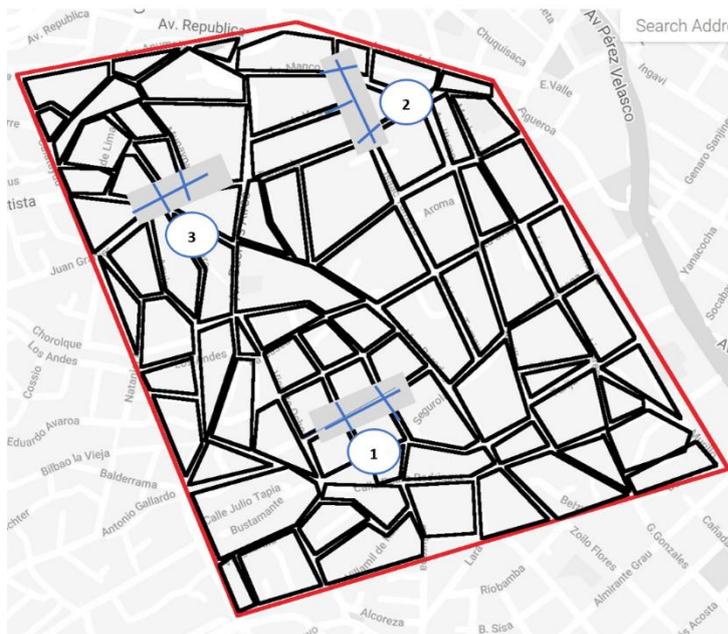
**Tabla 4.3:** *Analytic Hierarchy Process, Resultados de la selección de las calles más influyentes*

SELECCIÓN DE CALLES							
CRITERIO	PESO	CALLE MURILLO	CALLE GALLARDO	GARCILAZO DE LA VEGA	MERCADO RODRIGUEZ	AV. TUMUSLA	AV. MAX PAREDES
C1	20%	4	9	9	7	8	7
C2	20%	3	8	8	7	8	6
C3	30%	6	8	7	7	7	7
C4	10%	7	7	5	5	8	8
C5	10%	6	8	9	8	7	6
C6	10%	8	7	7	8	6	6
<b>PUNTAJE</b>		<b>5,3</b>	<b>8</b>	<b>7,6</b>	<b>7</b>	<b>7,4</b>	<b>6,7</b>

**Fuente:** *Elaboración con base a la metodología AHP propuesta por Saaty. 1995*

Utilizando los pesos obtenidos en el AHP, se realizó el análisis MCDM para determinar qué opción potencial alcanza la calificación más alta, considerando los criterios seleccionados. El resultado reveló que la Opción 2 (calle Gallardo), correspondiente al sector cercano al mercado Rodríguez y la Av. Max Paredes, obtuvo la puntuación más alta, con un puntaje de 8 puntos. Esta opción satisface todos los criterios previamente seleccionados (Almomani et al., 2013). Esto se puede observar en la siguiente ilustración, la zona en cuestión es señalada por el círculo 1; el área 2 corresponde a la zona comercial de la Garcilaso de la vega, finalmente el área 3 corresponde a la zona cercana a la Av. Tumusla.

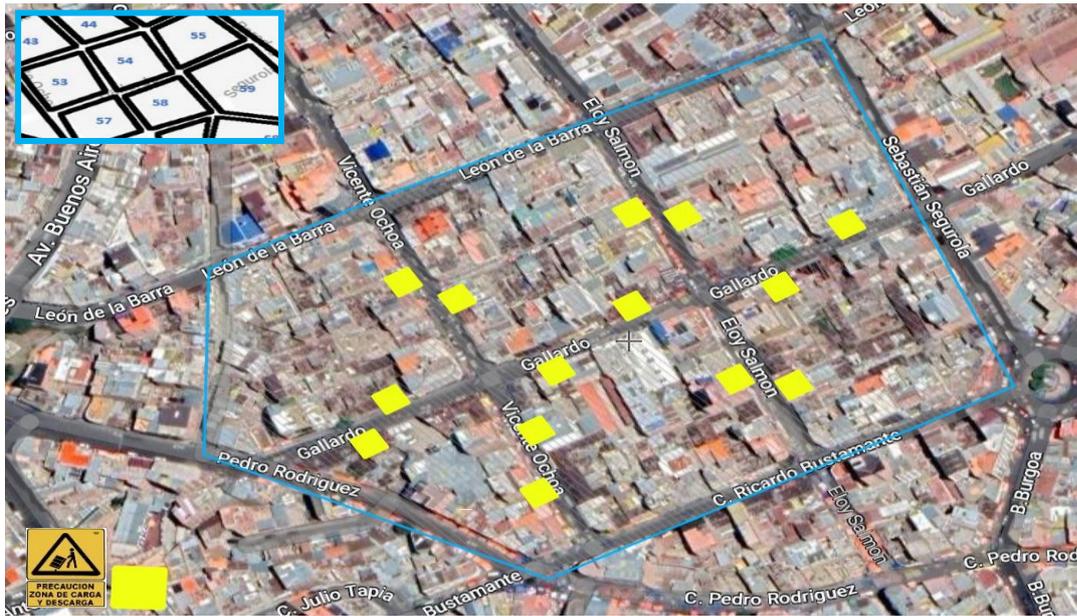
**Ilustración 4.1:** Selección de calles influyentes dentro del Kilometro cuadrado



**Fuente:** Elaboración con base a la metodología AHP propuesta por Saaty. 1995

En la Ilustración siguiente, se presenta de forma más precisa la ubicación seleccionada mediante el análisis multicriterio y el análisis jerárquico. Dicha ubicación corresponde a la calle Gallardo y las calles adyacentes. Esta zona está compuesta por los cuadrantes 53, 54, 55, 57, 58 y 59, los cuales forman parte del análisis del área de 1 kilómetro cuadrado, según la metodología desarrollada. Además, en la ilustración se muestran los puntos y calles donde es posible instalar las bahías de carga y descarga, generando un total de 7 puntos potenciales.

*Ilustración 4.2: Mapa de la calle Gallardo seleccionada como la calle influyente*



*Fuente: Elaboración con base a la metodología AHP propuesta por Saaty. 1995*

En resumen de acuerdo al análisis AHP se seleccionó la calle Gallardo como base de análisis del modelado matemático para la optimización de la logística de carga y descarga de mercadería en ese sentido, en los siguientes puntos se muestra la recolección de datos y la metodología utilizada basada en MIT Megacity Logistics Lab, se obtienen datos que sean de utilidad para el análisis de los cuadrantes 53, 54, 55, 57, 58, 59 así mismo este proyecto evalúa el impacto social sobre el número de personas afectadas dentro del kilómetro cuadrado.

### **4.3. Recolección De Datos**

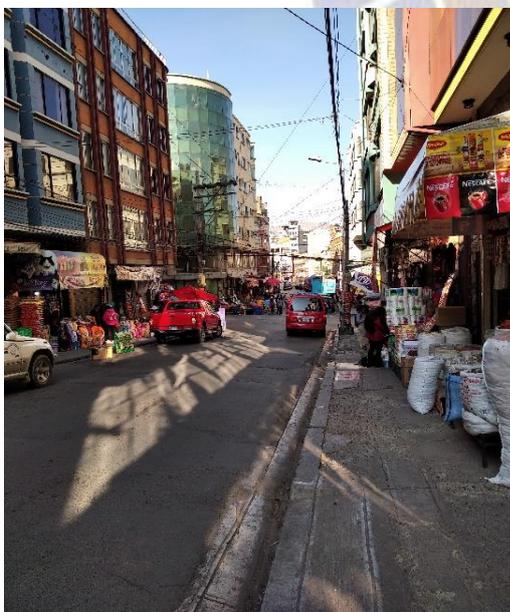
El estudio de recolección de datos comprende diferentes fases, entre los cuales implica el uso de planillas parametrizadas según los requerimientos para la recolección del inventario de negocios levantado en capítulos anteriores, en ese sentido se ha llevado a cabo una introspección actualizada y más precisa del inventario de negocios en la calle Gallardo, observando los distintos tipos de negocios y densidad de estos, cabe resaltar que la calle Gallardo distribuido entre sus distintos cuadrantes muestran la aglutinación masiva de negocios basados en 3 grandes cuotas, abarrotes y alimentos, electrodomésticos y finalmente muebles.

Dado que se tienen la selección de bahías de acuerdo al estudio de calles influyentes, se precisa la ubicación de estos, distribuidos de forma equitativa entre los cuadrantes, finalmente dentro de todo el análisis se presentan características particulares de la zona y se proyectan en la relación de distancias obtenidas desde las tiendas hasta las bahías dentro la zona del kilómetro cuadrado.

#### **4.3.1. Estudio De Campo**

La calle Gallardo presenta particularidades únicas en relación a otras zonas comerciales características de la zona norte de la ciudad de La Paz, pues aglutina a una gran cantidad de negocios como eje troncal de referencia en la adquisición de abarrotes, verduras, electrodomésticos y muebles, pues la gran afluencia de personas en esta zona demuestra como la calle Gallardo se ha convertido en un referente comercial en todo tipo de artículos comerciales.

**Ilustración 4.3:** Selección de calles influyentes, Captura de la calle Gallardo



**Fuente:** La calle Gallardo concentra gran cantidad de comercios especialmente abarrotes como se observa en la imagen, captura obtenida en base a la selección de la calle influyente (2023).

La Ilustración **Ilustración 4.3** muestra la calle central donde se concentran las tiendas de abarrotes, por alrededor de 3 cuabras esta continuidad de tiendas de abarrotes y alimentos se presentan de manera constante, siendo este tipo de negocios uno de los principales factores de estudio para la optimización matemática de bahías.

*Ilustración 4.4: Captura de cuadrantes alrededor de la calle Gallardo*



*Fuente: Captura obtenida en base a la selección de la calle influyente (2023).*

Dentro de la zona del kilómetro cuadrado, también es posible visualizar tiendas que comercializan muebles, los cuales están concentrados entre las calles Leon de la Barra y Vicente Ochoa, los cuales están ubicadas en proximidades de la calle Gallardo.

Otra de las características observables en esta zona es el comercio y la invasión de aceras peatonales de productos los cuales son factores influyentes en la selección de bahías para el estudio, en el caso de abarrotes se evidencia una relativa invasión de la acera peatonal de productos que dificulta la circulación de personas dentro la zona.

Por otro lado, el sector electrodoméstico dentro del kilómetro cuadrado presenta una crítica y alta invasión a la acera peatonal como también las vías vehiculares, lo que se refleja en una serie de problemáticas en la logística y el estrés vial dentro de estas zonas especialmente en las horas pico de mayor circulación.

*Ilustración 4.5: Calle Gallardo: Tráfico y saturación vehicular en la calle influyente*



*Fuente: Captura obtenida en base a la selección de la calle influyente, 2023.*

La ilustración anterior capta la saturación vehicular en la zona del kilómetro 0 el estacionamiento de vehículos particulares como también de vehículos de descarga representan un problema en la circulación vehicular, generando cuellos de botella densos, cabe destacar que la suma de factores como la invasión peatonal de productos y cuellos de botella viales, se traducen en un aumento del desorden de estas zonas es por ello que se vio preciso con el proyecto atender una de las zonas que mayor criticidad presentan.

#### **4.3.1.1. Tipos de tiendas.**

En el presente estudio pudo evidenciarse la presencia de diferente tipo de negocios en todo el kilómetro cuadrado, en base a estas observaciones se elabora la siguiente lista de negocios con mayor densidad en el kilómetro cuadrado.

**Tabla 4.4:** Selección de calles influyentes: Inventario de tiendas en la calle Gallardo

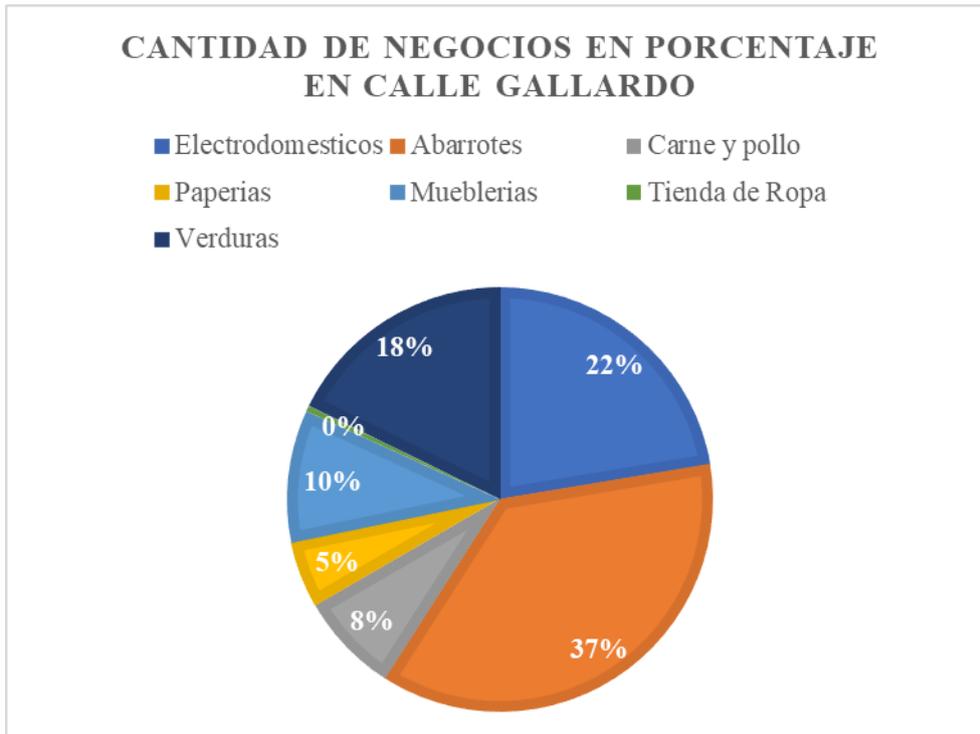
<b>Tipo de Negocio</b>	<b>Cantidad</b>
Electrodomesticos	53
Abarrotes	87
Carne y pollo	18
Paperías	12
Mueblerías	24
Tienda de Ropa	1
Verduras	42
<b>TOTAL</b>	<b>237</b>

**Fuente:** Elaboración con base en datos recopilados mediante el estudio de campo realizado en la calle Gallardo.

Como se puede ver en la **Tabla 4.4** existe un total de 237 negocios relevantes entre los 6 cuadrantes de la calle Gallardo, estos negocios resultan relevantes para el modelado debido a que, de acuerdo a la estructura comercial de sus productos, la necesidad por bahías de descarga resulta relevantes para la gran mayoría de negocios.

Como se puede apreciar en la Ilustración 4.6, dentro de la calle Gallardo, el 37% de los negocios corresponden a establecimientos de abarrotes, seguidos por un 22% de mueblerías, un 18% dedicado a la venta de verduras y un 10% a negocios de mobiliario. El resto se distribuye entre diversos tipos de comercios.

**Ilustración 4.6:** Distribución porcentual de negocios dentro la calle Gallardo



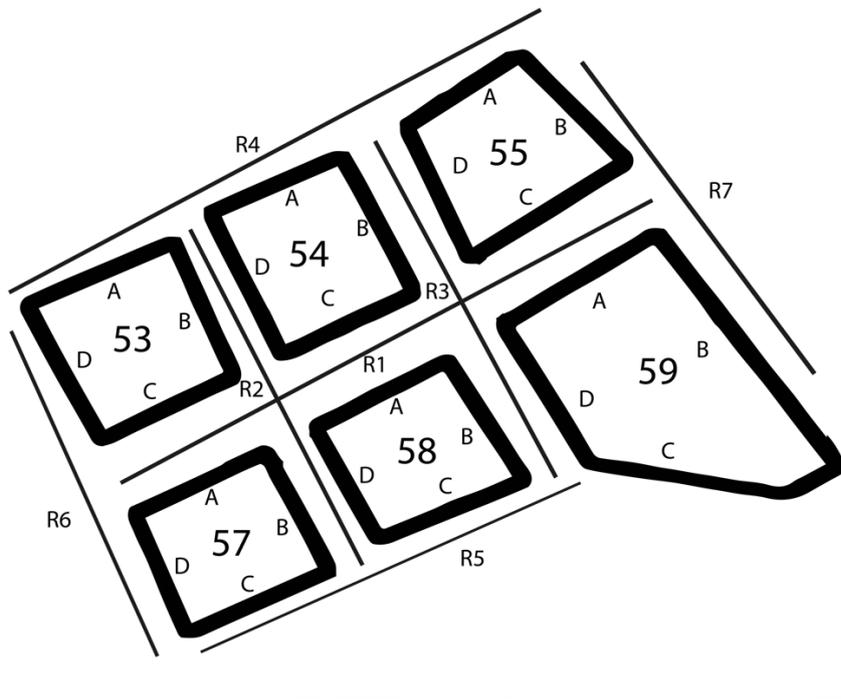
**Fuente:** Elaboración con base en datos recopilados mediante el estudio de campo realizado en la calle Gallardo.

En los siguientes apartados para fines del estudio esta cantidad se reduce a 212 negocios debido a que la existencia de un sector verduras, se organiza bajo una distribución y descarga de productos distintas que para el modelado matemático no resulta relevante en los parámetros y restricciones del modelo.

#### **4.3.1.2. Disponibilidad de vías de tráfico.**

De acuerdo a la metodología del perfil logístico de evaluación de la calidad de vías, en la kilómetro cuadrado alrededor de la calle Gallardo se han identificado 7 calles de circulación los cuales cuentan con una configuración distinta esto resulta relevante para el estudio porque permite observar las dificultades existentes en la circulación alrededor de estas zonas y su influencia en los costos de instalación y distribución, en la gráfica siguiente se observa las 7 vías o calles de circulación alrededor del kilómetro cuadrado.

**Ilustración 4.7:** Mapeo de vías de tráfico dentro la zonificación de la calle Gallardo



**Fuente:** Elaboración con base en datos recopilados mediante el estudio de campo realizado en la calle Gallardo.

La ilustración anterior muestra un plano de los 6 cuadrantes, cada uno con una configuración por lado que hacen un total de 24 lados, de los cuales cada cuadrante cuenta con 4 lados, por otro lado, también se visualiza las calles de circulación en la lista siguiente se muestra los nombres que reciben estas calles.

**Tabla 4.5:** Código de rutas según calles dentro la zonificación de la calle Gallardo

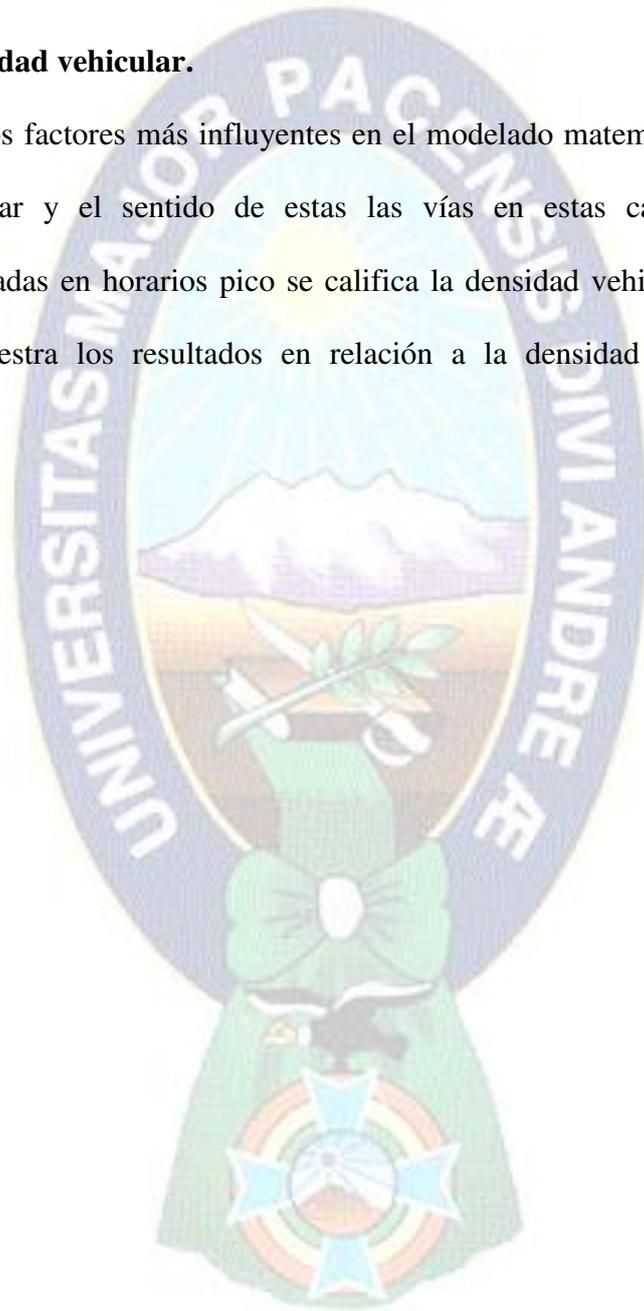
RUTAS	CALLE O AVENIDA
Ruta 1	Gallardo
Ruta 2	Vicente Ochoa
Ruta 3	Eloy Salmon
Ruta 4	Leon de la Barra
Ruta 5	Ricardo Bustamante
Ruta 6	Pedro Rodriguez
Ruta 7	Sebastian Segurola

**Fuente:** Elaboración con base en datos recopilados mediante el estudio de campo realizado en la calle Gallardo.

Dentro del kilómetro cuadrado existen zonas características, como la Eloy Salmon, conocido por ser referente comercial de electrodomésticos y equipos electrónicos, en ese sentido la optimización de la logística urbana considera los factores relacionados a esta y otras calles.

#### **4.3.1.3. Densidad vehicular.**

Respecto a los factores más influyentes en el modelado matemático está centrado en la densidad vehicular y el sentido de estas las vías en estas calles, a partir de las observaciones realizadas en horarios pico se califica la densidad vehicular de estas calles a continuación se muestra los resultados en relación a la densidad de tráfico vehicular.



**Tabla 4.6:** Estudio de densidad vehicular y sentido de vias en la calle Gallardo

RUTAS	Calle o Avenida	Una via	Dos vias	Densidad de Trafico	Observaciones
Ruta 1	Gallardo		x	3	Trafico fluye pero hay mucho auto estacionado
Ruta 2	C. Vicente Ochoa	x		4	Autos estacionados a mitad de la calle
Ruta 3	Eloy Salmon	x		4	Muchos electrodomesticos en la calle y autos estacionados
Ruta 4	C. Leon de la Barra	x		3	El Trafico fluye pero hay mucho auto parkeado
Ruta 5	C. Ricardo Bustamante	x		3	Poco trafico pero no hay orden
Ruta 6	Pedro Rodriguez		x	5	Calle sumamente angosta puede generar trancadera
Ruta 7	Sebastian Segurola		x	4	Trafico denso pero fluido el problema es angosto para ser doble via

**Fuente:** Elaboración con base en datos recopilados mediante el estudio de campo realizado en la calle Gallardo.

Entre las observaciones más notables, se destaca que la calle con una densidad vehicular muy elevada es la Pedro Rodríguez. Como se subraya en las observaciones, esta calle es sumamente estrecha debido a la saturación de comercios a lo largo de la ruta vehicular. Esta situación hace que el ingreso de dos vehículos en sentido contrario sea prácticamente imposible, y el estacionamiento vehicular dificulta la circulación, generando un cuello de botella delicado.

En contraste, en la Eloy Salmon, una zona caracterizada por la concentración de negocios relacionados con electrodomésticos, se observó una notoria saturación de las vías peatonales con productos y una invasión del espacio destinado al estacionamiento vehicular. Este fenómeno resulta en el estacionamiento de vehículos en medio de la calle, lo que, como consecuencia, hace prácticamente imposible la circulación de otros vehículos.

En las otras calles el patrón de factores vehiculares y peatonales se repiten de la misma forma solo que en menor criticidad estos escenarios muestran los bajos niveles de ordenamiento urbano dentro de la zona.

#### 4.3.1.4. **Perturbaciones.**

Para el análisis de la complejidad en los espacios de circulación peatonal y vehicular se toma como base 3 áreas características de una calle (acera, estacionamiento vehicular y vías de circulación) en el perfil de las perturbaciones presentes en cada lado de los cuadrantes, a continuación, se describen estas perturbaciones.

- **Obstrucción peatonal o comercial.** Esta variable difusa hace referencia a productos expuestos en la vía peatonal o bien kioscos que obstruyen la circulación, el punto inicial es desde la tienda hasta el borde de la acera, la puntuación va desde 0 (nada critico) hasta 1 (altamente critico).
- **Violación de parqueo.** Esta variable difusa consiste en la perturbación a todo aquel producto o cualquier estructura que no permita el estacionamiento de vehículos, el punto inicial empieza desde el borde de la acera hasta la extensión máxima de estacionamiento de un vehículo en la calle, la puntuación va desde 0 (nada critico) hasta 1 (altamente critico).

- **Invasión vehicular de carriles.** Esta variable difusa mide la invasión de vehículos estacionados en medio carril lo que dificulta la circulación de otros vehículos lo que dificulta la circulación de otros vehículos generando trancadera, el punto inicial empieza el borde donde termina el parqueo hasta el punto donde finaliza la circulación vehicular de la calle, la puntuación va desde 0 (nada critico) hasta 1 (altamente critico).

Explicados los puntos de medición de perturbaciones presentes en las calles se tienen 24 lados repartidos en 6 cuadrantes a continuación se presenta los resultados recolectados del estudio de campo de estas variables.

**Tabla 4.7:** Selección de calles influyentes: Inventario de tiendas en la calle Gallardo

Cuadrante	Lado	Obstrucción Peatonal o comercial	Violación de Parqueo	Invasión Vehicular de carriles
53	A	0,7	0	0
	B	0,7	0,5	0,2
	C	0,5	0	0,1
	D		No aplica	
54	A	0,7	0	0
	B	0,9	0,9	0,7
	C	0,3	0,1	0,1
	D	0,7	0	0,1
55	A	0,5	0	0
	B	0,7	0,1	0,3
	C	0,5	0,2	0,2
	D	0,6	0,1	0
57	A	0,3	0,3	0,1
	B	0,7	1	0,3
	C	1	1	0,8
	D	0,9	0,9	0,9
58	A	0,1	0,1	0,1
	B	0,5	0,2	0,3
	C	0,5	0	0,3
	D	0,8	0,2	0,2
59	A	0,5	0,1	0,1
	B	0,3	0,1	0,1
	C	0,6	0,1	0,1
	D	0,1	0,1	0

**Fuente:** Elaboración con base en datos recopilados mediante el estudio de campo realizado en la calle Gallardo.

La tabla anterior muestra la criticidad respecto a las 3 variables de perturbación consideradas para el estudio como se observa el cuadrante 57 en el lado C y D, donde las calles Pedro Rodríguez y Ricardo Bustamante interceptan el cual muestran un alto valor de perturbaciones esto es evidente dado que en esta zona el área peatonal está totalmente ocupada y la circulación de vehículos con respecto al espacio de estacionamiento están totalmente invadidas.

Otra zona que llama la atención por los niveles de perturbación presentados es la Eloy Salmon, específicamente en el cuadrante 54 lado B, con valores de 0,9 a 0,7 muestra una alta criticidad esto es a causa de la invasión de productos y electrodomésticos en las vías peatonales y áreas de estacionamiento, lo que por consiguiente produce una saturación de vehículos en el área de circulación.

#### ***4.3.2. Selección De Bahías Para El Estudio***

Con base en la información recopilada con anterioridad que conforman el estudio para el modelado, se han estratificado 7 bahías claves repartidos en todo el kilómetro cuadrado que de acuerdo a las características y necesidades logísticas de la zona representan las mejores opciones para su implementación, a continuación, se presenta las bahías y su respectiva geolocalización (Latitud y Longitud).

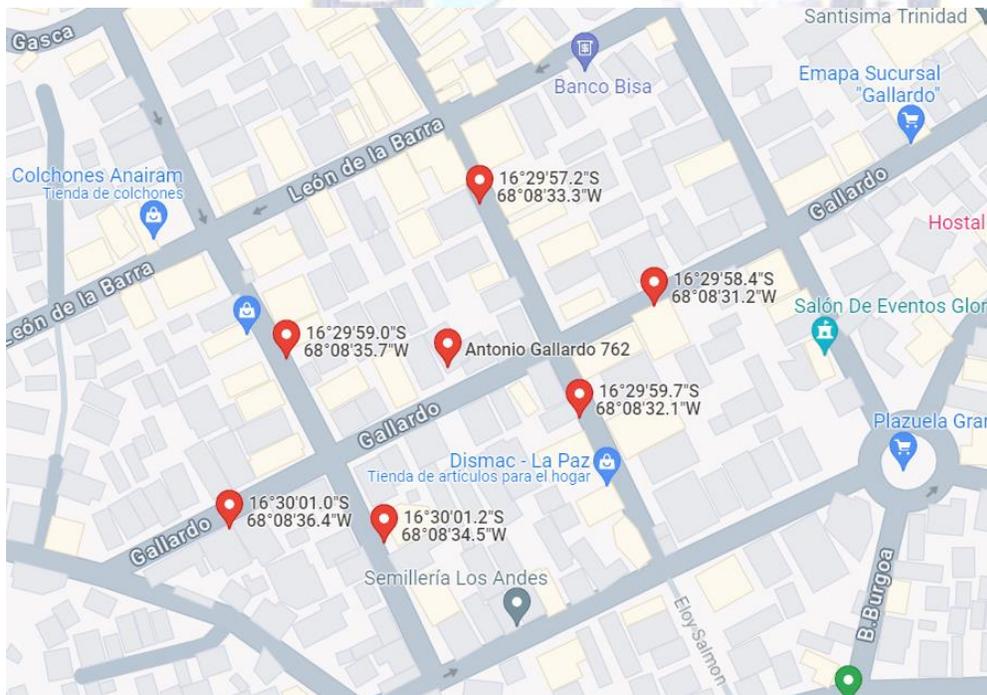
**Tabla 4.8:** Geolocalización de bahías opcionales en la calle Gallardo

Descripción	Latitud	Longitud	Link a Google Maps
Bahía 1	-16.500277	-68,14345	<a href="https://goo.gl/maps/fF9cEvSfdtE4QzEfA">https://goo.gl/maps/fF9cEvSfdtE4QzEfA</a>
Bahía 2	-16.499715	-68.143241	<a href="https://goo.gl/maps/bcVWEJEcF7BPDdCK7">https://goo.gl/maps/bcVWEJEcF7BPDdCK7</a>
Bahía 3	-16.500324	-68.142918	<a href="https://goo.gl/maps/qV8NXgHnv16dCjFz9">https://goo.gl/maps/qV8NXgHnv16dCjFz9</a>
Bahía 4	-16.499895	-68.142767	<a href="https://goo.gl/maps/rrhv9JMQzTV2TTsj7">https://goo.gl/maps/rrhv9JMQzTV2TTsj7</a>
Bahía 5	-16.499913	-68.142255	<a href="https://goo.gl/maps/7iktVCpCnu28vZr66">https://goo.gl/maps/7iktVCpCnu28vZr66</a>
Bahía 6	-16.499217	-68.142594	<a href="https://goo.gl/maps/VJnkvhbkRTmScHnk6">https://goo.gl/maps/VJnkvhbkRTmScHnk6</a>
Bahía 7	-16.499549	-68.141999	<a href="https://goo.gl/maps/EHYSHYTrBR4y9x2R8">https://goo.gl/maps/EHYSHYTrBR4y9x2R8</a>

**Fuente:** Elaboración con base en datos procesados en Google Maps en la calle Gallardo

En el mapa siguiente se muestran estas bahías distribuidas alrededor de la calle Gallardo de acuerdo a las localizaciones de la tabla de geolocalización.

**Ilustración 4.8:** Mapeo de Bahías Opcionales en la Calle Gallardo



**Fuente:** Elaboración con base en datos procesados en Google Maps en la calle Gallardo

Como se observa en el mapa anterior estas bahías están distribuidas en diferentes puntos alrededor de los cuadrantes, algunos con un mayor impacto que otras visualmente existe una

distribución equitativa, pero la efectividad de las misma depende de la densidad vehicular la facilidad de ingreso y especialmente la cantidad de negocios alrededor de estas bahías.

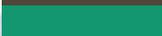
Ya tomado en cuenta las posibles bahías alrededor de la calle Gallardo, el objetivo del modelo de programación lineal se centra en la efectividad de estas, considerando factores como son las distancias, cobertura, costos de instalación en función a las perturbaciones y finalmente los costos de distribución dependiente del volumen de producto de los diferentes negocios alrededor de estas bahías.

#### **4.3.3. Codificación Cromático para negocios y tiendas**

El estudio presente hace hincapié en un factor clave para el modelado matemático el cual toma como base una plataforma presentada por el centro de transporte y logística del MIT y desarrollado por el MIT Media Lab el cual con el uso de piezas de Legos ha desarrollado una plataforma con diferentes rango cromáticos para observar el impacto de áreas de servicio de descarga el cual en base a ello hacen posible que todos los valores numéricos sean clasificados bajo un espectro de colores de tal forma que la implementación de una bahía permita visualizar su impacto alrededor de la misma.

En el capítulo presente de optimización del modelado matemático se ha tomado en cuenta dicha propuesta para graficar el impacto de estas bahías en relación a los distintos tipos de negocios, de la misma forma se presenta una codificación cromática para los distintos tipos de negocios en la calle Gallardo y sus alrededores los cuales se presentan a continuación en la tabla siguiente.

**Tabla 4.9:** Selección de calles influyentes: Inventario de tiendas en la calle Gallardo

Tipo de Producto	Color	Codigo
Electrodomesticos		#082b45
Abarrotes		#e7c207
Carne y pollo		#f18f14
Paperia		#504639
Muebleria		#129770
Tienda de Ropa		#C348EA
Verduras		#3EC3C6
Bahías		#c82b21

**Fuente:** Elaboración con base en datos recopilados mediante el estudio de campo realizado en la calle Gallardo.

Tomando en cuenta los negocios con mayor participación porcentual en la calle Gallardo construidas en función a la **Tabla 4.4**, se presenta la tabla con la codificación de colores asignados a cada tipo de negocio, gracias a este valor es posible una mejor visualización de la concentración comercial en toda el área de estudio.

#### 4.3.4. Cálculo de distancias entre bahías y tiendas

El cálculo de distancias se configura bajo una serie de procedimientos con el fin de obtener las distancias de las 212<sup>2</sup> tiendas a las 7 bahías, haciendo un total de 1.484 distancias únicas, la recolección de esta información hace moroso y costoso el tenerlo bajo precisión en el estudio, es por ello que se ha adoptado una serie de procedimiento para el cálculo de estas distancias, sin tener que recurrir a medir uno por uno las tiendas hasta las bahías estos pasos seguidos son:

- Inventario de Tiendas en la calle Gallardo
- Clasificación de tiendas por codificación cromática
- Cálculo de la distribución uniforme de tiendas por cuadrante y lado

---

<sup>2</sup> Se han identificado 237 tiendas relevantes en el kilómetro cuadrado, pero para el estudio se toman en cuenta 212 tiendas debido a que 25 negocios no influyen en el modelo matemático.

- Distancias calculadas de tiendas hacia las bahías

4.3.4.1. **Inventario de tiendas: Caso calle Gallardo.** El inventario de tiendas sigue el formato propuesto por el MIT, en esta fase se ha mejorado la precisión de la cantidad de negocios en la calle Gallardo y sus alrededores de tal forma que la presencia de sesgos por factores incontrolables sea mínima dentro del modelo, para ello se completaron las siguientes planillas como parte del estudio de campo:

**Tabla 4.10:** Plantilla de registro de Tiendas para la calle Gallardo

Identificación de Bloque	Identificación de Calle	Tienda de Viveres	Kiosco de Viveres	Supermercado	Gasolinera	Ropa, Calzado	Kiosco de ropa o calzado	Hotel, Hostal	Comida, bebida	Kiosco de Comida y bebida	Farmacia	Institucion Educativa	Otro	Otros Kioscos	Servicio, cerrado, Desconoci
		A	KA	B	C	D	KD	E	F	KF	G	S	O	KO	U
53	A														
	B														
	C														
	D														
54	A														
	B														
	C														
	D														
55	A														
	B														
	C														
	D														
57	A														
	B														
	C														
	D														
58	A														
	B														
	C														
	D														
59	A														
	B														
	C														
	D														

**Fuente:** Elaboración con base en la metodología de Kilometro Cuadrado basada en MIT Megacity Logistics Lab

Como se observa en la planilla en el costado izquierdo se tiene la designación de los cuadrantes y los 4 lados por cada cuadra o manzano en la calle Gallardo el cual puede observarse con mayor detalle en la Ilustración **Ilustración 4.7**, por otro lado, las filas superiores muestran los tipos de negocios existentes en la zona con un código respectivo, y finalmente en todas las casillas en blanco se procede al llenado del número de tiendas presentes en cada uno de los lados de los 6 cuadrantes, a continuación de manera global se presenta la planilla llenada con las inventario de tiendas dentro del kilómetro cuadrado.

**Tabla 4.11:** Captura de datos: Analisis de inventario de tiendas en la calle Gallardo

Identificación de Bloque	Identificación de Calle	Saco Fotografía	Tienda de Viveres	Kiosco de Viveres	Supermercado	Gasolinera	Ropa, Calzado	Kiosco de ropa o calzado	Hotel, Hostal	Comida, bebida	Kiosco de Comida y bebida	Farmacia	Institución Educativa	Otro	Otros Kioscos	Servicio, cerrado, Desconocido	Numero total de tiendas
			A	KA	B	C	D	KD	E	F	KF	G	S	O	KO	U	
53	A		1											5			6
	B													14			14
	C		5							2							7
	D																0
54	A													14			16
	B		1	5										10			16
	C		7													1	7
	D		1											9			10
55	A													14	2	1	16
	B		11	1													13
	C		14	1													15
	D													15	2		17
57	A			4											1		5
	B		7	3													10
	C		2	3													5
	D		8	22													30
58	A		4												1	1	6
	B		3	2										2			14
	C		5												3		8
	D		15	4													19
59	A		7	1													8
	B		11														11
	C		8	3								1					12
	D		2											5			7

**Fuente:** Elaboración con base en la metodología de Kilometro Cuadrado basada en MIT Megacity Logistics Lab

Como es posible observar en la tabla anterior existen casillas enmarcadas como con color verde, estos significan que son **negocios relevantes**<sup>3</sup> los cuales representan alrededor del 90% o más en el estudio, finalmente en el costado derecho se tiene el número total de tiendas, un dato relevante de este estudio es que por cada lado el número promedio y máximo de tiendas que puede contener se encuentra alrededor de 14 tiendas, en algunos casos por encima de este valor significan más densidad comercial y por debajo menos densidad comercial.

<sup>3</sup> Negocios relevantes, son aquellos que requieren del uso de bahías, en caso de los no relevantes es debido a que no requieren el uso de bahías, debido a los volúmenes de aprovisionamiento como es el caso de las tiendas de barrio.

4.3.4.2. **Clasificación de tiendas por codificación cromática.** La clasificación de tiendas por codificación cromática permite visualizar de mejor forma como está compuesta las zonas comerciales por cada cuadrante a continuación se presentan cada uno de los cuadrantes con la codificación cromática de tiendas elaborados con base al inventario de tiendas y las observaciones del estudio de campo realizados:

**Ilustración 4.9:** Modelado gráfico de tiendas y bahías cuadrante 53 de la calle Gallardo



**Fuente:** Elaboración con base en datos recopilados mediante el estudio de campo realizado en la calle Gallardo.

Como es posible observar en el cuadrante 53, el comercio está dominado por mueblerías en los cuadrantes A y B, mientras que el lado C existen Paperías, pero en baja densidad, el lado

D del cuadrante 53 esta anulado debido a que representa un paso peatonal con gradas sin ningún comercio registrado.

**Ilustración 4.10:** Modelado gráfico de tiendas y bahías cuadrante 54 de la calle Gallardo



**Fuente:** Elaboración con base en datos recopilados mediante el estudio de campo realizado en la calle Gallardo.

En el cuadrante 54 se puede observar que existe una mayor diversidad de negocios, entre los más destacables se encuentran en el lado A y B la dominancia del sector electrodomésticos, mientras tanto que el lado C lo comparten abarrotes y papelerías y finalmente el lado D este compuesto por mueblerías.

**Ilustración 4.11:** Modelado gráfico de tiendas y bahías cuadrante 55 de la calle Gallardo



**Fuente:** Elaboración con base en datos recopilados mediante el estudio de campo realizado en la calle Gallardo.

El cuadrante 55 tiene una configuración de tiendas muy particular, en el lado A y D dominado por electrodomésticos y en los lados B y C dominado por alimentos especialmente carnicerías, pollerías y abarroterías respectivamente.

**Ilustración 4.12:** Modelado gráfico de tiendas y bahías cuadrante 57 de la calle Gallardo

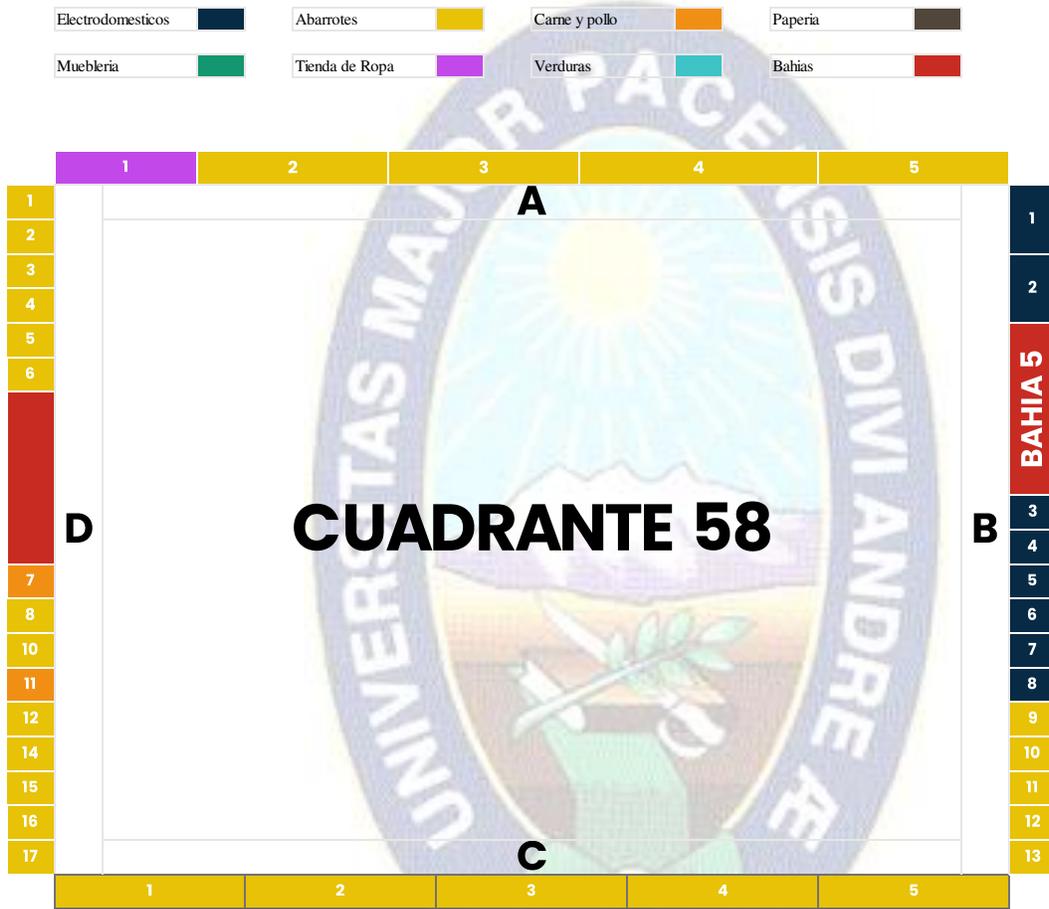


**Fuente:** Elaboración con base en datos recopilados mediante el estudio de campo realizado en la calle Gallardo.

El cuadrante 57 presenta particularidades únicas en relación a los demás por ejemplo que el lado C es sumamente angosto lo cual no se puede visualizar en el modelado del mapeo, por el lado A se tienen papelerías, en el lado B se reparten entre kioscos de verduras y tiendas de abarrotes, el lado C y D se le conoce como el sector verduras algo que destacar del lado D es que es el único que rompe con el patrón promedio de 14 tiendas por lado, ya que esta contiene 30 negocios de verduras entre kioscos y tiendas, este lado del cuadrante 57 conjuntamente con el lado C son los que se descartan del estudio, esto debido a que la operación de descarga de productos se lo realiza en la madrugada además que al ser un sector mayorista el tamaño de los

camiones no comprenden las dimensiones promedio de una bahía de descarga, por estados dos razones no son tomados en cuenta para el estudio.

**Ilustración 4.13:** Modelado gráfico de tiendas y bahías cuadrante 58 de la calle Gallardo



**Fuente:** Elaboración con base en datos recopilados mediante el estudio de campo realizado en la calle Gallardo.

El cuadrante 58 por el lado A cuenta con una única tienda de ropa y se distribuye entre abarroterías, en el lado B electrodomésticos y abarrotes comparten las dimensiones de las calles, finalmente entre los cuadrantes C y D están distribuidos alimentos entre abarroterías, carnicerías y pollerías.

**Ilustración 4.14:** Modelado gráfico de tiendas y bahías cuadrante 59 de la calle Gallardo



**Fuente:** Elaboración con base en datos recopilados mediante el estudio de campo realizado en la calle Gallardo.

Finalmente, el cuadrante 59 entre sus lados A, B, C el comercio de alimentos se distribuyen entre abarrotes y carnicerías, con una alta participación de este tipo de negocios y en el lado D solo un pequeño sector trabajo con electrodomésticos.

#### 4.3.4.3. Cálculo de la distribución uniforme de tiendas.

Para el cálculo de las distancias por lado se ha hecho uso de herramientas de medición de distancias mediante localización satelital, en Google Maps se pudo estimar que la distancia promedio por lado de extremo a extremos es de 85 metros, dando un área total de 7.225 m<sup>2</sup> por

cuadrante, se registra a continuación el primer supuesto para el modelado de las distancias el cual es:

**Supuesto: La distancia de una tienda a otra se distribuye de manera uniforme en cada lado de los cuadrantes de los negocios.**

Si bien este supuesto reduce los costos por estudios de campos a la vez el sesgo por distancias de tienda en tienda es mínimo ya que como se dijo anteriormente existe un promedio de tiendas por lado lo que hace que estas tengan un patrón similar de distribuciones en cada lado, entonces para el cálculo de los cuadrantes se tiene la siguiente descripción:

Sea:

*i*: Cuadrante (54, 55, 56, 57, 58, 59)

*j*: Lado (A, B, C, D)

*N<sub>ij</sub>*: Nro. total de tiendas relevantes por cuadrante *i* en el lado *j*

Como se conoce la distancia promedio de cada lado en todos los cuadrantes se tiene la siguiente fórmula para el cálculo de distancia de tienda entre tienda en la calle Gallardo:

$$\frac{N_{ij}}{D_{ij}} = M_{ij}$$

Siendo:

*D<sub>ij</sub>*: Distancia total del cuadrante *i* en el lado *j*

*M<sub>ij</sub>*: Distancia uniforme entre tiendas en el cuadrante *i* en el lado *j*

Con base a las consideraciones anteriores se obtiene la siguiente tabla de distancias entre tiendas por cada cuadrante y lado.

**Tabla 4.12:** Cálculo de distancias en distribución uniforme entre tiendas por cuadrante y lado en la calle Gallardo

Identificación de Bloque	Identificación de Calle	Distancia entre negocios (m)
53	A	10,00
	B	6,07
	C	12,43
	D	No Aplica
54	A	5,31
	B	5,31
	C	12,14
	D	8,60
55	A	6,07
	B	7,73
	C	6,07
	D	5,73
57	A	16,00
	B	8,40
	C	4,80
	D	3,33
58	A	14,17
	B	7,00
	C	17,00
	D	4,32
59	A	12,14
	B	6,82
	C	7,50
	D	11,71

**Fuente:** Elaboración con base en datos recopilados mediante el estudio de campo realizado en la calle Gallardo.

Como se observa en la tabla hay distancias entre negocios muy pequeñas esto es debido a la concentración de negocios en cada lado, algunos son más abundantes que otros lo que ocasiona que exista mayor densidad de tiendas por cada metro avanzado. Con base a estos resultados se construyen las tablas de distancias de cada una de estas tiendas a las 7 bahías propuestas dentro del estudio.

#### 4.3.4.4. Distancias calculadas de tiendas hacia las bahías

Ya obtenidos las distancias entre tiendas por cuadrante y la ubicación exacta de las bahías, mediante el uso de las herramientas de medición satelital que ofrece Google Maps se realizó un análisis minucioso y lógico para medir la distancia de estas tiendas hacia las bahías tomando en cuenta lo calculado anteriormente permite facilitar el cálculo de cada una de estas distancias, a continuación, se presentan todas las tablas de distancias calculadas de los 6 cuadrantes:

**Tabla 4.13:** Cálculo de distancias Tienda-Bahía para el cuadrante 53

Cuadrante	Lado	Categoría	Tipo de negocio	Distancia en metros						
				Bahía 1	Bahía 2	Bahía 3	Bahía 4	Bahía 5	Bahía 6	Bahía 7
53	A	Otros	Mueblería	176,00	105,28	186,57	195,2	264	287	281,06
			Mueblería	166,00	95,28	176,57	185	254	277	271
			Mueblería	156,00	85,28	166,57	175	244	267	261
			Vidriería	146,00	75,28	156,57	165	234	257	251
			Aluminio	136,00	65,28	146,57	155	224	247	241
53	B	Otros	Mueblería	135	53	131,66	140	210,92	129,89	223,35
			Mueblería	128,93	46,93	125,59	133,93	204,85	135,96	217,28
			Mueblería	122,86	40,86	119,52	127,86	198,78	142,03	211,21
			Mueblería	116,79	34,79	113,45	121,79	192,71	148,10	205,14
			Mueblería	110,71	28,71	107,37	115,71	186,63	154,18	199,06
			Mueblería	104,64	22,64	101,30	109,64	180,56	160,25	192,99
			Mueblería	98,57	16,57	95,23	103,57	174,49	166,32	186,92
			Mueblería	92,50	10,50	89,16	97,50	168,42	172,39	180,85
			Mueblería	86,43	4,43	83,09	91,43	162,35	178,46	174,78
			Mueblería	80,36	13,92	77,02	85,36	156,28	184,53	168,71
			Mueblería	74,29	20,00	70,95	79,29	150,21	190,60	162,64
			Mueblería	68,21	26,07	64,87	73,21	144,13	196,68	156,56
			Mueblería	62,14	32,14	58,80	67,14	138,06	202,75	150,49
Mueblería	56,07	38,21	52,73	61,07	131,99	208,82	144,42			
53	C	Tienda de Viveres	Papería	47,76	123,22	130,16	137,19	203,49	227,43	220,59
			Papería	30	110,79	117,73	124,76	191,06	215,00	208,16
			Papería	20	98,36	105,30	112,33	178,63	202,57	195,73
			Papería	9	85,93	92,87	99,90	166,20	190,14	183,30
			Papería	26	73,51	80,45	87,48	153,78	177,72	170,88

**Fuente:** Elaboración con base en datos recopilados mediante el estudio de campo realizado en la calle Gallardo.

**Tabla 4.14: Cálculo de distancias Tienda-Bahía para el cuadrante 54**

Cuadrante	Lado	Categoría	Tipo de negocio	Distancia en metros						
				Bahía 1	Bahía 2	Bahía 3	Bahía 4	Bahía 5	Bahía 6	Bahía 7
54	A	Otros	Mueblería	138,61	50	125,16	131,96	201,13	116,88	218,55
			Electrodomesticos	143,92	55,31	119,85	126,65	195,82	111,57	213,24
			Electrodomesticos	149,24	60,63	114,54	121,34	190,51	106,26	207,93
			Electrodomesticos	154,55	65,94	109,22	116,02	185,19	100,94	202,61
			Electrodomesticos	159,86	71,25	103,91	110,71	179,88	95,63	197,30
			Electrodomesticos	165,17	76,56	98,60	105,40	174,57	90,32	191,99
			Electrodomesticos	170,49	81,88	93,29	100,09	169,26	85,01	186,68
			Electrodomesticos	175,80	87,19	87,97	94,77	163,94	79,69	181,36
			Electrodomesticos	181,11	92,50	82,66	89,46	158,63	74,38	176,05
			Electrodomesticos	186,42	97,81	77,35	84,15	153,32	69,07	170,74
			Electrodomesticos	191,74	103,13	72,04	78,84	148,01	63,76	165,43
			Electrodomesticos	197,05	108,44	66,72	73,52	142,69	58,44	160,11
			Electrodomesticos	202,36	113,75	61,41	68,21	137,38	53,13	154,80
			Electrodomesticos	207,67	119,06	56,10	62,90	132,07	47,82	149,49
			Electrodomesticos	212,99	124,38	50,79	57,59	126,76	42,51	144,18
			Electrodomesticos	218,30	129,69	45,47	52,27	121,44	37,19	138,86
			54	B	Otros	Electrodomesticos	227,49	149,49	207,21	117,94
Electrodomesticos	222,18	154,80				201,90	112,63	108,18	22,10	126,32
Electrodomesticos	216,87	160,12				196,59	107,32	102,87	16,79	121,01
Electrodomesticos	211,55	165,43				191,27	102,00	97,55	11,47	115,69
Electrodomesticos	206,24	170,74				185,96	96,69	92,24	6,16	110,38
Electrodomesticos	200,93	176,05				180,65	91,38	86,93	22,83	105,07
Electrodomesticos	195,62	181,37				175,34	86,07	81,62	33,45	99,76
Electrodomesticos	190,30	186,68				170,02	80,75	76,30	38,77	94,44
Electrodomesticos	184,99	191,99				164,71	75,44	70,99	44,08	89,13
Galería	179,68	197,30				159,40	70,13	65,68	49,39	83,82
54	C	Tienda de Viveres	Abarrotera	59,64	33,96	41,38	45,63	113,34	134,3	129,77
			Abarrotera	71,78	46,10	53,52	33,49	101,20	122,16	117,63
			Abarrotera	83,93	58,25	65,67	21,34	89,05	110,01	105,48
			Abarrotera	96,07	70,39	77,81	9,20	76,91	97,87	93,34
			Papería	108,21	82,53	89,95	13,90	64,77	85,73	81,20
			Papería	120,35	94,67	102,09	28,90	52,63	73,59	69,06
			Papería	132,50	106,82	114,24	32,87	40,48	61,44	56,91
54	D	Otros	Mueblería	142,04	48,47	125,34	130,09	199,67	119,91	213,69
			Mueblería	133,44	39,87	116,74	121,49	191,07	128,51	205,09
			Mueblería	124,84	31,27	108,14	112,89	182,47	137,11	196,49
			Mueblería	116,24	22,67	99,54	104,29	173,87	145,71	187,89
			Mueblería	107,64	14,07	90,94	95,69	165,27	154,31	179,29
			Mueblería	99,04	5,47	82,34	87,09	156,67	162,91	170,69
			Mueblería	90,44	10,49	73,74	78,49	148,07	171,51	162,09
			Mueblería	81,84	25,51	65,14	69,89	139,47	180,11	153,49
			Mueblería	73,24	32,38	56,54	61,29	130,87	188,71	144,89

**Fuente:** Elaboración con base en datos recopilados mediante el estudio de campo realizado en la calle Gallardo.

**Tabla 4.15: Cálculo de distancias Tienda-Bahía para el cuadrante 55**

Cuadrante	Lado	Categoría	Tipo de negocio	Distancia en metros						
				Bahía 1	Bahía 2	Bahía 3	Bahía 4	Bahía 5	Bahía 6	Bahía 7
55	A	Tienda de Viveres	Abarroteria	238,5	147,49	224,34	127,95	130,52	39,05	124,84
			Abarroteria	244,57	153,56	230,41	134,02	136,59	45,12	130,91
			Abarroteria	250,64	159,63	236,48	140,09	142,66	51,19	136,98
			Abarroteria	256,71	165,70	242,55	146,16	148,73	57,26	143,05
			Abarroteria	262,79	171,78	248,63	152,24	154,81	63,34	149,13
			Abarroteria	268,86	177,85	254,70	158,31	160,88	69,41	155,20
			Abarroteria	274,93	183,92	260,77	164,38	166,95	75,48	161,27
			Abarroteria	281,00	189,99	266,84	170,45	173,02	81,55	167,34
			Abarroteria	287,07	196,06	272,91	176,52	179,09	87,62	173,41
			Abarroteria	293,14	202,13	278,98	182,59	185,16	93,69	179,48
			Abarroteria	299,21	208,20	285,05	188,66	191,23	99,76	185,55
			Abarroteria	305,29	214,28	291,13	194,74	197,31	105,84	191,63
			Abarroteria	311,36	220,35	297,20	200,81	203,38	111,91	197,70
55	B	Tienda de Viveres	Abarroteria	317,43	226,42	303,27	206,88	209,45	117,98	203,77
			Viveres	322,69	296,17	304,24	215,64	209,41	124,04	147,63
			Viveres	314,96	288,44	296,51	207,91	201,68	131,77	139,90
			Viveres	307,24	280,72	288,79	200,19	193,96	139,49	132,18
			Viveres	299,51	272,99	281,06	192,46	186,23	147,22	124,45
			Viveres	291,78	265,26	273,33	184,73	178,50	154,95	116,72
			Viveres	284,05	257,53	265,60	177,00	170,77	162,68	108,99
			Viveres	276,33	249,81	257,88	169,28	163,05	170,40	101,27
			Viveres	268,60	242,08	250,15	161,55	155,32	178,13	93,54
			Viveres	260,87	234,35	242,42	153,82	147,59	185,86	85,81
			Viveres	253,14	226,62	234,69	146,09	139,86	193,59	78,08
			Viveres	245,42	218,90	226,97	138,37	132,14	201,31	70,36
			55	C	Tienda de Viveres	Abarroteria	153,83	123,03	136,55	44,75
Abarroteria	159,90	129,10				142,62	50,82	46,19	64,17	37,65
Abarroteria	165,97	135,17				136,55	56,89	52,26	70,24	31,58
Abarroteria	172,04	141,24				130,48	62,96	58,33	76,31	25,51
Abarroteria	178,12	147,32				124,41	69,04	64,41	82,39	19,43
Abarroteria	184,19	153,39				118,34	75,11	70,48	88,46	13,36
Abarroteria	190,26	159,46				112,26	81,18	76,55	94,53	7,29
Abarroteria	196,33	165,53				106,19	87,25	82,62	100,60	12,57
Abarroteria	202,40	171,60				100,12	93,32	88,69	106,67	18,64
Abarroteria	208,47	177,67				94,05	99,39	94,76	112,74	24,71
Abarroteria	214,54	183,74				87,98	105,46	100,83	118,81	30,79
Abarroteria	220,62	189,82				81,91	111,54	106,91	124,89	36,86
Abarroteria	226,69	195,89				75,84	117,61	112,98	130,96	42,93
Abarroteria	232,76	201,96	69,76	123,68	119,05	137,03	49,00			
55	D	Otros	Electrodomesticos	233,67	207,84	215,29	125,99	123,85	36,06	124,99
			Electrodomesticos	227,94	202,11	209,56	120,26	118,12	30,33	119,26
			Electrodomesticos	222,20	196,37	203,82	114,52	112,38	24,59	113,52
			Electrodomesticos	216,47	190,64	198,09	108,79	106,65	18,86	107,79
			Electrodomesticos	210,74	184,91	192,36	103,06	100,92	13,13	102,06
			Electrodomesticos	205,00	179,17	186,62	97,32	95,18	7,39	96,32
			Electrodomesticos	199,27	173,44	180,89	91,59	89,45	2,82	90,59
			Electrodomesticos	193,54	167,71	175,16	85,86	83,72	8,13	84,86
			Electrodomesticos	187,80	161,97	169,42	80,12	77,98	13,44	79,12
			Electrodomesticos	182,07	156,24	163,69	74,39	72,25	25,59	73,39
			Electrodomesticos	176,34	150,51	157,96	68,66	66,52	34,19	67,66
			Electrodomesticos	170,60	144,77	152,22	62,92	60,78	40,26	61,92
			Electrodomesticos	164,87	139,04	146,49	57,19	55,05	47,99	56,19
Electrodomesticos	159,14	133,31	140,76	51,46	49,32	54,06	50,46			
Electrodomesticos	153,40	127,57	135,02	45,72	43,58	59,79	44,72			

**Fuente:** Elaboración con base en datos recopilados mediante el estudio de campo realizado en la calle Gallardo

**Tabla 4.16: Cálculo de distancias Tienda-Bahía para el cuadrante 57**

Cuadrante	Lado	Categoría	Tipo de negocio	Distancia en metros						
				Bahía 1	Bahía 2	Bahía 3	Bahía 4	Bahía 5	Bahía 6	Bahía 7
57	A	Kiosco de Viveres	Papería	28,27	123,93	110,49	143,33	192,38	223,54	208,11
			Papería	12,27	107,93	94,49	127,33	176,38	207,54	192,11
			Papería	20,61	91,93	78,49	111,33	160,38	191,54	176,11
			Papería	38,39	75,93	62,49	95,33	144,38	175,54	160,11
57	B	Kiosco de Viveres	Verduras	46,69	52,84	39,33	64,59	116,15	152,83	132,88
			Verduras	55,09	61,24	30,93	72,99	124,55	161,23	141,28
			Abarrotes	63,49	69,64	22,53	81,39	132,95	169,63	149,68
			Abarrotes	71,89	78,04	14,13	89,79	141,35	178,03	158,08
		Tienda de Viveres	Abarrotes	80,29	86,44	5,73	98,19	149,75	186,43	166,48
			Carnicería	88,69	94,84	14,13	106,59	158,15	194,83	174,88
			Abarrotes	97,09	103,24	22,53	114,99	166,55	203,23	183,28
			Abarrotes	105,49	111,64	30,93	123,39	174,95	211,63	191,68
			Abarrotes	113,89	120,04	39,33	131,79	183,35	220,03	200,08
			Abarrotes	122,29	128,44	47,73	140,19	191,75	228,43	208,48
57	C	Kiosco de Viveres	Verduras	155,8	153,01	78,22	167,08	235,53	258,11	236,76
			Verduras	160,60	148,21	73,42	162,28	230,73	253,31	231,96
			Verduras	165,40	143,41	68,62	157,48	225,93	248,51	227,16
			Verduras	170,20	138,61	63,82	152,68	221,13	243,71	222,36
		Tienda de Viveres	Verduras	175,00	133,81	59,02	147,88	216,33	238,91	217,56
			Verduras	39,53	127,71	122,81	143,93	197,2	232,23	211,85
			Verduras	42,86	131,04	126,14	147,26	200,53	235,56	215,18
			Verduras	46,20	134,38	129,48	150,60	203,87	238,90	218,52
			Verduras	49,53	137,71	132,81	153,93	207,20	242,23	221,85
			Verduras	52,86	141,04	136,14	157,26	210,53	245,56	225,18
57	D	Kiosco de Viveres	Verduras	56,20	144,38	139,48	160,60	213,87	248,90	228,52
			Verduras	59,53	147,71	142,81	163,93	217,20	252,23	231,85
			Verduras	62,86	151,04	146,14	167,26	220,53	255,56	235,18
			Verduras	66,20	154,38	149,48	170,60	223,87	258,90	238,52
			Verduras	69,53	157,71	152,81	173,93	227,20	262,23	241,85
			Verduras	72,86	161,04	156,14	177,26	230,53	265,56	245,18
			Verduras	76,20	164,38	159,48	180,60	233,87	268,90	248,52
			Verduras	79,53	167,71	162,81	183,93	237,20	272,23	251,85
			Verduras	82,86	171,04	166,14	187,26	240,53	275,56	255,18
			Verduras	86,20	174,38	169,48	190,60	243,87	278,90	258,52
			Verduras	89,53	177,71	172,81	193,93	247,20	282,23	261,85
			Verduras	92,86	181,04	176,14	197,26	250,53	285,56	265,18
			Verduras	96,20	184,38	179,48	200,60	253,87	288,90	268,52
			Verduras	99,53	187,71	182,81	203,93	257,20	292,23	271,85
			Verduras	102,86	191,04	186,14	207,26	260,53	295,56	275,18
			Verduras	106,20	194,38	189,48	210,60	263,87	298,90	278,52
		Tienda de Viveres	Verduras	109,53	197,71	192,81	213,93	267,20	302,23	281,85
			Verduras	112,86	201,04	196,14	217,26	270,53	305,56	285,18
			Verduras	116,20	204,38	199,48	220,60	273,87	308,90	288,52
			Verduras	119,53	207,71	202,81	223,93	277,20	312,23	291,85
Tienda de Viveres	Verduras	122,86	211,04	206,14	227,26	280,53	315,56	295,18		
	Verduras	126,20	214,38	209,48	230,60	283,87	318,90	298,52		
	Verduras	129,53	217,71	212,81	233,93	287,20	322,23	301,85		
	Verduras	132,86	221,04	216,14	237,26	290,53	325,56	305,18		
Verduras	136,20	224,38	219,48	240,60	293,87	328,90	308,52			

**Fuente:** Elaboración con base en datos recopilados mediante el estudio de campo realizado en la calle Gallardo.

**Tabla 4.17: Cálculo de distancias Tienda-Bahía para el cuadrante 58**

Cuadrante	Lado	Categoría	Tipo de negocio	Distancia en metros						
				Bahía 1	Bahía 2	Bahía 3	Bahía 4	Bahía 5	Bahía 6	Bahía 7
58	A	Ropa y calzado	Tienda de ropa	55,48	47,22	41,01	56,83	104,92	137,94	120,72
			Abarroteria	69,65	61,39	55,18	44,01	90,75	123,77	106,55
		Tienda de Viveres	Abarroteria	83,81	75,55	69,34	27,58	76,59	109,61	92,39
			Abarroteria	97,98	89,72	83,51	27,59	62,42	95,44	78,22
			Abarroteria	112,15	103,89	97,68	40,35	48,25	81,27	64,05
58	B	Tienda de Viveres	Abarroteria	134,46	128,71	119,85	50,23	25,03	59,71	40,62
			Abarroteria	141,46	135,71	126,85	57,23	18,03	66,71	47,62
			Abarroteria	148,46	142,71	133,85	64,23	11,03	73,71	54,62
			Abarroteria	155,46	149,71	140,85	71,23	4,03	80,71	61,62
			Electrodomesticos	162,46	156,71	147,85	78,23	1,03	87,71	68,62
		Electrodomesticos	169,46	163,71	154,85	85,23	7,00	94,71	75,62	
		Electrodomesticos	176,46	170,71	161,85	92,23	14,00	101,71	82,62	
		Electrodomesticos	183,46	177,71	168,85	99,23	21,00	108,71	89,62	
		Otros	Electrodomesticos	190,46	184,71	175,85	106,23	28,00	115,71	96,62
			Electrodomesticos	197,46	191,71	182,85	113,23	35,00	122,71	103,62
			Electrodomesticos	204,46	198,71	189,85	120,23	42,00	129,71	110,62
			Electrodomesticos	211,46	205,71	196,85	127,23	49,00	136,71	117,62
		Electrodomesticos	218,46	212,71	203,85	134,23	56,00	143,71	124,62	
58	C	Tienda de Viveres	Abarroteria	140,4	131,29	56,45	147,4	133,6	220,14	198,74
			Abarroteria	157,40	148,29	73,45	164,40	116,60	203,14	181,74
			Abarroteria	174,40	165,29	90,45	181,40	99,60	186,14	164,74
			Abarroteria	191,40	182,29	107,45	198,40	82,60	169,14	147,74
			Abarroteria	208,40	199,29	124,45	215,40	65,60	152,14	130,74
58	D	Tienda de Viveres	Abarroteria	49,56	43,44	32,98	57	108,39	144,5	124,73
			Abarroteria	53,88	47,76	28,66	61,32	112,71	148,82	129,05
			Abarroteria	58,19	52,07	24,35	65,63	117,02	153,13	133,36
			Abarroteria	62,51	56,39	20,03	69,95	121,34	157,45	137,68
			Abarroteria	66,82	60,70	15,72	74,26	125,65	161,76	141,99
			Abarroteria	71,14	65,02	11,40	78,58	129,97	166,08	146,31
			Carniceria	75,45	69,33	7,09	82,89	134,28	170,39	150,62
			Abarroteria	79,77	73,65	2,77	87,21	138,60	174,71	154,94
			Verduras	84,09	77,97	7,09	91,53	142,92	179,03	159,26
			Abarroteria	88,40	82,28	11,40	95,84	147,23	183,34	163,57
		Kiosco de Viveres	Carniceria	92,72	86,60	15,72	100,16	151,55	187,66	167,89
			Abarroteria	97,03	90,91	20,03	104,47	155,86	191,97	172,20
		Tienda de Viveres	Verduras	101,35	95,23	24,35	108,79	160,18	196,29	176,52
			Abarroteria	105,67	99,55	28,66	113,11	164,50	200,61	180,84
		Tienda de Viveres	Abarroteria	109,98	103,86	32,98	117,42	168,81	204,92	185,15
			Abarroteria	114,30	108,18	37,30	121,74	173,13	209,24	189,47
		Kiosco de Viveres	Abarroteria	118,61	112,49	41,61	126,05	177,44	213,55	193,78
			Verduras	122,93	116,81	45,93	130,37	181,76	217,87	198,10
			Verduras	127,24	121,12	50,24	134,68	186,07	222,18	202,41

**Fuente:** Elaboración con base en datos recopilados mediante el estudio de campo realizado en la calle Gallardo.

**Tabla 4.18:** Cálculo de distancias Tienda-Bahía para el cuadrante 59

Cuadrante	Lado	Categoría	Tipo de negocio	Distancia en metros						
				Bahía 1	Bahía 2	Bahía 3	Bahía 4	Bahía 5	Bahía 6	Bahía 7
59	A	Tienda de Viveres	Abarroteria	142,74	134,25	125,15	54,42	32,09	69,71	31,44
			Abarroteria	154,88	146,39	137,29	66,56	44,23	81,85	19,30
			Abarroteria	167,03	158,54	149,44	78,71	56,38	94,00	7,15
			Abarroteria	179,17	170,68	161,58	90,85	68,52	106,14	7,55
			Abarroteria	191,31	182,82	173,72	102,99	80,66	118,28	20,80
			Abarroteria	203,45	194,96	185,86	115,13	92,80	130,42	33,34
59	B	Tienda de Viveres	Abarroteria	215,60	207,11	198,01	127,28	104,95	142,57	48,93
			Abarroteria	231,73	216,49	211,64	141,98	119,1	153,29	52,16
			Abarroteria	238,55	223,31	218,46	148,80	125,92	160,11	58,98
			Abarroteria	245,37	230,13	225,28	155,62	132,74	166,93	65,80
			Abarroteria	252,18	236,94	232,09	162,43	139,55	173,74	72,61
			Abarroteria	259,00	243,76	238,91	169,25	146,37	180,56	79,43
			Abarroteria	265,82	250,58	245,73	176,07	153,19	187,38	86,25
			Abarroteria	272,64	257,40	252,55	182,89	160,01	194,20	93,07
			Abarroteria	279,46	264,22	259,37	189,71	166,83	201,02	99,89
			Abarroteria	286,28	271,04	266,19	196,53	173,65	207,84	106,71
			Abarroteria	293,09	277,85	273,00	203,34	180,46	214,65	113,52
			Abarroteria	299,91	284,67	279,82	210,16	187,28	221,47	120,34
59	C	Tienda de Viveres	Hueveria	122,89	215,07	141,16	127,97	66,67	149,43	118,43
			Pollo	130,39	222,57	148,66	135,47	74,17	156,93	125,93
			Hueveria	137,89	230,07	156,16	142,97	81,67	164,43	133,43
			Pollo	145,39	237,57	163,66	150,47	89,17	171,93	140,93
			Hueveria	152,89	245,07	171,16	157,97	96,67	179,43	148,43
			Pollo	160,39	252,57	178,66	165,47	104,17	186,93	155,93
		Kioscos de Viveres	Hueveria	167,89	260,07	186,16	172,97	111,67	194,43	163,43
			Pollo	175,39	267,57	193,66	180,47	119,17	201,93	170,93
			Abarroteria	182,89	275,07	201,16	187,97	126,67	209,43	178,43
			Abarroteria	190,39	282,57	208,66	195,47	134,17	216,93	185,93
			Abarroteria	197,89	290,07	216,16	202,97	141,67	224,43	193,43
			Abarroteria	219,9	210,54	208,15	134,49	60,83	147,7	113,15
59	D	Tienda de Viveres	Abarroteria	208,19	198,83	196,44	122,78	55,29	135,99	101,44
			Electrodomesticos	196,47	187,11	184,72	111,06	42,94	124,27	89,72
			Electrodomesticos	184,76	175,40	173,01	99,35	31,23	112,56	78,01
			Electrodomesticos	173,04	163,68	161,29	87,63	19,51	100,84	66,29
			Electrodomesticos	161,33	151,97	149,58	75,92	7,80	89,13	54,58
			Electrodomesticos	149,61	140,25	137,86	64,20	19,40	77,41	42,86

**Fuente:** Elaboración con base en datos recopilados mediante el estudio de campo realizado en la calle Gallardo.

Calculados las distancias de las tiendas hasta las bahías ya se tiene toda la información necesaria para la construcción del modelo de programación lineal que permitan optimizar la cobertura y seleccionar las bahías con mayor alcance en la zona.

#### 4.4. Formulación del Modelo

##### 4.4.1. Descripción del modelo

El proyecto sigue una metodología basada en dos fases, en el cual los resultados de la primera fase son los datos de entrada de la segunda fase, en la primera fase el modelo tiene el objetivo de minimizar las distancias tomando las rutas más cortas desde las tiendas hasta las bahías, optimizando de esta forma la distribución de comercios en relación al número de bahías, la segunda fase consiste en maximizar la cobertura de las bahías, bajo dos condiciones un presupuesto limitado en el estudio de caso por la alcaldía, y segundo que los costos de distribución tengan un margen equivalente a la media de los costos de distribución total.

Finalmente, con los resultados de este modelo, se enlista las bahías que cumplen todas las condiciones de ambos modelos y son proyectados para ser ejecutados como bahías óptimas de descarga con base al modelado matemático.

##### 4.4.2. Arquitectura del modelo

##### 4.4.3. Función Objetivo

Función Objetivo Primera Fase: Minimizar las distancias desde las tiendas hasta las bahías.

$$\text{Min}Z = \sum_{j,k}^{n,m} D_{jk} * X_{jk}$$

Función Objetivo Segunda Parte: Maximizar la cobertura de las bahías seleccionadas

$$\text{Max}W = \sum_{k=1}^m \frac{\text{Opt}(X_k)}{j} * Y_k$$

##### 4.4.4. Variables de decisión

$X_{jk}$ : Decisión de tomar la ruta desde la tienda  $j$  hasta la bahía  $k$  (0,1)

$Y_k$ : Decision de instalar la bahía  $k$  (0,1)

#### 4.4.5. Restricciones del modelo

Se considera que debe haber una sola ruta de distribución de la tienda  $j$  hasta la bahía  $k$ .

$$\sum_{k=1}^m X_{jk} = 1, \quad k = 1, 2, \dots, m$$

Se debe considerar que la inversión que se realice en la instalación de las bahías de carga y descarga no supere el monto total presupuestado, siendo la restricción la siguiente.

$$\sum_{k=1}^m CI_k * Y_k \leq P \quad k = 1, 2, \dots, m$$

Como tercera restricción el costo de distribución total por bahía no debe ser al promedio del costo total de distribución de todas las bahías

$$\sum_{k=1}^m CD_k * Y_k \leq \mu(CD_k)$$

Por último, las variables  $X$  e  $Y$  son variables binarias, es decir, solo pueden optar por el valor de 0 en caso de que no se tome la decisión, y 1 en caso de que si se tome la decisión.

$$X_{ijk}, Y_k \in Bin[0,1]$$

### 4.5. Procedimiento

#### 4.5.1. Cálculos Solver Fase 1

En la primera parte del proyecto, para la resolución de los modelos planteados con anterioridad se hizo uso del complemento Solver para Excel, el cual, si bien es un procesador matemático potente, presenta ciertas limitaciones, las cuales se basan en que solo acepta 200

variables y 100 restricciones, en tal caso el número de variables planteadas para el proyecto sigue el siguiente cálculo:

$$n * m = 212 * 7$$

$$n * m = 1484 \text{ variables}$$

*Siendo:*

*n: Número de tiendas en la calle Gallardo*

*m: Número de bahías opcionales en calle Gallardo*

Como se observa la cantidad de variables de decisión para la primera fase es igual a 1.484, dado que Solver de Excel solo acepta 200 variables entonces el modelo debe trabajarse por partes siendo estas igual a 7,42 modelos de programación, pero por razones de agrupamiento estos se trabajan por el número de cuadrantes: En el siguiente apartado se muestra los cálculos realizados para la bahía 58, dado que todos los cuadrantes siguen el mismo procedimiento de resolución se sugiere al lector que para observar los cálculos restantes realizados el lector puede encontrarlos en el anexo.

**Tabla 4.19: Datos de Entrada del modelo de Programación Lineal Fase 1**

Cuadrante	Lado	Categoría	Tipo de negocio	Distancia en metros						
				Bahía 1	Bahía 2	Bahía 3	Bahía 4	Bahía 5	Bahía 6	Bahía 7
58	A	Ropa y calzado	Tienda de ropa	55,48	47,22	41,01	56,83	104,92	137,94	120,72
			Abarroteria	69,65	61,39	55,18	44,01	90,75	123,77	106,55
		Tienda de Viveres	Abarroteria	83,81	75,55	69,34	27,58	76,59	109,61	92,39
			Abarroteria	97,98	89,72	83,51	27,59	62,42	95,44	78,22
58	B	Tienda de Viveres	Abarroteria	112,15	103,89	97,68	40,35	48,25	81,27	64,05
			Abarroteria	134,46	128,71	119,85	50,23	25,03	59,71	40,62
			Abarroteria	141,46	135,71	126,85	57,23	18,03	66,71	47,62
			Abarroteria	148,46	142,71	133,85	64,23	11,03	73,71	54,62
		Otros	Abarroteria	155,46	149,71	140,85	71,23	4,03	80,71	61,62
			Electrodomesticos	162,46	156,71	147,85	78,23	1,03	87,71	68,62
			Electrodomesticos	169,46	163,71	154,85	85,23	7,00	94,71	75,62
			Electrodomesticos	176,46	170,71	161,85	92,23	14,00	101,71	82,62
			Electrodomesticos	183,46	177,71	168,85	99,23	21,00	108,71	89,62
			Electrodomesticos	190,46	184,71	175,85	106,23	28,00	115,71	96,62
			Electrodomesticos	197,46	191,71	182,85	113,23	35,00	122,71	103,62
			Electrodomesticos	204,46	198,71	189,85	120,23	42,00	129,71	110,62
			Electrodomesticos	211,46	205,71	196,85	127,23	49,00	136,71	117,62
58	C	Tienda de Viveres	Abarroteria	218,46	212,71	203,85	134,23	56,00	143,71	124,62
			Abarroteria	140,4	131,29	56,45	147,4	133,6	220,14	198,74
			Abarroteria	157,40	148,29	73,45	164,40	116,60	203,14	181,74
			Abarroteria	174,40	165,29	90,45	181,40	99,60	186,14	164,74
			Abarroteria	191,40	182,29	107,45	198,40	82,60	169,14	147,74
			Abarroteria	208,40	199,29	124,45	215,40	65,60	152,14	130,74

**Fuente:** Elaboración con base en datos recopilados mediante el estudio de campo realizado en la calle Gallardo.

La tabla, presentada muestra los datos de entrada del modelo, que son las distancias desde una bahía hasta la tienda respectiva, clasificados en los tipos de negocio según orden de orientación, no se toma en cuenta el lado D del cuadrante 58 debido a que no resulta relevante para el estudio.

### Modelo de Programación Lineal para Cuadrante 58

**Función Objetivo:** Minimización de distancias de tienda a bahías

$$\text{Min}W = 860,24 (m)$$

**Restricciones:** Se considera que debe haber una sola ruta de distribución de la tienda j hacia la bahía K

$$X_{135-1} + X_{135-2} + X_{135-3} + X_{135-4} + X_{135-5} + X_{135-6} + X_{135-7} = 1$$

$$X_{136-1} + X_{136-2} + X_{136-3} + X_{136-4} + X_{136-5} + X_{136-6} + X_{136-7} = 1$$

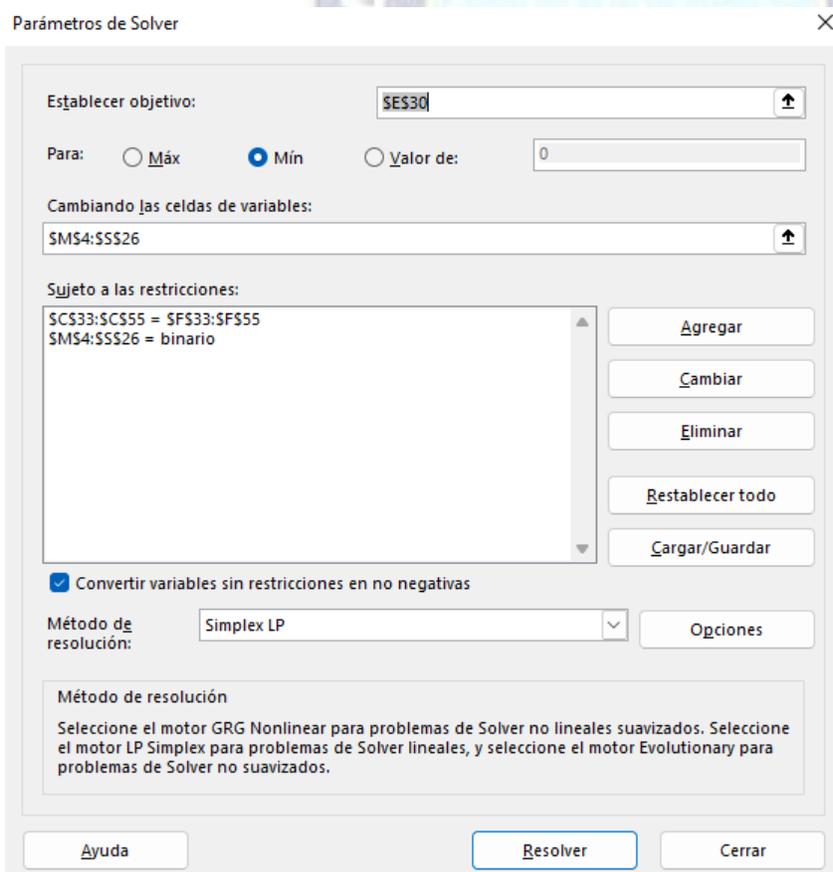
...

$$X_{156-1} + X_{156-2} + X_{156-3} + X_{156-4} + X_{156-5} + X_{156-6} + X_{156-7} = 1$$

$$X_{157-1} + X_{157-2} + X_{157-3} + X_{157-4} + X_{157-5} + X_{157-6} + X_{157-7} = 1$$

Mediante el programa Solver se presenta las casillas ya designadas y parametrizadas, seguido de las restricciones por tienda en la cual se especifica todo lo anterior.

**Ilustración 4.15:** Ventana de asignacion de parametros de Solver para cuadrante 58



**Fuente:** Elaboración con base en datos recopilados en la calle Gallardo en el programa Solver de Excel.

Finalmente se configura los parámetros para la resolución mediante Solver asignando las condiciones para obtener los resultados de las condiciones entrantes, basados en el modelo de la ruta más corta.

**Tabla 4.20:** Resultados de las variables binarias de decision del cuadrante 58

Variables Xjk	k: Bahias						
	1	2	3	4	5	6	7
135	0	0	1	0	0	0	0
136	0	0	0	1	0	0	0
137	0	0	0	1	0	0	0
138	0	0	0	1	0	0	0
139	0	0	0	1	0	0	0
140	0	0	0	0	1	0	0
141	0	0	0	0	1	0	0
142	0	0	0	0	1	0	0
143	0	0	0	0	1	0	0
144	0	0	0	0	1	0	0
145	0	0	0	0	1	0	0
146	0	0	0	0	1	0	0
147	0	0	0	0	1	0	0
148	0	0	0	0	1	0	0
149	0	0	0	0	1	0	0
150	0	0	0	0	1	0	0
151	0	0	0	0	1	0	0
152	0	0	0	0	1	0	0
153	0	0	1	0	0	0	0
154	0	0	1	0	0	0	0
155	0	0	1	0	0	0	0
156	0	0	0	0	1	0	0
157	0	0	0	0	1	0	0

**Fuente:** Elaboración con base en datos recopilados en la calle Gallardo en el programa Solver de Excel.

En este apartado los resultados se muestran en la tabla de variables de decisión donde los 0 significan que no es una ruta viable y 1 representa que si es una ruta óptima, como ejemplo se toma la tienda número 136 de abarrotes la cual su distancia óptima es de 44,01 metros a

comparación de las demás y su bahía asignada es la número 4, de la misma forma ocurre para los demás resultados realizando 1484 asignaciones que se muestran como resumen en los anexos.

#### **4.5.2. Cálculos Solver Fase 2**

El contenido y el procedimiento de la fase 2 corresponde a diferentes canales de datos, en primer lugar, las bahías óptimas por tiendas son los valores de entrada para la maximización de la cobertura de bahías, para esta fase se plantea el KPI cobertura de bahías el cual se muestra a continuación:

$$\text{Cobertura de Bahías} = \frac{\text{Número de tiendas cubiertas}}{\text{Número total de tiendas}}$$

El valor del “Número de tiendas cubiertas” se obtiene a partir de los resultados obtenidos en la primera fase del modelo de programación lineal en el cual al realizar la asignación óptima de tienda-bahía de acuerdo a la ruta más corta este asigna el valor de 1 cuando es óptima, siendo el total el cálculo que se requiere para el numerador del KPI, y dentro del denominador se tiene el valor de 212, dado que es el número total de tiendas en todo el kilómetro 0.

Dado la cobertura de bahías como base para el cálculo de la función objetivo procede identificar los costos relacionados al proyecto de los cuales se han estimado 2 tipos de costo, el primero que es los costos de Instalación que a la vez se subdividen en mano de obra, materiales y permisos de la gobernación, y segundo costos de distribución los cuales es el costo de llevar la mercadería desde el punto de descarga hasta la tienda para ello se ha hecho la consulta y posterior estandarización de este dato por metro cubierto.

**Tabla 4.21:** Costos estimados de mano de obra para la instalación de bahías

Bahía	Ubicación	Mano de Obra		
		Pintado	Modificación de Acera	Instalación de señáletica
1	57-A	1.100	3.720	1.600
2	54-D	1.100	4.185	1.600
3	58-D	1.100	4.185	1.600
4	54-C	1.100	3.720	1.600
5	58-B	1.100	3.720	1.600
6	54-B	1.100	4.650	1.600
7	59-A	1.100	4.185	1.600

**Fuente:** Elaboración con base a la Guía Técnica para bahías de carga y descarga. GIZ Ricardo, 2022.

La tabla que se observa muestra los costos relacionados a la mano de obra tomando en cuenta el tiempo de trabajo, el número de personas y la dificultad en la instalación de la acera en el lugar establecido para la bahía.

**Tabla 4.22:** Costos estimados de materiales y administrativos por bahía

Bahía	Ubicación	Materiales			Administrativos
		Pintura	Señáletica	Cemento+Arena +Agua	Permisos de la gobernación
1	57-A	400	2.280	1.800	1.140
2	54-D	400	2.565	1.800	1.283
3	58-D	400	2.565	1.800	1.283
4	54-C	400	2.280	1.800	1.140
5	58-B	400	2.280	1.800	1.140
6	54-B	400	2.850	1.800	1.425
7	59-A	400	2.280	1.800	1.283

**Fuente:** Elaboración con base a la Guía Técnica para bahías de carga y descarga. GIZ Ricardo, 2022.

Por otro lado, la instalación de bahías por tema de materiales es indistinto dado que se requiere pintura, para enmarcar que el área es una bahía de descarga, señáleticas que orientan a conductores y peatones, finalmente cemento, agua y arena para la modificación de la acera, los cuales varían de acuerdo a perturbaciones presentes en la zona.

**Tabla 4.23:** Costos Totales estimados por bahía

<b>Bahía</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Costo Total (Bs.)</b>
1	57-A	12.040
2	54-D	12.933
3	58-D	12.933
4	54-C	12.040
5	58-B	12.040
6	54-B	13.825
7	59-A	12.648

**Fuente:** Elaboración con base a la Guía Técnica para bahías de carga y descarga. GIZ Ricardo, 2022.

El agregado de toda la información resulta en el costo total de instalación el cual rondan desde los 12.040 Bs. hasta los 13.825 Bs. por bahía instalada, estos se presentan como parámetros para la restricción presupuestaria del modelo.

**Tabla 4.24:** Costos de distribución estimados en la calle Gallardo según tipo de producto

<b>Tipo de Producto</b>	<b>Costo de Distribución (Bs/Cuadra)</b>	<b>Costo de Distribución (Bs/m)</b>
<b>Electrodomesticos</b>	30	0,35
<b>Abarrotes</b>	20	0,24
<b>Carne y pollo</b>	25	0,29
<b>Paperia</b>	40	0,47
<b>Muebleria</b>	40	0,47
<b>Tienda de Ropa</b>	15	0,18
<b>Vidrieria</b>	40	0,47
<b>Aluminio</b>	40	0,47
<b>Hueveria</b>	20	0,24
<b>Verduras</b>	15	0,18

**Fuente:** Elaboración con base en datos recopilados mediante el estudio de campo realizado en la calle Gallardo.

De acuerdo a consultas realizadas en la zonas se puede evidenciar que existen costos de distribución distintos para cada tipo de producto de acuerdo al tamaño, el volumen, y la

fragilidad, el parámetro de medición se basa en la distancia que puede llegar a encontrarse de la tienda, mientras a más cuadradas se encuentre entonces es mucho más alto el precio, dado que la distancia es de 85 metros, por cada cuadra se calcula el índice de costo de distribución por metro y se proyecta en los costos de distribución totales.

**Función Objetivo:** Maximización del KPI Cobertura de bahías

$$MaxW = 0,00\%$$

**Variables de decisión:** Decisión (0,1) de Instalar la bahía k (0,1,2...,7)

$$Y_k = (0,1)$$

Entrando al modelo de programación lineal definitivo la función objetivo muestra un valor en porcentaje que representa la cobertura óptima que cubre las bahías seleccionadas limitado por las restricciones presupuestarias, seguido de las variables de decisión donde se elige las bahías con mayor cobertura según las siguientes restricciones.

**Restricción Presupuestaria:**

$$12.040Y_1 + 12.933Y_2 + 12.933Y_3 + 12.040Y_4 + 12.040Y_5 + 13.825Y_6 + 12.648Y_7 \leq 50.000$$

**Restricción de costos de distribución por bahías**

$$9.503 * Y_1 \leq 10.000$$

$$8.188 * Y_2 \leq 10.000$$

$$8.546 * Y_3 \leq 10.000$$

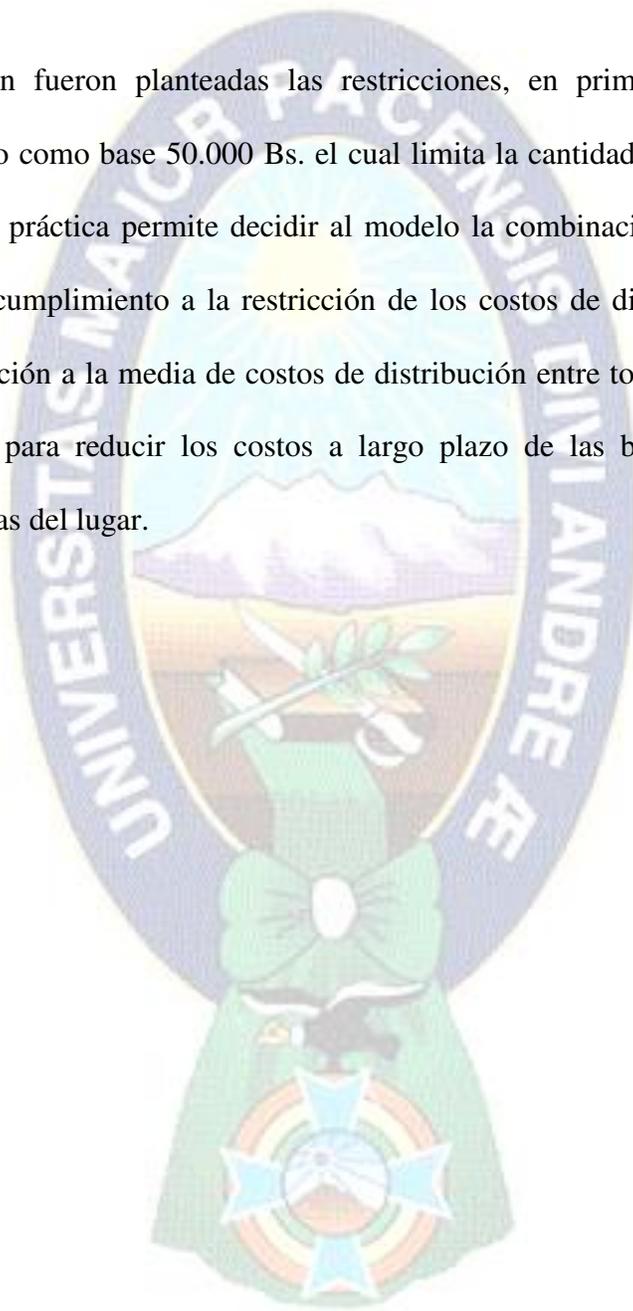
$$7.856 * Y_4 \leq 10.000$$

$$10.097 * Y_5 \leq 10.000$$

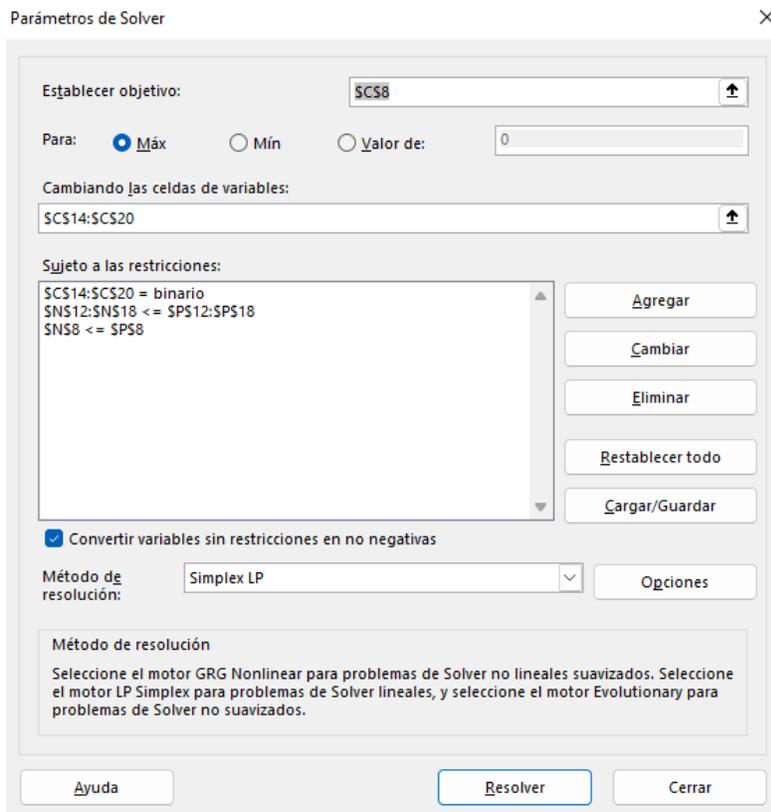
$$9.954 * Y_6 \leq 10.000$$

$$10.678 * Y_7 \leq 10.000$$

En esta sección fueron planteadas las restricciones, en primer lugar, la restricción presupuestaria tomando como base 50.000 Bs. el cual limita la cantidad de bahías alrededor del 50%, el cual de forma práctica permite decidir al modelo la combinación de bahías óptima, al mismo tiempo dando cumplimiento a la restricción de los costos de distribución el cual no es más que una aproximación a la media de costos de distribución entre todas las bahías el cual se plantea como criterio para reducir los costos a largo plazo de las bahías que resultan más efectivas para las tiendas del lugar.



**Ilustración 4.16:** Ventana de asignación de parámetros de Solver para la fase 2 del MPL



**Fuente:** Elaboración con base en datos recopilados en la calle Gallardo en el programa Solver de Excel.

La segunda fase de la misma forma presenta los parámetros en Solver para la configuración de la resolución mediante Simplex de variables binarias, ya en la sección resultados se visualiza como han respondido la fase 1 como la fase 2 a todos los cálculos y configuraciones realizadas internamente por el modelo.

## 4.6. Resultados

### 4.6.1. Resultados Primera Parte

La primera fase de minimización de distancias entre bahías y tiendas muestra que la cobertura total promedio es 29.730 metros para cada bahía, con el modelo de simulación las rutas óptimas convertidas en distancias alcanzan un promedio de descarga de 2.607 metros, lo que demuestra la masiva reducción de distancias.

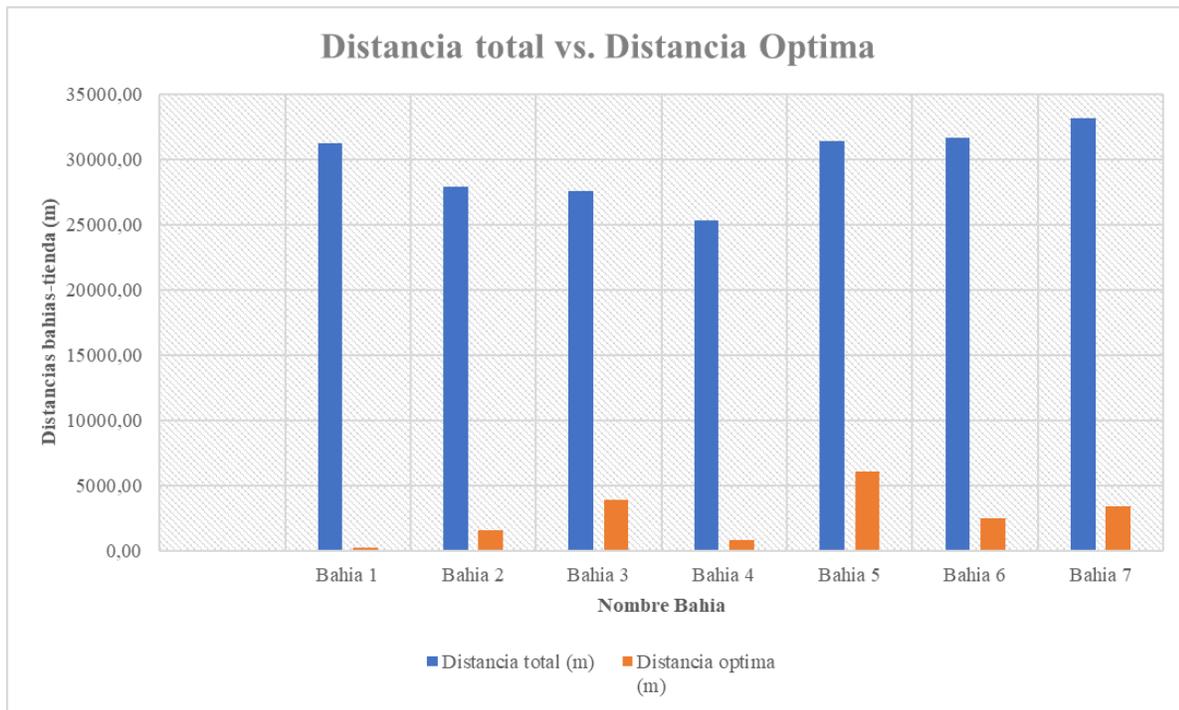
**Tabla 4.25:** Comparativa de distancia Total v. Distancia Óptima por Bahía

<b>Bahías</b>	<b>Distancia total (m)</b>	<b>Distancia óptima (m)</b>
Bahía 1	31.223	232
Bahía 2	27.868	1.541
Bahía 3	27.548	3.861
Bahía 4	25.298	760
Bahía 5	31.374	6.029
Bahía 6	31.687	2.456
Bahía 7	33.112	3.369

**Fuente:** Elaboración con base en resultados del modelo de programación lineal de la fase 1

La reducción de distancias es de la misma forma un parámetro importante para conocer cuales cubren mayor distancia que otras esto cumple con dos motivos, cubrir la mayor cantidad según distancia más corta y segundo comparar la reducción ya mencionada por el modelo como se evidencia en la ilustración.

**Ilustración 4.17:** Comparativa de distancia total vs. Distancia Óptima por Bahía



**Fuente:** Elaboración con base en resultados del modelo de programación lineal de la fase 1 en el programa Solver

La cobertura máxima de estas bahías es el resultado de interés más importante del modelo como se observa en la tabla siguiente, la bahía 1 cubre 9 tiendas, la bahía 2 cubre 36 tiendas, la bahía 4 cubre 10 tiendas, la bahía 5 cubre 35 tiendas, la bahía 6 cubre 48 tiendas y finalmente la bahía 7 cubre 41 tiendas.

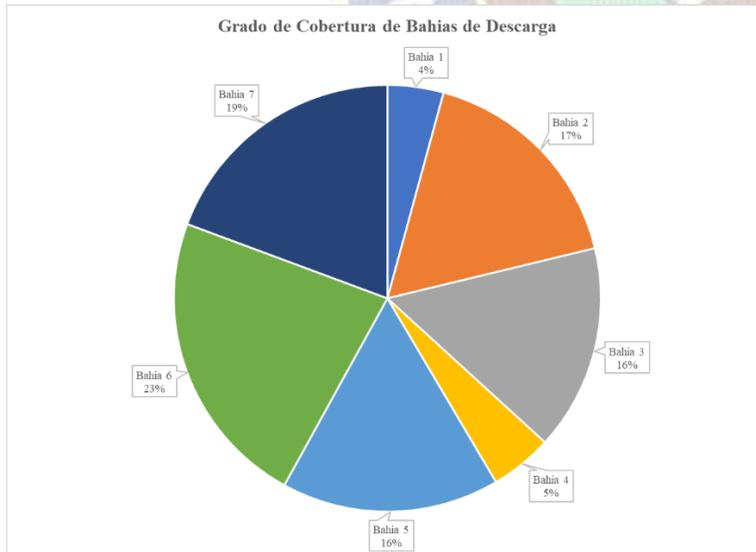
**Tabla 4.26:** Rutas Óptimas por bahía según el modelo de programación Lineal Fase 1

Rutas óptimas Bahía-Tienda	
Bahía 1	9
Bahía 2	36
Bahía 3	33
Bahía 4	10
Bahía 5	35
Bahía 6	48
Bahía 7	41

**Fuente:** Elaboración con base en resultados del modelo de programación lineal de la fase 1 en el programa Solver

La ilustración de torta muestra de manera porcentual el grado de cobertura siendo la bahía número la que cubre alrededor del 26% de tiendas en la zona, seguido de la bahía 7 el cual cubre el 19% de tiendas y el restante distribuido entre las demás bahías.

**Ilustración 4.18:** Grado de cobertura porcentual por bahía de descarga en calle Gallardo



**Fuente:** Elaboración con base en resultados del modelo de programación lineal de la fase 1 en el programa Solver

#### 4.6.2. Resultados Segunda Parte

Como bien se vio en los apartados anteriores la segunda parte del modelo consiste en la maximización de la cobertura de bahías los resultados muestran que:

*Maxima cobertura de bahias en la calle Gallardo*

**55,19 %**

*Costo de Instalación Total*

**39.690 Bs.**

Dada las restricciones del modelo de la capacidad máxima instalada, se garantiza que 55,19% de las tiendas se cubren de manera óptima, este no restringe que otras tiendas fuera del porcentaje no puedan utilizar sino por el contrario la finalidad siempre ha consistido en optimizar con los recursos disponibles el aprovechamiento de bahías, por consiguiente el costo de instalación total de las bahías llega a un valor total de 39.690 Bs. lo cual cumple con las restricción presupuestaria de no más de 50.000 Bs. para la instalación de las bahías.

Con base al modelo de la misma forma se obtiene las bahías que han sido seleccionadas para su instalación, la tabla siguiente muestra los criterios de bahías de carga y descarga óptimas para la calle Gallardo con su respectivo costo de instalación y costo de distribución.

**Tabla 4.27:** Selección de bahías con alto grado de cobertura distribuidos según costos de instalación y distribución

Bahia	Criterio de decision	Costo de Instalación (Bs.)	Costo de Distribución (Bs.)
1	No se instala	0	0
2	Se Instala	12.933	8.188
3	Se Instala	12.933	8.546
4	No se instala	0	0
5	No se instala	0	0
6	Se Instala	13.825	9.954
7	No se instala	0	0

**Fuente:** Elaboración con base en resultados del modelo de programación lineal en su segunda fase en el programa Solver.

Las bahías seleccionadas son la bahía 2, la bahía 3 y la bahía 7, siendo las demás opciones descartadas, con costos de instalación de entre 12.000 a 13.000 Bs. y costos de descargar por debajo de los 10.000 Bs. por bahía.

## Capítulo 5 : Modelo de Simulación de Bahías Logística Urbana

### 5.1. Introducción

El modelo de simulación de bahías en la logística urbana es una de las fases más importantes del presente proyecto, permite la evaluación del impacto de un escenario en el cual las bahías seleccionadas son implementadas bajo parámetros específicos de simulación por otra parte también se considera la simulación del escenario sin proyecto o en su estado actual.

El modelo de simulación toma en cuenta aspectos necesarios basado en condiciones las cuales son cualidades necesarias para simular el funcionamiento de las bahías en el perímetro de la calle Gallardo, en ese sentido el presente capítulo como primera parte presenta el modelo conceptual de simulación el cual conforma el esqueleto base, como segunda parte se tiene los datos de entrada los cuales están representados por tiempos, condiciones y capacidades de simulación como también la distribución probabilística seleccionada, como tercer punto se toma en cuenta las condiciones y supuestos de la simulación que permiten dar un foco respecto aspectos que son requeridos que deben ocurrir en el escenario base, como cuarta parte se presenta la simulación realizada en el programa Arena® Software Simulator, que muestra la aplicación del modelo conceptual previamente planteado, posteriormente se presentan las corridas de la simulación y finalmente la presentación de los resultados de simulación con y sin proyecto.

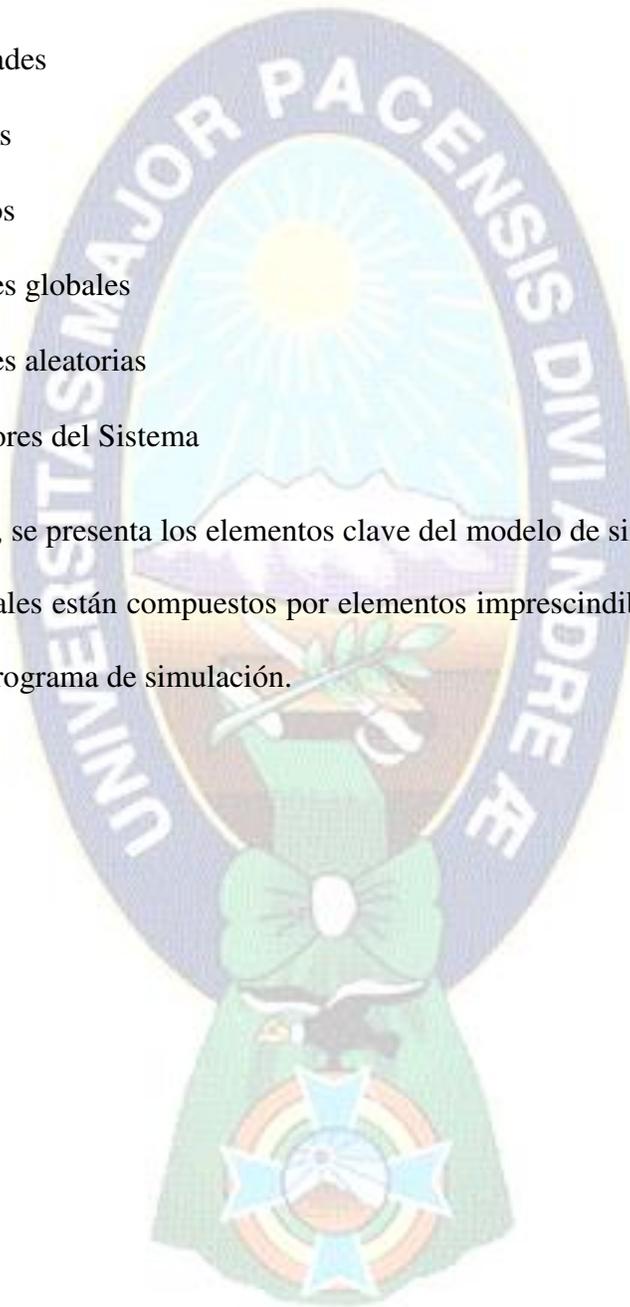
### 5.2. Modelo Conceptual

Un modelo conceptual consiste en una representación simplificada de un sistema, la cual se compone de elementos clave, permitiendo la comprensión y su funcionamiento organizado de forma sistemática.

El modelo conceptual presentado muestra los elementos clave para comprender el funcionamiento del mismo, los cuales están desglosados en los siguientes puntos:

- Entidades
- Actividades
- Recursos
- Atributos
- Variables globales
- Variables aleatorias
- Indicadores del Sistema

A continuación, se presenta los elementos clave del modelo de simulación de bahías en la logística urbana los cuales están compuestos por elementos imprescindibles para la construcción y la replicación en el programa de simulación.

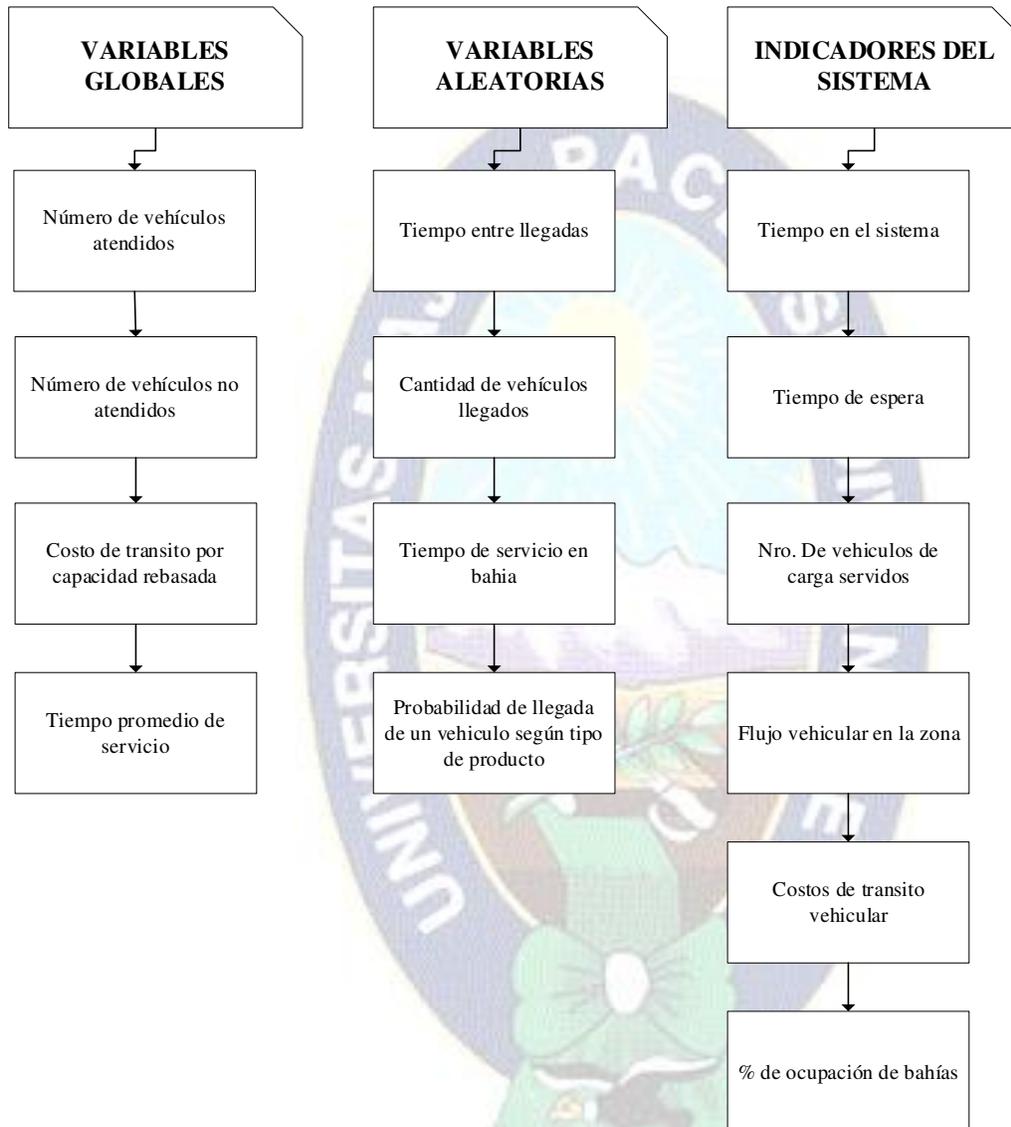


**Ilustración 5.1:** Modelo conceptual de la simulación de bahías para el municipio de La Paz



**Fuente:** Elaboración con base en Taller de Simulación en Arena Software, Mundo IO. 2020.

**Ilustración 5.2:** Modelo conceptual de la simulación de bahías para el municipio de La Paz.



**Fuente:** Elaboración con base en Taller de Simulación en Arena Software, Mundo IO. 2020.

La entidad principal son los vehículos de carga y descarga que van a pasar por el sistema, los cuales cumplen la simple actividad de cargar y descargar mercadería en un tiempo aleatorio sometido a una distribución exponencial los cuales dependerán en gran medida del tipo de producto que se está trabajando.

Entre los recursos con los cuales se cuenta, se tiene la capacidad de las bahías para el servicio del vehículo, también se cuenta con la capacidad de la calle en la cual se está instalando la bahía, en el que se determina dos escenarios, con la presencia de bahías y sin la presencia de bahías, finalmente entre los indicadores más importantes del sistema se encuentran el tiempo promedio en el sistema de un vehículo de carga, el tiempo de espera con y sin la implementación del proyecto, el número de vehículos que han sido atendidos y la cantidad de vehículos que no han sido atendidos debido a largos tiempos de espera, y de manera compuesta con cálculos adicionales la simulación permite conocer el costo de tránsito vehicular y la emisión de CO en el aire de forma suspendida, los cuales son la base para el cálculo de los KPIs planteados en el Perfil Logístico.

### 5.3. Datos de entrada

#### 5.3.1. Distribución Porcentual de Tiendas y Negocios

La distribución porcentual es un conjunto de cálculos que permite conocer y distribuir el comportamiento de los diferentes camiones de descarga según al tipo de producto que se está trasladando, esto permite establecer diferentes tiempos de servicio de acuerdo a las características de las zonas.

**Tabla 5.1:** Inventario de negocios y tiendas próximas a las bahías seleccionadas

Tipo	Tipo de Producto	Negocios Proximos		
		Vicente Ochoa	Vicente Ochoa	Eloy Salmon
1	Electrodomesticos	15	0	55
2	Abarrotes	3	35	5
3	Carne y pollo	0	2	0
4	Paperia	4	2	0
5	Muebleria	28	0	0
6	Tienda de Ropa	0	1	0
7	Verduras	0	4	0
	<b>TOTAL</b>	<b>50</b>	<b>44</b>	<b>60</b>

**Fuente:** Elaboración con base a datos recolectados en la calle Gallardo, La Paz. 2023.

Las bahías seleccionadas se encuentran 2 en la calle Vicente Ochoa y 1 en la calle Eloy Salmon, en el caso de la calle Vicente Ochoa en el primer manzano por evidencia se sabe que existen más electrodomésticos y tiendas mueblerías, por otra parte en el segundo manzano de la calle Vicente Ochoa abunda los negocios y la venta de abarrotes, finalmente en el caso de la calle Eloy Salmon la cantidad de negocios en mayor abundancia son los electrodomésticos y todo tipo de equipo tecnológicos, la siguiente tabla muestra la distribución porcentual de estos negocios por calle.

**Tabla 5.2:** Distribucion porcentual de Inventario de negocios y tiendas próximas a las bahías seleccionadas

Tipo	Tipo de Producto	Distribución Porcentual		
		Vicente Ochoa	Vicente Ochoa	Eloy Salmon
1	Electrodomesticos	30%	0%	92%
2	Abarrotes	6%	80%	8%
3	Carne y pollo	0%	5%	0%
4	Paperia	8%	5%	0%
5	Muebleria	56%	0%	0%
6	Tienda de Ropa	0%	2%	0%
7	Verduras	0%	9%	0%
	<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

**Fuente:** Elaboración con base a datos recolectados en la calle Gallardo, La Paz. 2023.

La tabla muestra la distribución porcentual de vehículos en las calles Vicente Ochoa y Eloy Salmon en las cuales se encuentran las 3 bahías más importantes, algo que se debe tomar en cuenta en estos cálculos es que la proporción de vehículos por tipo de producto es independiente de la implementación del proyecto y el estado actual de la misma.

### 5.3.2. Tiempo entre llegadas

El tiempo entre llegadas representa la frecuencia de llegada de vehículos en la zona para ellos se toma en cuenta que el orden de llegadas sigue una distribución exponencial de la siguiente forma:

$$F(x) = \begin{cases} 0 & \text{para } x < 0 \\ 1 - e^{-\lambda x} & \text{para } x \geq 0 \end{cases}$$

Donde:

$x$ : Tiempo entre llegadas

$\lambda$ : Tasa de llegadas

Dado que se requiere la función inversa realizando los cálculos respectivos se tiene la siguiente ecuación:

$$x = -\frac{1}{\lambda} * \ln(1 - R)$$

Una de las características más importantes de la distribución exponencial es que carece de memoria lo que significa que un evento  $t$  es independiente del evento  $ex$  ante y  $ex$  post, esto ha sido de gran utilidad especialmente en el cálculo del tiempo entre llegadas de entidades a un sistema de servicios.

De acuerdo a las observaciones realizadas en la calle Gallardo en relación a la tasa media de vehículos de carga y descarga que llegan a las calles mencionadas se han tomado en cuenta factores como las calles anexadas para la llegada si es de una sola vía o cuenta con dos vías, si tiene acceso por ambas vías o si es de un solo acceso por lo cual la media entre llegadas se distribuye de la siguiente forma:

$$\mu_{Vicente\ Ochoa\ (1)} = 10 \frac{min}{vehiculo}$$

$$\mu_{Vicente\ Ochoa\ (2)} = 15 \frac{min}{vehiculo}$$

$$\mu_{Eloy\ Salmon} = 15 \frac{min}{vehiculo}$$

Entonces:

$$Llegadas\ C.Vicente\ Ochoa\ (1)\ X_1 \sim Exp(\lambda)\ \text{donde}\ \lambda = \frac{1}{10}$$

$$Llegadas\ C.Vicente\ Ochoa\ (2)\ X_1 \sim Exp(\lambda)\ \text{donde}\ \lambda = \frac{1}{15}$$

$$Llegadas\ C.Eloy\ Salmon\ X_1 \sim Exp(\lambda)\ \text{donde}\ \lambda = \frac{1}{15}$$

Estos datos fueron procesados y recopilados a partir de observaciones realizadas en el lugar dado que existen holguras de tiempo amplios y cortos entre vehículo la media de llegadas se ha estabilizado en un rango de 10 a 15 minutos aproximadamente, con base a estos datos se tiene los parámetros iniciales para la simulación de escenarios en la implementación de bahías en la calle Gallardo.

### **5.3.3. Tiempos de Servicio**

Los tiempos de servicio son los tiempos en los cuales cada vehículo hace uso de los recursos disponibles, en este sentido con la situación sin proyecto los vehículos de carga y descarga de mercadería disponen de los espacios disponibles en la calle, en el cual el problema generaba un desorden y una saturación de vehículos al ocupar espacios que corresponden al flujo

vehicular los cuales generan congestión y de forma indirecta costos de saturación vehicular, así mismo en una situación sin proyecto la capacidad es mucho más amplia.

En la situación con proyecto, se establece la necesidad de la implementación de la bahía con capacidad de dos vehículos con tiempos estandarizados los cuales son controlados y establecen un mejor orden reduciendo la congestión vehicular en la zona y mejorando la efectividad logística en zonas urbanas.

#### **5.4. Condiciones de simulación**

Dentro de las condiciones de simulación se considera los supuestos que en un escenario se asumen se van a cumplir de tal forma que el modelo de simulación cumpla el cometido de que la ejecución se obtenga resultados según las observaciones realizadas tomando en cuenta los más importante, en ese sentido los supuestos para el modelo de simulación son:

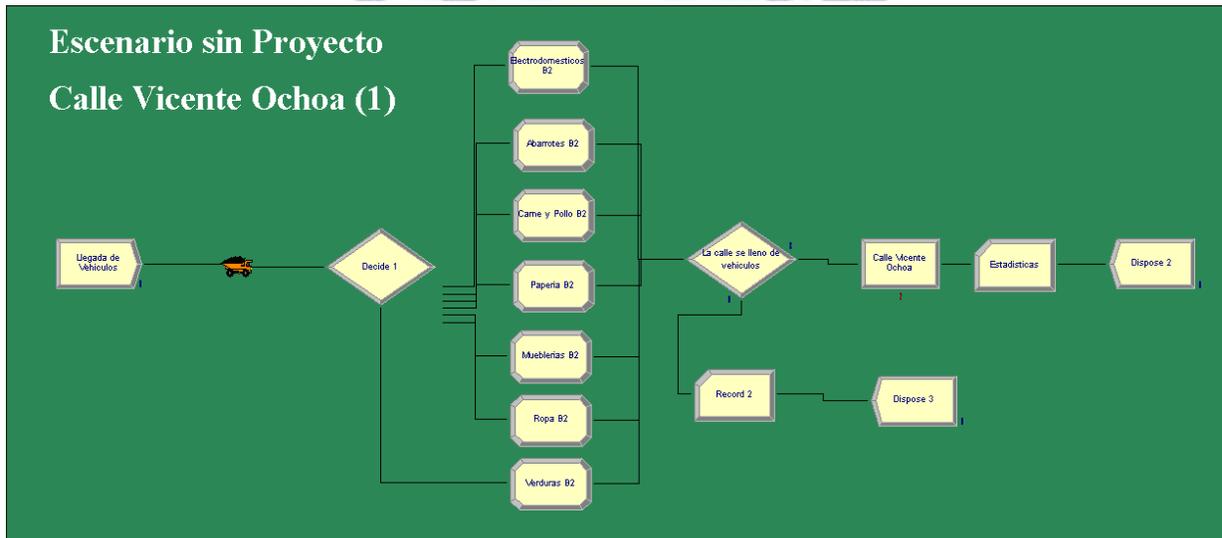
- Se asume que, cuando se rebasa la capacidad de la Bahía los vehículos entrantes conforman el conjunto de congestión vehicular en la zona
- Los tiempos de servicio sin proyecto son variados debido a que no existe ninguna regulación relacionada al tiempo de descarga.
- Cada bahía posee diferente distribución vehicular por tipo de producto, por lo cual se respeta dicho orden.
- Se asume que los vehículos de descarga respetan el tiempo límite de 30 minutos para la descarga de mercadería.

En función a los supuestos planteados en el punto siguiente se presentan las simulaciones llevadas a cabo, agrupados en dos escenarios, escenario sin proyecto y escenario con proyecto.

## 5.5. Simulación Arena® Software Simulator

La simulación de escenarios está compuesto por una entrada que tiene como nombre llegada de vehículos la cual de acuerdo a la calle en la que se encuentra esta adquiere distintos valores aleatorios de acuerdo a una distribución exponencial, esto debido al tráfico diferenciado en las calles Vicente Ochoa y Eloy Salmon.

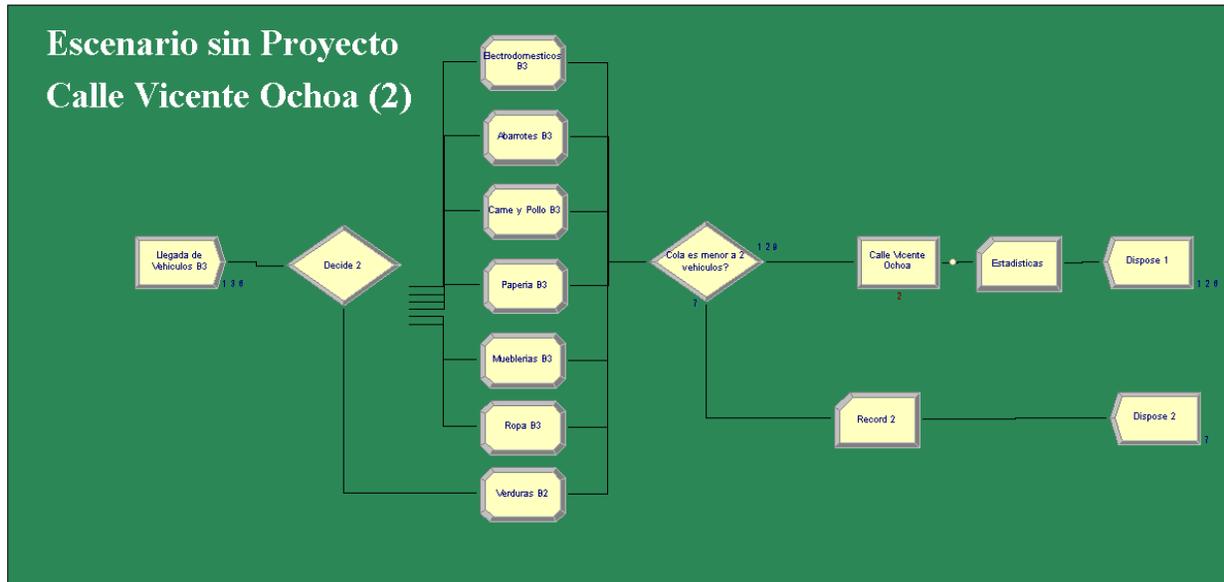
*Ilustración 5.3: Modelo de simulación sin proyecto calle Vicente Ochoa (1)*



**Fuente:** Elaboración con base en datos recolectados en la calle Gallardo en el programa Arena Simulator. 2024.

Dentro del simulador una vez que llega el vehículo por condiciones de programación, el vehículo que llega adquiere identidad de tal forma que de acuerdo al tipo y cantidad de tiendas en estas calles, adquieren propiedades únicas de cada calle, por ejemplo en el caso de la calle Eloy Salmon, es más probable la llegada de camiones que descarguen electrodomésticos a comparación de que llegue verduras que es menos probable, como se observa en las ilustraciones es distinto para cada calle.

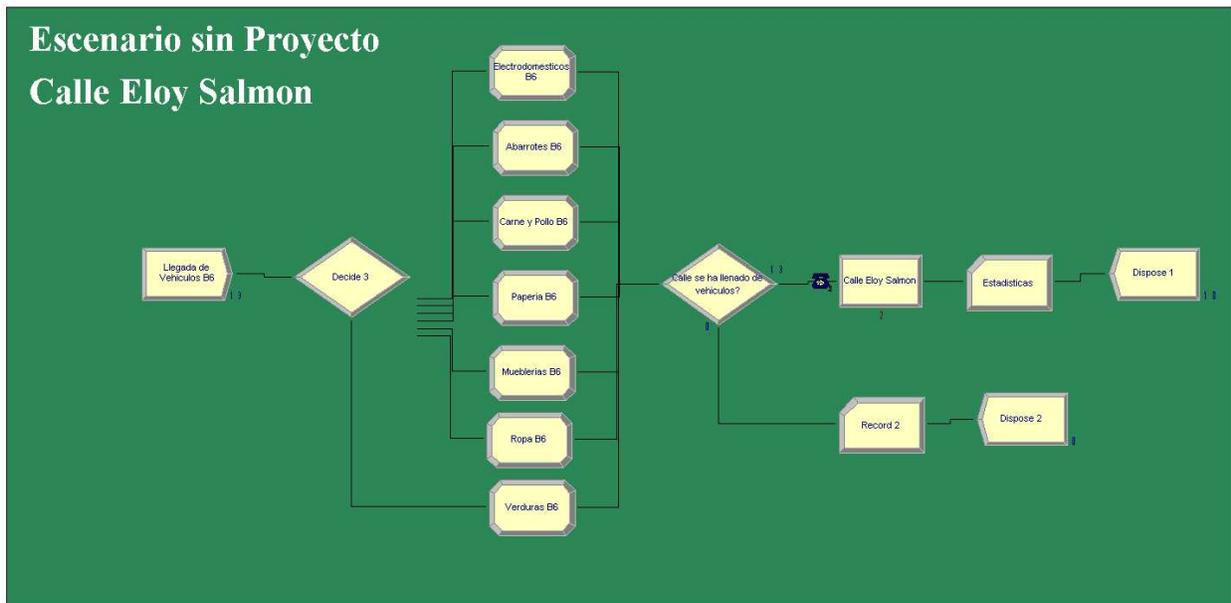
**Ilustración 5.4:** Modelo de simulación sin proyecto calle Vicente Ochoa (2)



**Fuente:** Elaboración con base en datos recolectados en la calle Gallardo en el programa Arena Simulator. 2024.

Posteriormente el vehículo al adquirir una identidad según el negocio y probabilidad de ocurrencia, pasa por un control que le pregunta en el caso sin proyecto si la cantidad de vehículos en espera para descargar mercadería es igual a 2, si es verdad entonces el vehículo se resigna a descargar su mercadería y se retira ya que la calle esta totalmente saturada de vehículos tal y como ocurre en la realidad.

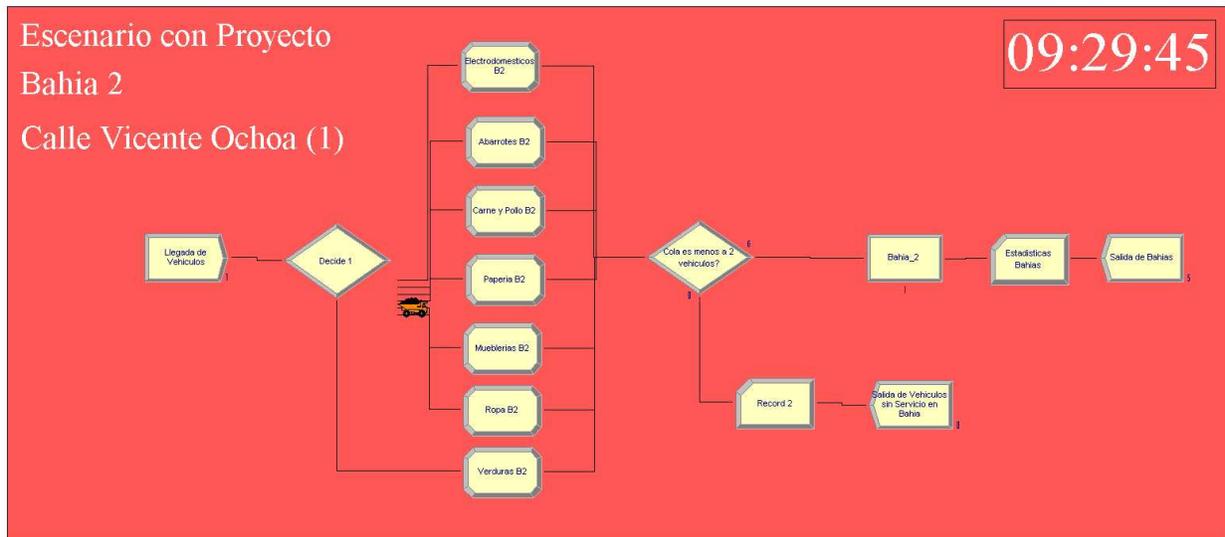
*Ilustración 5.5: Modelo de simulación sin proyecto calle Eloy Salmon*



*Fuente: Elaboración con base en datos recolectados en la calle Gallardo en el programa Arena Simulator. 2024.*

Cabe destacar que la capacidad vehicular de estas calles es igual a 4 vehículos al mismo tiempo, con dos vehículos en cola se simula el comportamiento de saturación de estas calles, que según observaciones se pudo apreciar una saturación hasta en media vía de circulación causando congestionamiento.

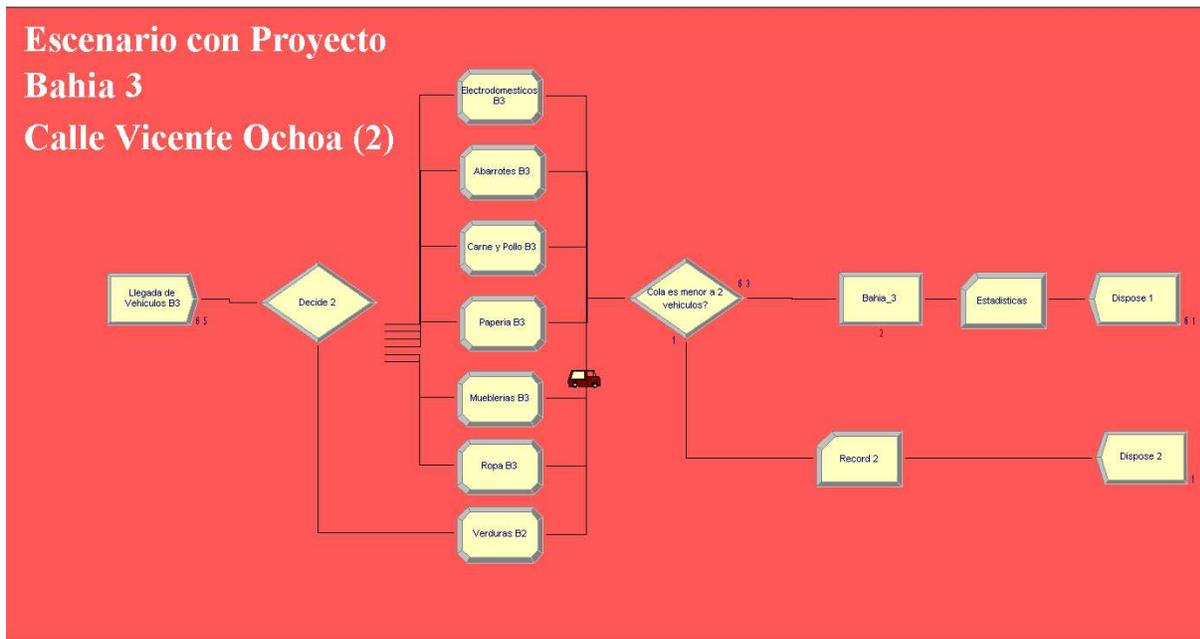
**Ilustración 5.6:** Modelo de simulación con proyecto Bahía 2 calle Vicente Ochoa



**Fuente:** Elaboración con base en resultados del modelo de optimización en el programa Arena Simulator. 2024.

En el caso del escenario con bahías, la capacidad de estas es menor al escenario sin proyecto en el cual solo existe 2 servidores o espacios para descarga de mercadería y de la misma forma se consulta si la cola es igual a 2 que sería el límite del sistema entonces el vehículo procede a retirarse, en el escenario sin proyecto se parametriza el uso a máxima capacidad de las bahías y de la calle de tal forma que se limita la congestión y se garantiza el flujo vehicular en la zona, cumpliendo así con el propósito del mismo

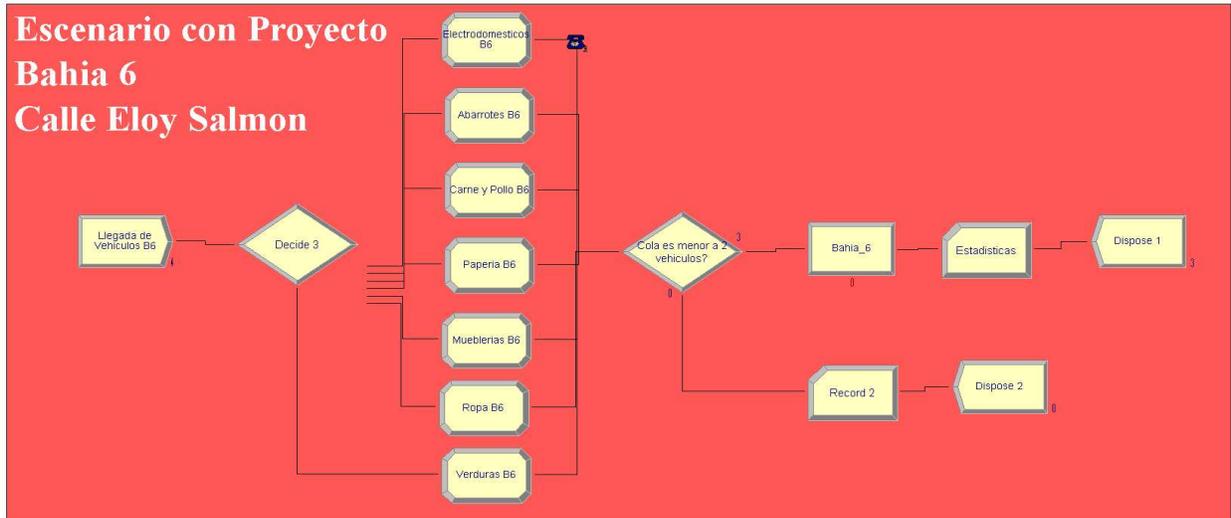
*Ilustración 5.7: Modelo de simulación con proyecto Bahía 3 calle Vicente Ochoa*



*Fuente: Elaboración con base en resultados del modelo de optimización en el programa Arena Simulator. 2024.*

El vehículo una vez ingresado a la calle o la bahía accede a un tiempo de servicio diferenciado de acuerdo al tipo de mercadería, en el caso del escenario sin proyecto este consta de una distribución exponencial en el cual no existe un control en el tiempo de descarga y puede variar por camión y por tipo de mercadería lo cual genera fatiga, congestión y uso de sobre capacidad de la calle.

**Ilustración 5.8:** Modelo de simulación con proyecto Bahía 6 calle Eloy Salmon



*Fuente:* Elaboración con base en resultados del modelo de optimización en el programa Arena Simulator. 2024.

En el caso del escenario con proyecto la distribución de probabilidad seleccionada consiste en una triangular al ser menos volátil a los resultados y más ordenada es que fue seleccionado según parámetros de estudios llevados a cabo en otros países donde el tiempo de descarga en el uso de bahías tiene un límite de 30 minutos.

Esto garantiza un uso apropiado de las bahías, evita el uso en sobrecapacidad de las calles seleccionadas y finalmente garantiza la eliminación de la congestión en estas calles, esto es posible siempre y cuando exista un cumplimiento de las normativas establecidas en el municipio y por efectos del proyecto.

### **5.6. Corridas de simulación**

Para determinar las corridas de simulación de la logística urbana en la Calle Gallardo, específicamente en las calles en las cuales se han realizado la simulación se ha tomado en cuenta los siguientes parámetros de replicación que se pueden observar en la figura siguiente:

*Ilustración 5.9: Parametros de replicacion del modelo de simulación*

The screenshot shows the 'Replication Parameters' dialog box in Arena Simulator. The 'Number of Replications' is set to 1. The 'Start Date and Time' is set to Wednesday, July 3, 2024, at 15:11:08. The 'Warm-up Period' is 0.0, and the 'Replication Length' is 7. The 'Hours Per Day' is 12. The 'Base Time Units' is set to Minutes. The 'Terminating Condition' field is empty. There are also checkboxes for 'Initialize Between Replications' (checked), 'Statistics' (checked), and 'System' (checked). The time units for 'Warm-up Period' and 'Replication Length' are set to 'Minutes' and 'Days' respectively.

**Fuente:** Parámetros con base en datos recolectados en la calle Gallardo en el programa Arena Simulator. 2024.

Las réplicas establecidas muestran una prueba en un lapso de 7 días o una semana de los cuales solo se toma en cuenta la operacionalización en un total de 12 horas por día de tal forma que las réplicas solo tomen en cuenta la operación desde las 8 de la mañana hasta las 8 de la noche.

Con todos los datos iniciales establecidos, la estructura de simulación realizada y con los parámetros de réplica configurados se realiza la ejecución de la simulación y de esta forma la obtención de resultados.

## 5.7. Análisis de Resultados

Los resultados presentados son un conjunto de datos obtenidos de la simulación de los escenarios con proyecto y sin proyecto, en las cuales se muestra la comparativa en las calles con y sin la implementación de bahías.

### 5.7.1. Resultados Simulación de Bahía 2 - Calle Vicente Ochoa

Los resultados de la bahía 2 en la calle Vicente Ochoa, muestran dos escenarios en primer lugar el escenario sin proyecto de los cuales se analiza la cantidad y el tiempo promedio y en segundo lugar el escenario con proyecto, de los cuales a continuación se analizan de la misma forma la cantidad de vehículos y los tiempos promedios más importantes:

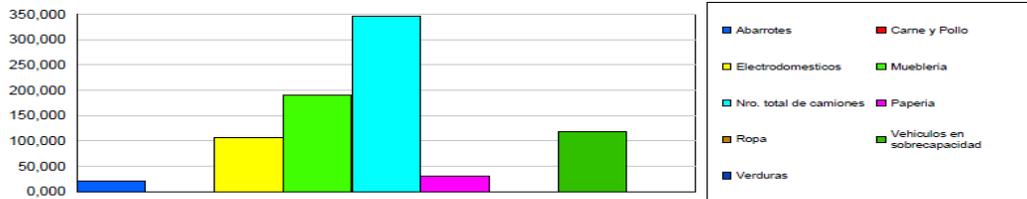
*Ilustración 5.10: Resultados de simulación logística urbana calle Vicente Ochoa*

#### Tally

Between	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Tiempo entre vehiculos	41.2184	(Insufficient)	0.06410566	394.59
Interval	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Tiempo en sistema	47.7894	3,94503	0.1664	262.01

#### Counter

Count	Value
Abarrotes	20.0000
Carne y Pollo	0.00
Electrodomesticos	106.00
Muebleria	190.00
Nro. total de camiones	346.00
Paperia	30.0000
Ropa	0.00
Vehiculos en sobrecapacidad	118.00
Verduras	0.00



#### Usage

None	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
T sis Abarrotes	40.1932	(Insufficient)	2.3091	165.41
T sis Electro	48.0582	(Insufficient)	0.3060	262.01
T sis muebleria	47.3343	(Insufficient)	0.5613	254.74
T sis paperia	54.7857	(Insufficient)	0.1664	214.79

*Fuente: Obtenido a partir de resultados procesados en el programa Arena Simulator, 2024.*

Según los resultados de la simulación de la **calle Vicente Ochoa (1)** en el cual el proyecto no se encuentra implementado, según los resultados han ingresado al sistema 464 vehículos, de los 118 vehículos no pudieron acceder a realizar funciones de descarga debido a sobrecapacidad y congestión, por otra parte 346 vehículos si accedieron al sistema de descarga en un total de 7 días de simulación, de los cuales 20 son abarrotes, 0 son carnicerías, 106 son electrodomésticos, 190 mueblerías, 30 paperías, 0 ropa y 0 de verduras.

Por otra parte, el tiempo promedio en sistema de un vehículo es de 47,78 minutos de los cuales 32,68 minutos son tiempo de valor agregado o en otras palabras el tiempo promedio de descarga de mercadería, finalmente el tiempo entre vehículos que no acceden al servicio es de 41,21 minutos.



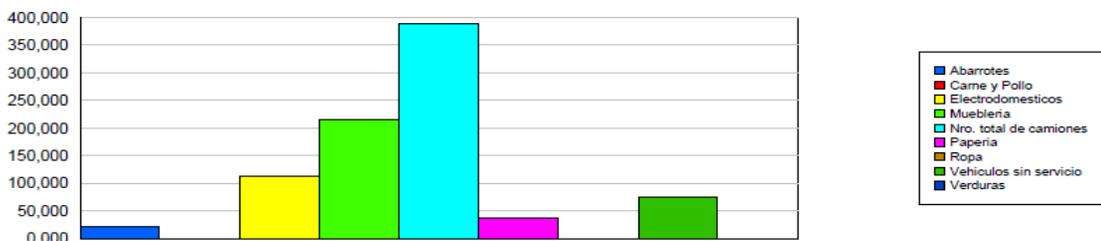
**Ilustración 5.11: Resultados de simulación logística urbana Bahía 2**

**Tally**

Between	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Tiempo entre vehiculos	64.0660	(Insufficient)	0.03101012	405.64
Interval	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Tiempo en sistema	27.5866	1,10617	10.3722	51.7573

**Counter**

Count	Value
Abarrotes	22.0000
Carne y Pollo	0.00
Electrodomesticos	113.00
Muebleria	216.00
Nro. total de camiones	389.00
Paperia	38.0000
Ropa	0.00
Vehiculos sin servicio	74.0000
Verduras	0.00



**Usage**

None	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
T sis Abarrotes	28.7213	(Insufficient)	16.9369	43.6451
T sis Electro	28.4564	(Insufficient)	15.6266	51.3098
T sis muebleria	28.3062	(Insufficient)	16.2260	51.7573
T sis paperia	20.2528	(Insufficient)	10.3722	41.9927

**Fuente:** Obtenido a partir de resultados procesados en el programa Arena Simulator, 2024.

Según los resultados de la simulación de la **Bahía 2 en la calle Vicente Ochoa (1)**, según los resultados han ingresado al sistema 463 vehículos, de los 74 vehículos no pudieron acceder a realizar funciones de descarga debido a sobrecapacidad y congestionamiento, por otra parte 389 vehículos si accedieron al sistema de descarga en un total de 7 días de simulación, de los cuales

22 son abarrotes, 0 son carnicerías, 113 son electrodomésticos, 216 mueblerías, 38 paperías, 0 ropa y 0 de verduras.

Por otra parte, el tiempo promedio en sistema de un vehículo es de 27,58 minutos de los cuales 17,39 minutos son tiempo de valor agregado o en otras palabras el tiempo promedio de descarga de mercadería, finalmente el tiempo entre vehículos que no acceden al servicio es de 64,06 minutos.

### ***5.7.2. Resultados Simulación de Bahía 3 - Calle Vicente Ochoa***

Los resultados de la bahía 3 en la calle Vicente Ochoa, muestran dos escenarios en primer lugar el escenario sin proyecto de los cuales se analiza la cantidad y el tiempo promedio y en segundo lugar el escenario con proyecto, de los cuales a continuación se analizan de la misma forma la cantidad de vehículos y los tiempos promedios más importantes:

**Ilustración 5.12: Resultados de simulación logística urbana calle Vicente Ochoa (2)**

**Tally**

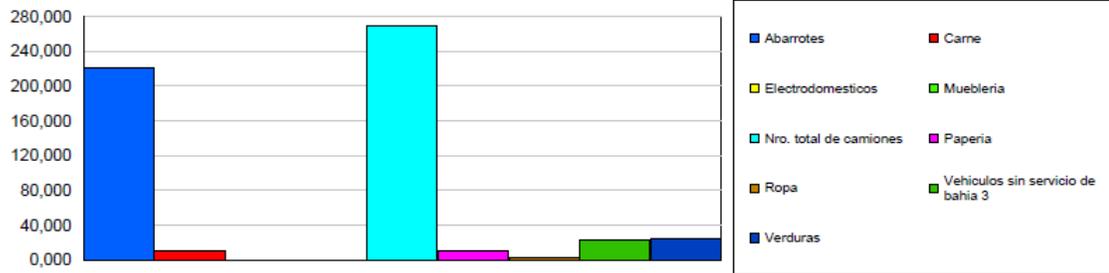
Between	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Tiempo entre vehiculos	172.21	(Insufficient)	0.4328	989.48

Interval	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Tiempo en sistema	40.0862	(Insufficient)	0.1248	294.76

**Counter**

Count	Value
Abarrotes	221.00
Carne	11.0000
Electrodomesticos	0.00
Muebleria	0.00
Nro. total de camiones	269.00
Paperia	10.0000
Ropa	3.0000
Vehiculos sin servicio de bahia 3	23.0000
Verduras	24.0000



**Usage**

None	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
T sis abarro	42.9196	(Insufficient)	0.1248	294.76
T sis carne	29.5774	(Insufficient)	0.3419	103.62
T sis pape	40.7464	(Insufficient)	5.1141	146.32
T sis ropa	7.9650	(Insufficient)	2.4885	11.7393
T sis verdura	22.5518	(Insufficient)	0.7580	114.47

**Fuente:** Obtenido a partir de resultados procesados en el programa Arena Simulator, 2024.

Según los resultados de la simulación de la **calle Vicente Ochoa (2)** en el cual el proyecto no se encuentra implementado, según los resultados han ingresado al sistema 292 vehículos, de los 23 vehículos no pudieron acceder a realizar funciones de descarga debido a sobrecapacidad y congestionamiento, por otra parte 269 vehículos si accedieron al sistema de

descarga en un total de 7 días de simulación, de los cuales 221 son abarrotes, 11 son carnicerías, 0 son electrodomésticos, 0 mueblerías, 10 paperías, 3 ropa y 24 de verduras.

Por otra parte, el tiempo promedio en sistema de un vehículo es de 40,08 minutos de los cuales 35,57 minutos son tiempo de valor agregado o en otras palabras el tiempo promedio de descarga de mercadería, finalmente el tiempo entre vehículos que no acceden al servicio es de 172,21 minutos.



**Ilustración 5.13: Resultados de simulación logística urbana calle Bahía 3**

**Tally**

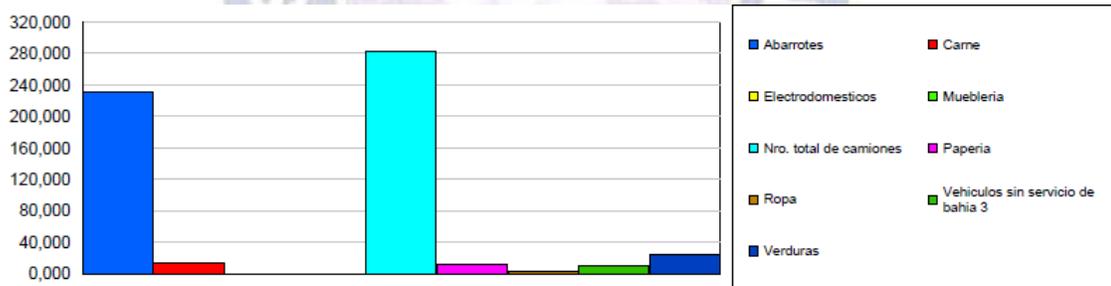
Between	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Tiempo entre vehiculos	398.77	(Insufficient)	0.4328	2097.86

Interval	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Tiempo en sistema	22.9017	(Insufficient)	5.5465	47.5276

**Counter**

Count	Value
Abarrotes	231.00
Came	13.0000
Electrodomesticos	0.00
Muebleria	0.00
Nro. total de camiones	283.00
Paperia	11.0000
Ropa	3.0000
Vehiculos sin servicio de bahia 3	10.0000
Verduras	25.0000



**Usage**

None	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
T sis abarro	24.7077	(Insufficient)	15.5393	47.5276
T sis came	19.7943	(Insufficient)	11.7310	37.1897
T sis pape	18.4410	(Insufficient)	12.0212	35.0469
T sis ropa	8.6194	(Insufficient)	6.9578	11.7885
T sis verdura	11.5067	(Insufficient)	5.5465	26.8174

**Fuente:** Obtenido a partir de resultados procesados en el programa Arena Simulator, 2024.

Según los resultados de la simulación de la Bahía 3 en la calle Vicente Ochoa (2), según los resultados han ingresado al sistema 293 vehículos, de los 10 vehículos no pudieron acceder a realizar funciones de descarga debido a sobrecapacidad y congestión, por otra parte 283

vehículos si accedieron al sistema de descarga en un total de 7 días de simulación, de los cuales 231 son abarrotes, 13 son carnicerías, 0 son electrodomésticos, 0 mueblerías, 11 paperías, 3 ropa y 25 de verduras.

Por otra parte, el tiempo promedio en sistema de un vehículo es de 22,90 minutos de los cuales 19,11 minutos son tiempo de valor agregado o en otras palabras el tiempo promedio de descarga de mercadería, finalmente el tiempo entre vehículos que no acceden al servicio es de 398,77 minutos.

### **5.7.3. Resultados Simulación de Bahía 6 - Calle Eloy Salmon**

Los resultados de la bahía 6 en la calle Eloy Salmon, muestran dos escenarios en primer lugar el escenario sin proyecto de los cuales se analiza la cantidad y el tiempo promedio y en segundo lugar el escenario con proyecto, de los cuales a continuación se analizan de la misma forma la cantidad de vehículos y los tiempos promedios más importantes:

**Ilustración 5.14:** Resultados de simulación logística urbana calle Eloy Salmon

**Tally**

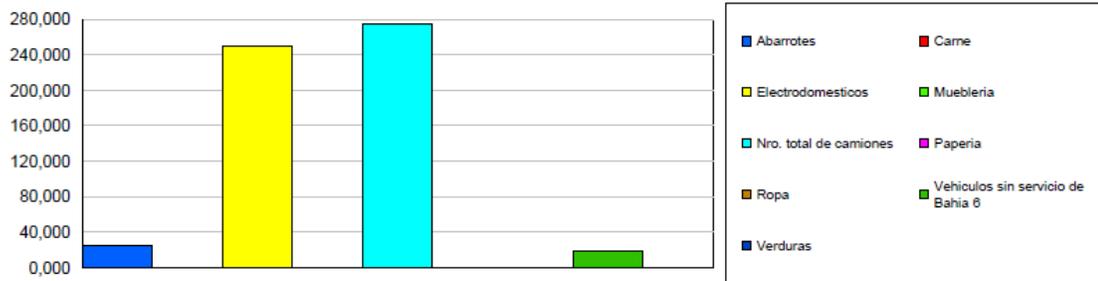
Between	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Tiempo entre vehiculos no atendidos	211.74	(Insufficient)	0.4328	1497.73

Interval	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Tiempo en sistema	36.5939	(Insufficient)	0.1110	262.01

**Counter**

Count	Value
Abarrotes	25.0000
Carne	0.00
Electrodomesticos	249.00
Muebleria	0.00
Nro. total de camiones	274.00
Paperia	0.00
Ropa	0.00
Vehiculos sin servicio de Bahía 6	18.0000
Verduras	0.00



**Usage**

None	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
T sis Abarro	39.5558	(Insufficient)	1.3644	206.04
T sis Electro	36.2965	(Insufficient)	0.1110	262.01

**Fuente:** Obtenido a partir de resultados procesados en el programa Arena Simulator, 2024.

Según los resultados de la simulación de la **calle Eloy Salmon** en el cual el proyecto no se encuentra implementado, según los resultados han ingresado al sistema 292 vehículos, de los 18 vehículos no pudieron acceder a realizar funciones de descarga debido a sobrecapacidad y congestión, por otra parte 274 vehículos si accedieron al sistema de descarga en un total

de 7 días de simulación, de los cuales 25 son abarrotes, 0 son carnicerías, 249 son electrodomésticos, 0 mueblerías, 0 paperías, 0 ropa y 0 de verduras.

Por otra parte, el tiempo promedio en sistema de un vehículo es de 36,59 minutos de los cuales 33,46 minutos son tiempo de valor agregado o en otras palabras el tiempo promedio de descarga de mercadería, finalmente el tiempo entre vehículos que no acceden al servicio es de 211,74 minutos.



**Ilustración 5.15: Resultados de simulación logística urbana Bahía 6**

**Tally**

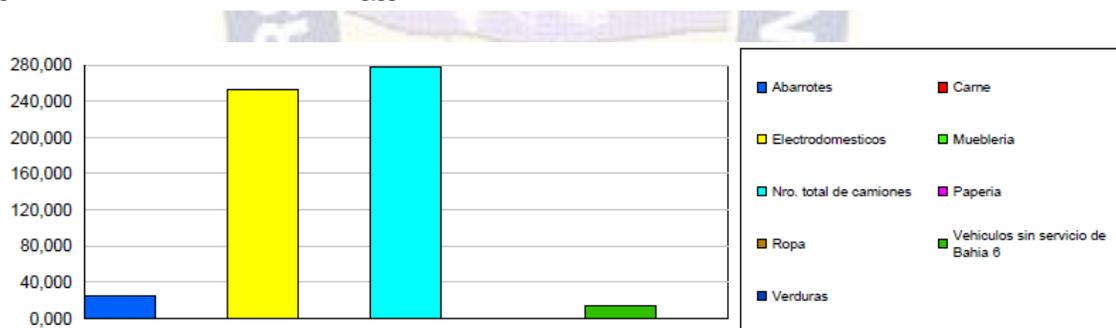
Between	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Tiempo entre vehiculos no atendidos	276.07	(Insufficient)	0.1322	1592.92

Interval	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Tiempo en sistema	25.9882	(Insufficient)	15.5393	49.3228

**Counter**

Count	Value
Abarrotes	25.0000
Carne	0.00
Electrodomesticos	253.00
Muebleria	0.00
Nro. total de camiones	278.00
Paperia	0.00
Ropa	0.00
Vehiculos sin servicio de Bahía 6	14.0000
Verduras	0.00



**Usage**

None	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
T sis Abarro	27.3111	(Insufficient)	16.7708	47.2230
T sis Electro	25.8574	(Insufficient)	15.5393	49.3228

**Fuente:** Obtenido a partir de resultados procesados en el programa Arena Simulator, 2024.

Según los resultados de la simulación de la **Bahía 6 en la calle Eloy Salmon**, según los resultados han ingresado al sistema 292 vehículos, de los 14 vehículos no pudieron acceder a realizar funciones de descarga debido a sobrecapacidad y congestionamiento, por otra parte 278 vehículos si accedieron al sistema de descarga en un total de 7 días de simulación, de los cuales

25 son abarrotes, 0 son carnicerías, 253 son electrodomésticos, 0 mueblerías, 0 paperías, 0 ropa y 0 de verduras.

Por otra parte, el tiempo promedio en sistema de un vehículo es de 25,98 minutos de los cuales 20,78 minutos son tiempo de valor agregado o en otras palabras el tiempo promedio de descarga de mercadería, finalmente el tiempo entre vehículos que no acceden al servicio es de 276,07 minutos.



### 5.8. Comparativa de simulación con y sin proyectos

En esta sección, se analiza los resultados obtenidos en función a las simulaciones realizadas bajo las mismas condiciones de entrada que se mantienen invariables, pero con cambios en aquellas variables controlables como ser los tiempos de servicio y la capacidad del sistema para la carga y descarga de productos. En ese sentido se presenta las tablas comparativas de los resultados más importantes obtenidos en la simulación que están sujetos a interpretación de acuerdo a las necesidades del proyecto, en este sentido se demuestra mejoras sustanciales en la simulación de 7 días en la logística urbana de la calle Gallardo, como parte del municipio de La Paz, primero se presenta la simulación de la bahía 2 que se encuentra en la Calle Vicente Ochoa, seguido de la Bahía 3 que también está presente en la calle Vicente Ochoa y por último la comparativa de simulaciones en la calle Eloy Salmon.

**Tabla 5.3:** Comparación de resultados de simulación Bahía 2 – Calle Vicente Ochoa

BAHIA SELECCIONADA	RESULTADOS	SIN PROYECTO	CON PROYECTO	PORCENTAJE MEJORADO
Bahia 2 - C. Vicente Ochoa	Vehiculos totales (Vehiculos/Semana)	464	463	0%
	Vehiculos con servicio (Vehiculos/Semana)	346	389	11%
	Vehiculos sin servicio (Vehiculos/Semana)	118	74	37%
	Tiempo en sistema	47,78	27,58	42%
	Tiempo de servicio	32,68	17,39	47%
	Tiempo de espera	15,1	10,19	33%
	Tiempo entre vehiculos no atendidos	41,21	64,06	36%

**Fuente:** Elaboración con base en resultados de salida del modelo de simulación en el programa Arena Simulator, 2024.

La cantidad de vehículos ingresados en la calle Vicente Ochoa donde se propone la instalación de la bahía 2 se mantiene invariables, los vehículos servidos tienen una mejora del 11% semanal, mientras tanto que los vehículos sin acceso al servicio denotan una mejora del 37%, se observa también que el tiempo en el sistema ha reducido en aproximadamente 20 minutos en promedio, donde el tiempo de descarga pasa de 32,68 minutos a 17,39 minutos una mejora del 47%, y en el caso de los vehículos que por razones de saturación tiene una mejora del 36% esto significa que hay más vehículos que realizan sus funciones de descarga de mercadería con la implementación de las bahías de carga y descarga.

**Tabla 5.4:** Comparación de resultados de simulación Bahía 3 – Calle Vicente Ochoa

BAHIA SELECCIONADA	RESULTADOS	SIN PROYECTO	CON PROYECTO	PORCENTAJE MEJORADO
Bahia 3 - C. Vicente Ochoa	Vehiculos totales (Vehiculos/Semana)	292	293	0%
	Vehiculos con servicio (Vehiculos/Semana)	269	283	5%
	Vehiculos sin servicio (Vehiculos/Semana)	23	10	57%
	Tiempo en sistema	40,08	22,9	43%
	Tiempo de servicio	35,57	19,11	46%
	Tiempo de espera	4,51	3,79	16%
	Tiempo entre vehiculos no atendidos	172,21	398,77	57%

**Fuente:** Elaboración con base en resultados de salida del modelo de simulación en el programa Arena Simulator, 2024.

La calle Vicente Ochoa cruzando la calle Gallardo, también cuenta con una bahía, la cual respecto a los vehículos que ingresan a la zona se mantiene invariable, por otra parte, la cantidad de vehículos atendidos mejoro en un 5% semanalmente, reduciendo de 23

vehículos a 10 vehículos de descarga sin algún tipo de servicio, por otra parte se observa una mejora del tiempo en sistema de 40,08 minutos a 22,9 minutos, donde el tiempo de servicio pasa de 35 minutos a solo 19 minutos una mejora del 46% por otra parte el tiempo entre vehículos no atendidos tuvo una mejora del 57% demostrando que existen más vehículos acceden a realizar sus funciones de descarga de mercadería.

**Tabla 5.5:** Comparación de resultados de simulación Bahía 6 – Calle Eloy Salmon

BAHIA SELECCIONADA	RESULTADOS	SIN PROYECTO	CON PROYECTO	PORCENTAJE MEJORADO
Bahia 6 - C. Eloy Salmon	Vehiculos totales (Vehiculos/Semana)	292	292	0%
	Vehiculos con servicio (Vehiculos/Semana)	274	278	1%
	Vehiculos sin servicio (Vehiculos/Semana)	18	14	22%
	Tiempo en sistema	36,59	25,98	29%
	Tiempo de servicio	33,46	20,78	38%
	Tiempo de espera	3,13	5,2	-66%
	Tiempo entre vehiculos no atendidos	211,74	276,07	23%

**Fuente:** Elaboración con base en resultados de salida del modelo de simulación en el programa Arena Simulator, 2024.

La calle Eloy Salmon mantiene invariable los vehículos totales en el sistema, de los cuales los vehículos con mejoras en el servicio pasan de 274 a 278 vehículos semanalmente, el tiempo de servicio reduce de 33,46 minutos a 20,78 minutos, el tiempo de espera por otro lado muestra un incremento del 3,13 minutos a 5,2 minutos esto debido a que la capacidad de las bahías de 2 vehículos a la vez es inferior a la capacidad de toda la calle de 4 vehículos al mismo tiempo, pero aunque este valor de espera es superior se

garantiza que el ordenamiento urbano sea realidad y que no exista congestión en estas calles, por último el tiempo entre vehículos no atendidos pasa de 211,74 a 276,04 demostrando que hay más vehículos que acceden al servicio y menos vehículos sin ser atendidos.

### 5.9. Ranking Índice de Desempeño Logístico

El índice de desempeño logístico según el banco mundial es aquella que mide la facilidad para establecer lazos confiables en la cadena de suministro y los factores estructurales que permiten hacerlo, como la calidad de los servicios de logística, la infraestructura relacionada con el comercio y el transporte, y los controles fronterizos; de acuerdo al BM la siguiente lista muestra el ranking del IDL en América Latina y el Caribe.

*Tabla 5.6: Ranking Índice de Desempeño Logístico América Latina y el Caribe*

RANKING	PAISES	INDICE DESEMPEÑO LOGISTICO
1	Brasil	3,2
2	Panamá	3,1
3	Uruguay	3
4	Perú	3
5	Chile	3
6	México	2,9
7	Honduras	2,9
8	Costa Rica	2,9
9	Colombia	2,9

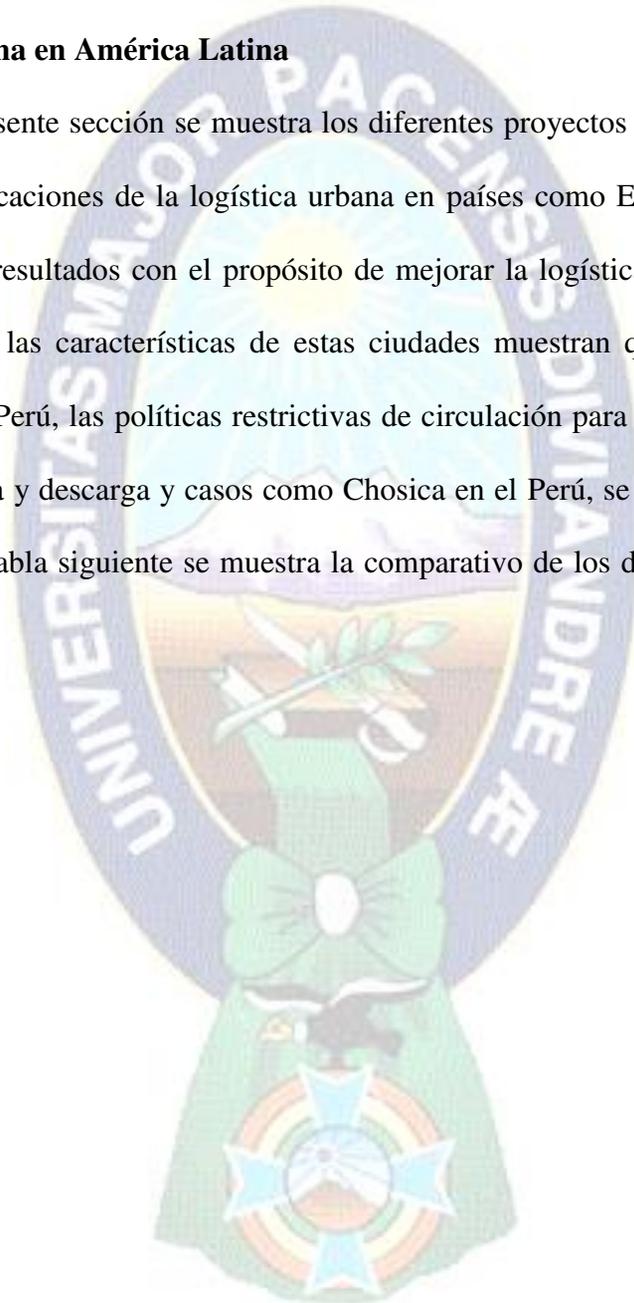
10	Antigua y Barbuda	2,9
11	Ecuador	2,88
12	Argentina	2,8
13	El Salvador	2,7
14	Paraguay	2,7
15	Bahamas	2,7
16	Guatemala	2,6
17	República Dominicana	2,6
18	Trinidad y Tobago	2,5
19	Nicaragua	2,5
20	Jamaica	2,5
21	Granada	2,5
22	Guyana	2,4
23	Bolivia	2,4
24	Venezuela	2,3
25	Cuba	2,2
26	Haití	2,1

**Fuente:** Elaboración con base en el banco de datos del Banco Mundial. 2024.

Según el ranking de los 26 países evaluados en América Latina y el Caribe Bolivia ocupa el puesto 23 con uno de los índices más bajos de la región a comparación de los demás países estas cifras resultan preocupantes debido a que no solo reflejan la logística externa sino el desempeño en la logística interna, es por ello que el proyecto llevado a cabo tiene como fin mejorar estos índices a través de metodologías de logística urbana propuestas y con resultados favorables cambiar las condiciones bajo el paradigma de un mejor desempeño logística para Bolivia

### **5.10. Comparativa Logística Urbana en América Latina**

Para finalizar el estudio en la presente sección se muestra los diferentes proyectos y aplicaciones llevados en América Latina los cuales, muestran un conjunto de aplicaciones de la logística urbana en países como Ecuador, Perú, Colombia y Chile los cuales mediante diferentes enfoques presentan resultados con el propósito de mejorar la logística en centros urbanos y comerciales de sus respectivas ciudades, cabe destacar que las características de estas ciudades muestran que en casos como Chile la existencia de Kioscos son mínimas a comparación de Perú, las políticas restrictivas de circulación para Chile específicamente no permiten la libre parada de vehículos que no sean de carga y descarga y casos como Chosica en el Perú, se proponen políticas para la implementación de zonas para la logística urbana, en la tabla siguiente se muestra la comparativo de los diferentes estudios llevados a cabo en estos países:



**Tabla 5.7:** Comparación con otros estudios realizados en Latino América sobre Logística Urbana

Título	País	Ciudad	Zona	Perfil Logístico	Inventario de tiendas	Modelo de Optimización	Estudio de Calles Influentes	Simulación	Bahías Propuestas o implementadas	Costos y viabilidad (\$us)
Diseño de un modelo piloto de Logística Urbana en el municipio de La Paz	Bolivia	La Paz	Zona Norte	Si	9.386	Si	Si	Si	3	5.670
Urban Logistics Solutions in Latin America: A Study of a Modern Commercially Dense Neighborhood in the City of Quito-Ecuador	Ecuador	Quito	La Mariscal	Si	Porcentual	Si	No	No	98	N/A
Análisis de la Logística Urbana en La Mariscal de Quito	Ecuador	Quito	La Mariscal	Si	1.536	Si	No	No	N/A	N/A
Caracterización de la Logística Urbana en la zona de Megaplaza y propuesta de Políticas Públicas	Peru	Lima	Megaplaza	Si	958	No	No	No	N/A	N/A
Analysis of Urban Logistics Measures in an HORECA Intensive Area	Colombia	Bogota	Chapinero	Si	399	No	No	No	N/A	N/A
Impacto de la infraestructura en las operaciones logísticas Gestión de carga y entrega de mercancías	Peru	Lima	Chosica	Si	53	No	No	No	Políticas	N/A
Método de Localización de bahías de carga y descarga: Aplicación al plan integral de movilidad de Santiago Centro	Chile	Santiago	Centro historico de Santiago	Si	1.032	Si	No	No	60	N/A

**Fuente:** Elaboración con base en estudios de logística urbana realizadas en America Latina con base a la metodología MIT Megacity Lab, 2024.

Como se observa el presente estudio llevado a cabo en La Paz Bolivia, muestra el total de actividades llevadas a cabo para la óptima ejecución del proyecto los cuales son comparados con otras ciudades, hay estudios que no llevan a cabo modelos de simulación u optimización y destacan más por la aplicación de la metodología del Megacity Labs del MIT en el cual se estructuran los perfiles logísticos de cada una de estas ciudades de acuerdo a la zona considerada en el estudio.

En ese sentido el estudio llevado a cabo en la ciudad de La Paz, es un referente metodológico para el estudio y la mejora de la logística urbana en la ciudad de La Paz, del cual de acuerdo a los resultados la implementación de estas bahías resulta altamente económico con una correcta ubicación de acuerdo a la optimización de rutas y distancias, y con las medidas correctas de control en el

uso de las mismas como en la circulación vial es posible mejorar el tráfico vehicular y eliminar la congestión vehicular en una de las zonas comerciales más importante de la ciudad de La Paz.



## Capítulo 6 : Análisis Económico

### 6.1. Introducción

El análisis económico empleado en el capítulo 6 comprende un enfoque de análisis bajo una estructura de costos en el cual se hace uso de 3 indicadores financieros: Valor Actual Neto de Costos (VANc), Costo Anual Equivalente (CAE) y por último Indicador Costo Eficiencia (ICE) los cuales muestran resultados precisos sobre el impacto del proyecto de instalación de bahías en función a costos que afectan tanto su instalación como la mejora de la planificación vial y urbana en la zona.

Según GIZ-Ricardo (2022), señala que los costos de inversión para la instalación de bahías, no son altos y están asociados en adquisición y aplicación de pintura de tráfico, producción y aplicación de señalización y finalmente al rebaje de bordillos adyacentes, como también el recorte de banquetas, esto implica bajos costos iniciales de inversión en cortos tiempos.

Por otro lado, para estimar los costos asociados a los problemas de la logística urbana se ha empleado un estudio del BID, relacionado a la congestión urbana en América Latina y el Caribe en el cual se encuentra un amplio estudio de los costos de congestión urbana en las principales ciudades en la región, por lo cual mediante una estimación por regresión lineal se estiman los costos de congestión en la ciudad de La Paz en función a la población urbana determinando de esta forma los costos de congestión para La Paz y específicamente en la macro distrito Max Paredes.

Ya concluyendo el estudio se realiza una comparativa de los resultados obtenidos en ambos escenarios mediante los indicadores financieros seleccionados, demostrando de esta forma el efecto de la implementación de bahías de carga y descarga en la zona.

## 6.2. Inversiones

Las inversiones estimadas implican un bajo costo en mano de obra materiales y temas administrativos en la tabla siguiente se muestran todos estos costos desglosados.

**Tabla 6.1:** Costos de Inversión en bahías de carga y descarga

Descripción	Ubicación	Mano de Obra			Materiales			Administrativos	Costo de Instalación
		Pintado	Modificación de Acera	Instalación de señalética	Pintura	Señalética	Cemento+Arena +Agua	Permisos de la gobernación	
<b>Bahía 1</b>	57-A	1.100	3.720	1.600	400	2.280	1.800	1.140	12.040
<b>Bahía 2</b>	54-D	1.100	4.185	1.600	400	2.565	1.800	1.283	12.933
<b>Bahía 3</b>	58-D	1.100	4.185	1.600	400	2.565	1.800	1.283	12.933
<b>Bahía 4</b>	54-C	1.100	3.720	1.600	400	2.280	1.800	1.140	12.040
<b>Bahía 5</b>	58-B	1.100	3.720	1.600	400	2.280	1.800	1.140	12.040
<b>Bahía 6</b>	54-B	1.100	4.650	1.600	400	2.850	1.800	1.425	13.825
<b>Bahía 7</b>	59-A	1.100	4.185	1.600	400	2.280	1.800	1.283	12.648

**Fuente:** Elaboración con base en datos estimados en base a la guía técnica extendida para bahías de carga y descarga, 2022.

**Tabla 6.2:** Resumen de costos totales de inversión en bahías seleccionadas

Descripción	Cantidad	Valor (Bs.)	Monto (Bs.)
Bahia 2	1	12.933	12.933
Bahia 3	1	12.933	12.933
Bahia 6	1	13.825	13.825
<b>TOTAL</b>			<b>39.690</b>

*Fuente:* Elaboración con base en datos estimados a la guía técnica extendida para bahías de carga y descarga, 2022.

### 6.3. Costos Operativos y mantenimiento

La implementación de bahías a largo plazo implica una gestión del mantenimiento de estos, para lo cual se estiman los costos de mantenimiento en los 5 años de evaluación.

**Tabla 6.3:** Costo de Mantenimiento de bahías de carga y descarga

Descripción	Frecuencia	Ubicación	Mano de Obra		Materiales		Administrativos	Costo de Mantenimiento (Bs.)
			Pintado	Refacción	Pintura	Materiales	Permisos de la gobernación	
<b>Bahia 1</b>	1	57-A	1.100	3.720	400	1.800	1.140	8.160
<b>Bahia 2</b>	1	54-D	1.100	4.185	400	1.800	1.283	8.768
<b>Bahia 3</b>	1	58-D	1.100	4.185	400	1.800	1.283	8.768
<b>Bahia 4</b>	1	54-C	1.100	3.720	400	1.800	1.140	8.160
<b>Bahia 5</b>	1	58-B	1.100	3.720	400	1.800	1.140	8.160
<b>Bahia 6</b>	1	54-B	1.100	4.650	400	1.800	1.425	9.375
<b>Bahia 7</b>	1	59-A	1.100	4.185	400	1.800	1.283	8.768

*Fuente:* Elaboración con base en datos estimados a la guía técnica extendida para bahías de carga y descarga, 2022.

#### 6.4. Costos de congestión Urbana

Los costos de congestión urbana son obtenidos a partir de un estudio del BID realizado en América Latina y el Caribe a continuación se sintetizan los costos de congestión en las ciudades principales de la región.

*Tabla 6.4: Costos de Congestión Urbana en America Latina y el Caribe*

Ciudad	Costo congestion total (\$us)	Costos congestion por persona (\$us/Persona)	Costo congestion diaria (\$us/Dia)	Poblacion
Bogota	612.000.000	57	1.700.000	10.780.000
Buenos Aires	1.691.000.000	112	4.600.000	15.060.000
Lima	582.000.000	55	1.600.000	10.550.000
Ciudad de Mexico	1.168.000.000	54	3.200.000	21.670.000
Montevideo	310.000.000	177	800.000	1.740.000
Rio de Janeiro	943.000.000	77	2.600.000	11.750.000
San Salvador	25.000.000	23	100.000	1.100.000
Santiago	1.046.000.000	156	2.900.000	6.720.000
Santo Domingo	180.000.000	56	500.000	3.240.000
Sao Paulo	2.124.000.000	97	5.800.000	21.850.000

*Fuente:* Elaboración con base en datos de Congestión urbana en America Latina y el Caribe, BID, 2021.

Obtenidos datos de costos de congestión urbana, se obtiene el modelo econométrico de costos de congestión en función a la población urbana de la ciudad, obteniéndose así la siguiente expresión.

$$Y(\$us) = 76.536.072 + 75,77 * X(Poblacion)$$

Proyección de Población en La Paz para 2022: 956.732 Habitantes

De acuerdo a la regresión econométrica, el costo de congestión total para la ciudad de La Paz es igual a:

*Costos de Congestión Anual = 149.034.113 \$us*

*Costos de Congestión por Persona = 156 \$us*

*Costos de Congestión por día = 408.313  $\frac{\$us}{día}$*

Los resultados obtenidos muestran que el costo de congestión para la ciudad de La Paz es equivalente a 149.034.113 \$us anuales, estos mismos son utilizados para la proyección del flujo de caja con y sin proyecto en un escenario donde se toma en cuenta solo la Max Paredes.

## 6.5. Flujo de costos

*Tabla 6.5: Flujo de Costos Sin Proyecto*

<b>FLUJO DE COSTOS SIN PROYECTO</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>
Inversión	0				
Costos Mantenimiento		0	0	0	0
Costos de congestionamiento		218.694.180	224.808.505	231.093.776	237.554.773
<b>Flujo de costos</b>	<b>0</b>	<b>218.694.180</b>	<b>224.808.505</b>	<b>231.093.776</b>	<b>237.554.773</b>

*Fuente: Elaboración con base en resultados calculados de costos instalación, mantenimiento y congestionamiento*

**Tabla 6.6:** Flujo de Costos Con Proyecto.

<b>FLUJO DE COSTOS CON PROYECTO</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>
Inversión Mano de Obra	21.120				
Inversión Materiales	14.580				
Inversión C. Administrativos	3.990				
<b>Inversión Total</b>	<b>39.690</b>				
Costo Mano de Obra		16.320	16.321	16.322	16.323
Costo de Materiales		6.600	6.601	6.602	6.603
Costos Administrativos		3.990	3.991	3.992	3.993
<b>Costos Mantenimiento</b>		<b>26.910</b>	<b>26.913</b>	<b>26.916</b>	<b>26.919</b>
<b>Costos de congestionamiento</b>		<b>207.759.471</b>	<b>215.816.165</b>	<b>224.160.963</b>	<b>232.803.677</b>
<b>Flujo de costos</b>	<b>39.690</b>	<b>207.786.381</b>	<b>215.843.078</b>	<b>224.187.879</b>	<b>232.830.596</b>

*Fuente:* Elaboración con base en resultados calculados de costos instalación, mantenimiento y congestionamiento

#### 6.6. Costo Anual Equivalente (CAE)

El costo anual equivalente es un indicador que estima anualmente las pérdidas monetarias que se producen por temas de congestión estratificados en la zona Max Paredes, este cálculo se realiza mediante la siguiente fórmula.

$$CAE = VANc * \left[ \frac{i * (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \right]$$

Sea:

$$Tasa\ de\ Descuento\ Social = 12,84\%$$

$$VANc\ (Sin\ Proyecto) = 677.733.500\ (Bs.)$$

$$VANc\ (Con\ Proyecto) = 653.344.997\ (Bs.)$$

#### Cálculo de CAE sin proyecto

$$CAE\ (Sin\ Proyecto) = 677.733.500 * \left[ \frac{0,1284 * (1 + 0,1284)^5}{(1 + 0,1284)^5 - 1} \right]$$

$$CAE (\text{Sin Proyecto}) = 227.093.042 (\text{Bs.})$$

Cálculo de CAE con proyecto

$$CAE (\text{Con Proyecto}) = 653.344.997 * \left[ \frac{0,1284 * (1 + 0,1284)^5}{(1 + 0,1284)^5 - 1} \right]$$

$$CAE (\text{Con Proyecto}) = 163.336.249 (\text{Bs.})$$

### 6.7. Indicador Costo Eficiencia (ICE)

$$ICE = \frac{CAE}{N^{\circ} \text{ PROM. BENEFL.}}$$

Tomando como base la población concentrada en el macrodistrito Max Paredes se tiene el Indicador Costo Eficiencia.

#### ICE Sin Proyecto

$$ICE (\text{Sin Proyecto}) = \frac{227.093.042}{201.423}$$

$$ICE (\text{Sin Proyecto}) = 1127,44 \left( \frac{\text{Bs}}{\text{Persona}} \right)$$

#### ICE Con Proyecto

$$ICE (\text{Con Proyecto}) = \frac{163.336.249}{201.423}$$

$$ICE (\text{Con Proyecto}) = 810,91 \left( \frac{\text{Bs}}{\text{Persona}} \right)$$

## 6.8. Resultados

Los resultados obtenidos muestran la comparativa de montos actuales bajo 3 diferentes enfoques estos son presentados en una tabla de forma simplificada,

*Tabla 6.7: Resumen de costos totales de inversión en bahías seleccionadas*

<b>Indicador Financiero</b>	<b>Sin Proyecto</b>	<b>Con Proyecto</b>
VANc	677.733.500	653.344.997
CAE	227.093.042	163.336.249
ICE	1.127	811

*Fuente: Elaboración con base en resultados de flujos de costos con y sin proyecto.*

Como se observa en la tabla anterior existe una reducción significativa bajo los 3 indicadores financieros, demostrando la factibilidad del proyecto y su viabilidad en la implementación de estas bahías en la zona estudiada.

## Capítulo 7: Conclusiones y Recomendaciones

### 6.1. Conclusiones

La caracterización del perfil logístico del municipio de La Paz ha sido realizada con un enfoque exhaustivo sobre las principales zonas comerciales, destacando los macro distritos Centro y Max Paredes. Este análisis detallado incluyó la identificación y segmentación de la infraestructura comercial, la distribución porcentual de tiendas y negocios, así como los patrones de movilidad de mercancías. Los resultados revelan una concentración significativa de actividades comerciales en estas áreas, lo que subraya la necesidad imperiosa de implementar un modelo logístico que optimice la eficiencia operativa y mitigue la congestión vehicular en dichas zonas. El perfil logístico obtenido constituye una base sólida para el desarrollo de modelos de optimización y simulación, orientados a mejorar la distribución urbana de mercancías.

Con base en los datos arrojados por el perfil logístico, se procedió a la construcción de un modelo de programación lineal destinado a optimizar la localización de bahías logísticas en el municipio. Este modelo se fundamenta en el análisis de variables críticas como la densidad comercial, las distancias entre las tiendas y las bahías, así como la carga vehicular. La formulación matemática del modelo permite la minimización de las distancias recorridas por los vehículos de distribución y maximiza la cobertura de las bahías, garantizando así una operación logística más eficiente. El modelo de programación lineal desarrollado ofrece un marco cuantitativo robusto para la toma de decisiones estratégicas en la planificación urbana, alineando los objetivos de eficiencia operativa con las necesidades de movilidad y distribución en la ciudad.

La evaluación de la eficiencia de las bahías logísticas en La Paz se llevó a cabo mediante un modelo de simulación implementado en el software Arena®. Este modelo permitió replicar diversos escenarios operativos, evaluando el impacto de las bahías en la distribución de mercancías y en la congestión vehicular. Los resultados de la simulación indican que la implementación de bahías, ubicadas estratégicamente, conlleva una mejora sustancial en la eficiencia de las operaciones logísticas. Se observó una notable reducción en los tiempos de espera de los vehículos de carga, así como una disminución significativa en la congestión vehicular en las áreas evaluadas. La comparativa entre escenarios con y sin la implementación de las bahías logísticas refuerza la validez del modelo propuesto y su capacidad para optimizar la logística urbana en La Paz.

La factibilidad económica del proyecto fue analizada considerando los costos de implementación, operación y mantenimiento de las bahías logísticas, así como los beneficios económicos derivados de la mejora en la distribución urbana de mercancías. El análisis económico demuestra que la inversión en infraestructura logística es viable y que los retornos esperados en términos de reducción de costos logísticos y mejora en la eficiencia operativa son significativos. La implementación del proyecto no solo contribuirá a una mayor competitividad de las empresas locales, al reducir los tiempos de entrega y los costos asociados, sino que también mejorará la calidad de vida de los habitantes al reducir la congestión y la contaminación vehicular. En conclusión, el proyecto es económicamente sostenible y estratégicamente alineado con los objetivos de desarrollo urbano del municipio de La Paz.

La metodología del Kilómetro cuadrado propuesta por el MIT es una metodología válida y probada para recopilar información sobre el transporte de mercancías dentro de las

ciudades. Tiene un gran impacto cuando se habla de logística urbana y ayuda a comprender lo que está sucediendo dentro del área seleccionada. Sin embargo, la metodología presenta algunas oportunidades de mejora, como la forma en que se recopilan los datos o cómo estos datos se transforman en información valiosa y comparable disponible para todos los interesados.

Se ha visto que dentro la zona urbana de La Paz, uno de los mayores flujos peatonales, comerciales y vehiculares se concentra en la Max Paredes para lo cual se ha desplazado un grupo de personas que han recopilado y construido el perfil logístico de toda esta zona dando como resultados la alta presencia de negocios en venta de abarrotes y alimentos, seguido por tiendas de ropa y otro tipo de artículos, a este perfil se destaca el alto embotellamiento entre la 8 AM y 3 PM, que da como efecto costos por congestión, mediante este análisis se pudo evidenciar también el uso de vehículos de descarga siendo los 3 más usados el taxi particular, los camiones de carga y los minibuses.

Generado el perfil logístico de la zona Max Paredes, se ha aplicado la metodología de Analytic Hierarchy Process (AHP) o Proceso Analítico Jerárquico el cual mediante ciertos factores se ha determinado que dentro el kilómetro cuadrado la calle más influyente se encuentra en la calle Gallardo, para el cual se propone un modelo de Programación Lineal binaria en dos fases para la optimización e instalación de bahías de carga y descarga en la zona.

Los resultados obtenidos en la Calle Gallardo siguen la metodología de la construcción del perfil logístico a un nivel más preciso muestran que aparte de abarrotes existe un alto grado de comercios relacionados a electrodomésticos, mueblerías y verduras

por otro lado la saturación de calles tiene sus causas en la exposición de productos en vías peatonales como en estacionamientos vehiculares.

Para ello se proponen 6 bahías de carga y descarga, de los cuales 3 son seleccionados debido al grado de cobertura con un valor de 55,19%, esto implica que casi más de la mitad de los comercios están cubiertos por estas bahías de manera óptima reduciendo las distancias de descarga y mejorando así el flujo vehicular, en este estudio han sido seleccionadas las bahías 2,3 y 6 los cuales cuentan con una posición estratégica según la densidad de negocios en la calle Gallardo.

Para respaldar el modelo de optimización mediante análisis matemático se ha ejecutado un modelo de simulación en dos escenarios, la primera en un estado actual sin la implementación de bahías a un estado futuro con la implementación de bahías, de las cuales se ha podido evidenciar un impacto positivo en los tiempos de servicio de una media de 37 minutos a un valor promedio de 25 minutos, en el cual con la ejecución del proyecto aproximadamente 49.400 vehículos de descarga se benefician al año por un sector más ordenado y libre de congestión vehicular, de acuerdo a los informes procesados por la simulación de estos escenarios.

Con base a los costos estimados de instalación que alcanzan un valor de 39.690 Bs. para la gobernación, también tomando en cuenta los costos anuales de mantenimiento según una tasa de inflación generalizada del 2,80% según datos del Banco Central de Bolivia se proyectan los costos de la inversión y mantenimiento de bahías.

Por otro lado, de acuerdo a estudios del BID y haciendo una estimación en función al tamaño de la población se obtiene que a La Paz en temas de congestión anualmente le

cuesta 149.034.113 \$us, siendo el costo de congestión por persona igual a 156 \$us, estos montos representan un alto impacto en la población debido a problemas de congestión que desencadenan en una serie de problemas dentro la logística urbana.

Dicho aquello se realiza la proyección de costos de congestión en la Max Paredes, los cuales se proyectan con mejoras en un rango del 5% al 1% con la instalación de bahías, dando como resultado un diferencial del Valor Actual Neto de 24.388.502 Bs. siendo la diferencia del Costo Anual Equivalente con y sin proyecto de un ahorro anual por mejoras en el flujo vehicular equivalente a 63.756.793 Bs. y finalmente pero no menos importante un ahorro por persona de 317 Bs. de acuerdo al indicador Índice Costo Eficiencia.

Estos resultados demuestran que hasta una inversión mínima en la modificación de vías y aceras en las calles más influyentes puede resultar en grandes beneficios para la planificación urbana y vehicular, lo que demuestra el grado de factibilidad de instalación de bahías.

## **6.2. Recomendaciones**

El presente modelo de programación lineal en dos fases es un referente para la aplicación de la metodología de recolección de datos y la óptima instalación de bahías que es funcional para otro tipo de zonas, por lo que se recomienda su uso para otros estudios similares que permitan incrementar la instalación de bahías en las diferentes zonas de la ciudad de La Paz.

El perfil logístico de la zona Max Paredes según la metodología del Kilómetro Cuadrado, comprende características representativas más importantes por lo cual estos

pueden variar con el tiempo de tal forma que siempre se recomienda realizar una evaluación rápida en caso de modificaciones en la planificación urbana.

## Bibliografía

*Actualidad Estadística Parque Automotor Bolivia 2017*. (2017). Obtenido de <https://www.ine.gob.bo/index.php/descarga/189/boletines/44177/actualidad-estadistica-parque-automotor-bolivia-2017.pdf>

Banco de Desarrollo de América Latina. (2016). *Perfil Logístico de América Latina*.

Banco Interamericano de desarrollo. (2014). *Logística urbana: Los desafíos de la Distribución Urbana de Mercancías*. Obtenido de <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Log%C3%ADstica-urbana-Los-desaf%C3%ADos-de-la-Distribuci%C3%B3n-Urbana-de-Mercanc%C3%ADas.pdf>

Banco Interamericano de Desarrollo. (2021). *Congestión urbana en América Latina y el Caribe: características, costos y mitigación*.

Banco Mundial. (2022). *Índice de Desempeño Logístico*. Obtenido de [https://datos.bancomundial.org/indicador/LP.LPI.OVRL.XQ?locations=ZJ&most\\_recent\\_value\\_desc=true&skipRedirection=true&view=map](https://datos.bancomundial.org/indicador/LP.LPI.OVRL.XQ?locations=ZJ&most_recent_value_desc=true&skipRedirection=true&view=map)

Banco Mundial. (2023). *Índice de desempeño logístico Bolivia*. Obtenido de [https://datos.bancomundial.org/indicador/LP.LPI.OVRL.XQ?locations=BO&most\\_recent\\_value\\_desc=false&skipRedirection=true&view=map](https://datos.bancomundial.org/indicador/LP.LPI.OVRL.XQ?locations=BO&most_recent_value_desc=false&skipRedirection=true&view=map)

- BID. (2013). *Distribucion Urbana de mercancías: Estrategias logísticas*. Obtenido de <https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/Distribución-urbana-de-mercancías-Estrategias-con-centros-logísticos.pdf>
- BID. (s.f.). *Distribución urbana de mercancías: Estrategias con centros logísticos*. Obtenido de <https://publications.iadb.org/es/publicacion/15329/distribucion-urbana-de-mercancias-estrategias-con-centros-logisticos>
- CEPAL. (2015). *Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas*.
- Chakkour, R. (2014). *La metodología Mamca y su aplicación en logística Urbana de Mercancías*.
- Franklin, B. E. (2004). *Organizacion de las Empresas*. Mc Graw Hill.
- GAMLP. (2017). *Plan Territorial de Desarrollo Integral del Municipio de La Paz*. Obtenido de <http://sitservicios.lapaz.bo/sit/ptdi/>
- Garcia, L., & Pérez, M. (2018). *Optimization model for the last mile distribution problem in urban areas*.
- GIZ-Ricardo. (2022). *Guía Técnica extendida para bahías de carga y descarga*. México DF. Gobierno Autónomo Municipal de La Paz. (2018). *Anuario Estadístico*.
- Goel, R., & Mittal, A. (s.f.). Key Performance Indicators for Sustainable Last Mile Logistics.
- Gonzales, F., Frederic, S., & Routhier, J.-L. (2014). *Sustanible Urban Logistics: Concepts, Methods and Information Systems*.

Harrison, A., Hoek, R. V., & Skipworth, H. (2014). *Logistics Management and Strategy 5th edition: Competing through the Supply Chain*. Pearson Education Limited.

Jones, P., Hillier, D., & Comfort, D. (2018). *The role of urban consolidation centres in sustainable freight transport: A review*. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.

Juan, C. (s.f.). *Introducción a los Modelos Dinamicos*.

Lamb, C., & McDaniel, C. (s.f.). *Marketing (Sexta Edición)*. International Thomson S.A.

LOGUS. (s.f.). *Guía de buenas practicas en logística urbana sostenible y segura*. Obtenido de [https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1510/LOGUS\\_Guía\\_de\\_buenas\\_practicas\\_en\\_logística\\_urbana\\_sostenible\\_y\\_segura.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1510/LOGUS_Guía_de_buenas_practicas_en_logística_urbana_sostenible_y_segura.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

Maraví, G., Matuk, D., & Chong, M. (2019). *Impacto de la infraestructura en las operaciones logísticas. Gestión de carga y entrega de mercancías*. Obtenido de <https://doi.org/10.36561/ING.17.3>

Marquez, A. (2002). *La etica del investigador frente a la produccion y difusion del conocimiento científico*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/290/29061608.pdf>

Merchán, D., & Blanco, E. (2016). *Desafios para la movilidad de carga en zonas de congestión*. Obtenido de <https://www.mintur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/400/MERCHAN%20%20y%20BLANCO.pdf>

MIT Megacity Logistics Lab. (24 de abril de 2019). *Why Last Mile Logistics*. Obtenido de <https://megacitylab.mit.edu/why-last-mile-logistics/>

MIT Megacity Logistics Lab. (2020). *MIT Megacity Logistics Lab*. Obtenido de <https://megacitylab.mit.edu/>

O.C., F., & Geoffrey, H. (2004). *Introducción a los Negocios en un Mundo Cambiante*. Mc Graw Hill.

Observatorio agroindustrial y productivo. (2015). *Caracterización de Mercados La Paz*. Obtenido de [http://www.observatorioagro.gob.bo/menu/derecha/INFORMACION%20EN%20LINEA/documento/caracterizacion\\_mercados/LA%20PAZ.pdf](http://www.observatorioagro.gob.bo/menu/derecha/INFORMACION%20EN%20LINEA/documento/caracterizacion_mercados/LA%20PAZ.pdf)

Pand, B. (2018). *Distribución urbana de mercancías: Retos y soluciones*. Obtenido de <https://www.interempresas.net/Logística/Articulos/207983-Distribucion-urbana-de-mercancias-retos-y-soluciones.html>

Pereira Morató, R. (2018). *Uso del espacio público en la ciudad de La Paz*.

*Revisión crítica a políticas de logística urbana sustentable*. (s.f.). Obtenido de <https://revistas.uchile.cl/index.php/CIT/article/view/28404>

Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2014). *The Handbook of Logistics and Distribution Management: Understanding the Supply Chain*. Kogan Page Publishers.

Sarmiento, A. E. (2017). *Canales de distribución logístico-comerciales*.

SlideShare. (s.f.). *Modelos para sistemas de logística urbana: Retos y Oportunidades*.

Obtenido de <https://es.slideshare.net/inLabFIB/modelos-para-sistemas-de-logistica-urbana-retos-y-oportunidades>

Suárez, M. B. (2016). *Metodología de Investigación Científica para ingeniería*. Obtenido de

[https://www.academia.edu/33692697/Metodolog%C3%ADa\\_de\\_Investigaci%C3%B3n\\_Cient%C3%ADfica\\_para\\_ingenier%C3%ADa\\_Civil](https://www.academia.edu/33692697/Metodolog%C3%ADa_de_Investigaci%C3%B3n_Cient%C3%ADfica_para_ingenier%C3%ADa_Civil)

Suero, D., Orozco, E., & Meza-Peralta, K. (2013). *Planteamientos Estratégicos para la Logística Urbana: Perspectiva de la Relación Universidad-Estado-Empresa*.

Obtenido de <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.15.605>

Taha, H. A. (2004). *Investigacion de operaciones*. Pearson Educación.

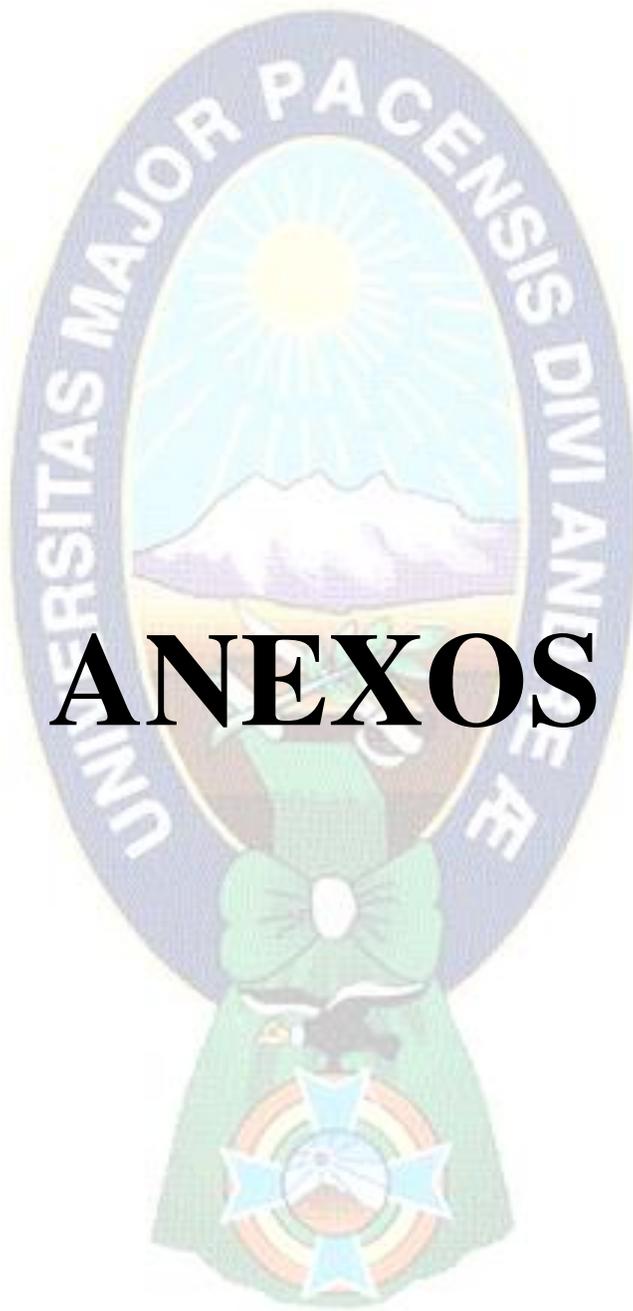
Ulloa, M. (2015). *Modelos Optimizacion en la Logística Urbana de Mercancias*.

<https://es.scribd.com/document/426238653/156420>.

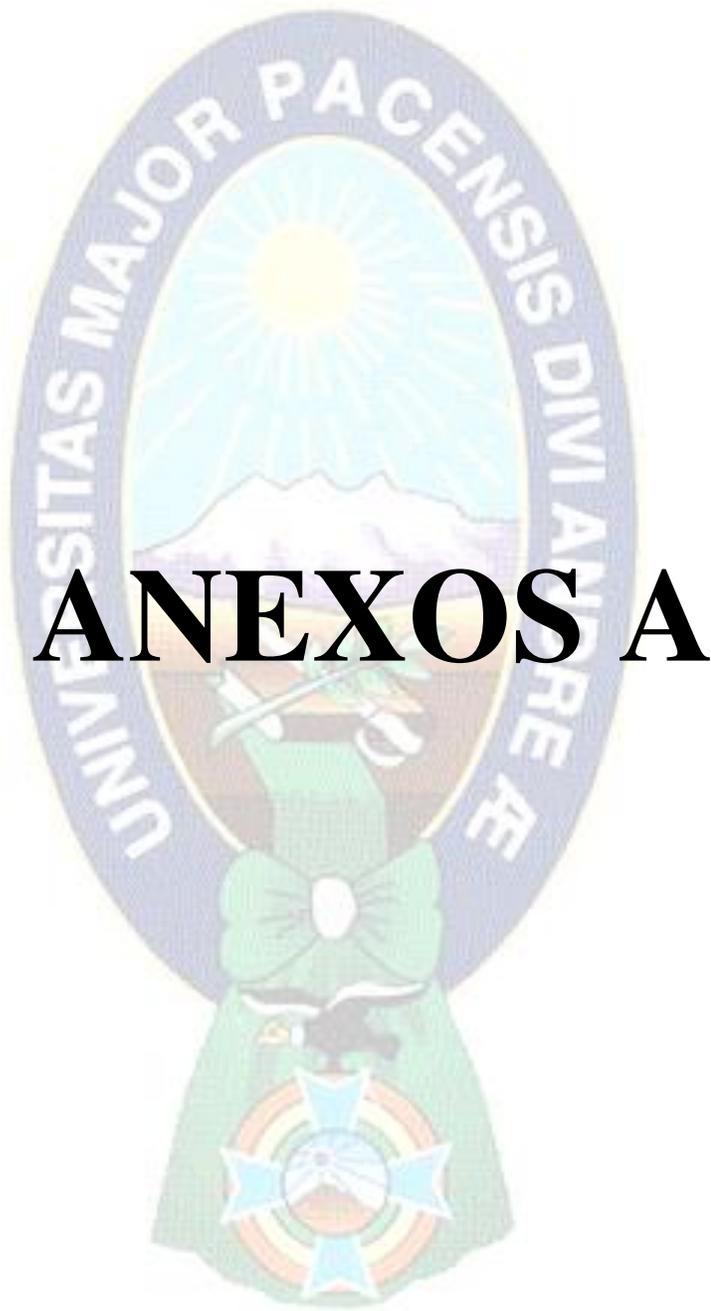
Vidal, T., Crainic, T. G., & Gendreau, M. (2013). *A unified solution framework for multi-objective vehicle routing problems*. *European Journal of Operational Research*.

Vlachopoulou, M., Karakostas, B., & Chassiakos, A. (2017). *Urban logistics performance indicators based on key performance indicators framework*. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*.

Wang. (2020). *Evaluating urban freight transportation efficiency using data envelopment analysis and key performance indicators methods in China's megacities*.



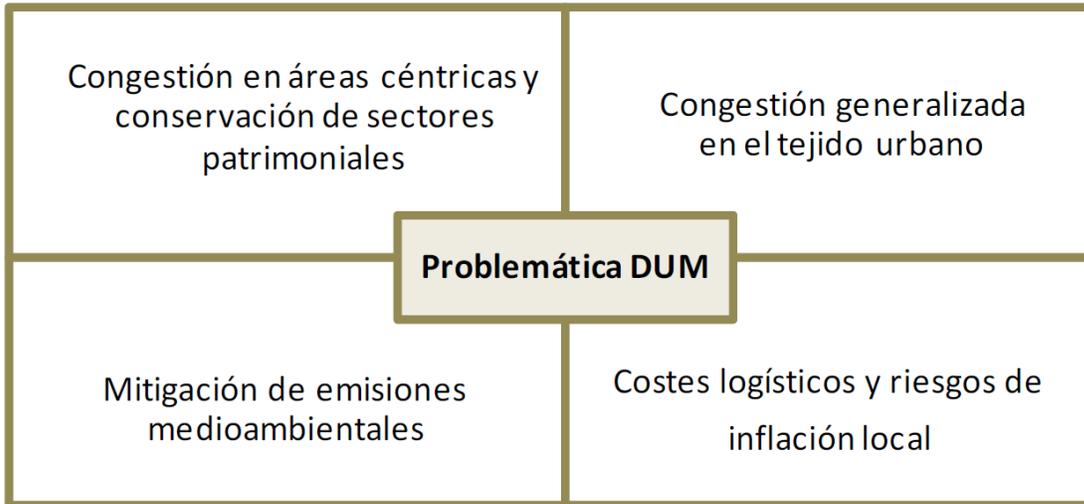
# ANEXOS



# ANEXOS A

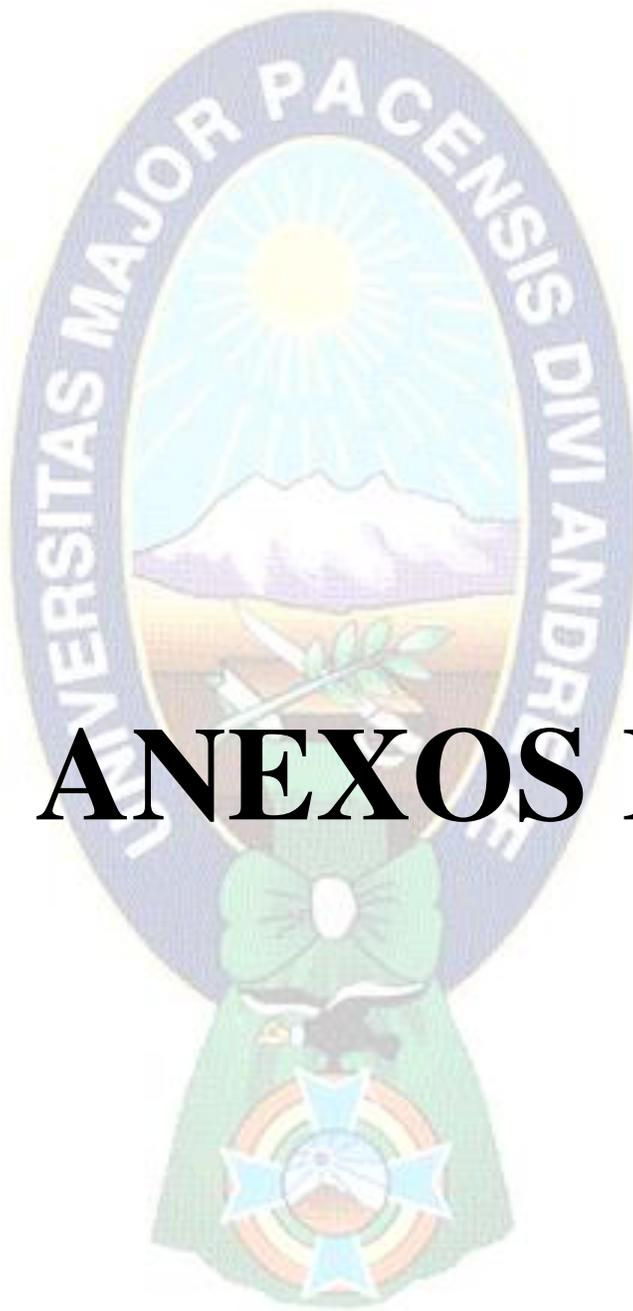


*Anexo A- 3: Problemática Vinculada a la DUM*



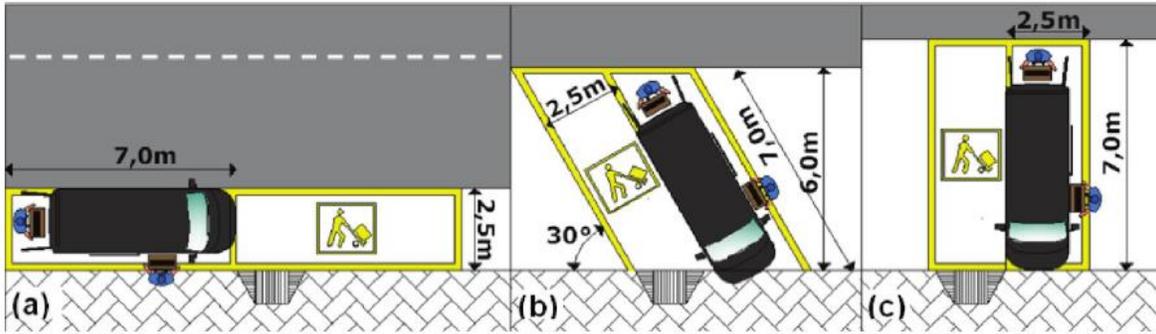
*Fuente: Obtenido de Distribución Urbana de Mercancías: Estrategias con centros Logísticos, BID, 2013.*





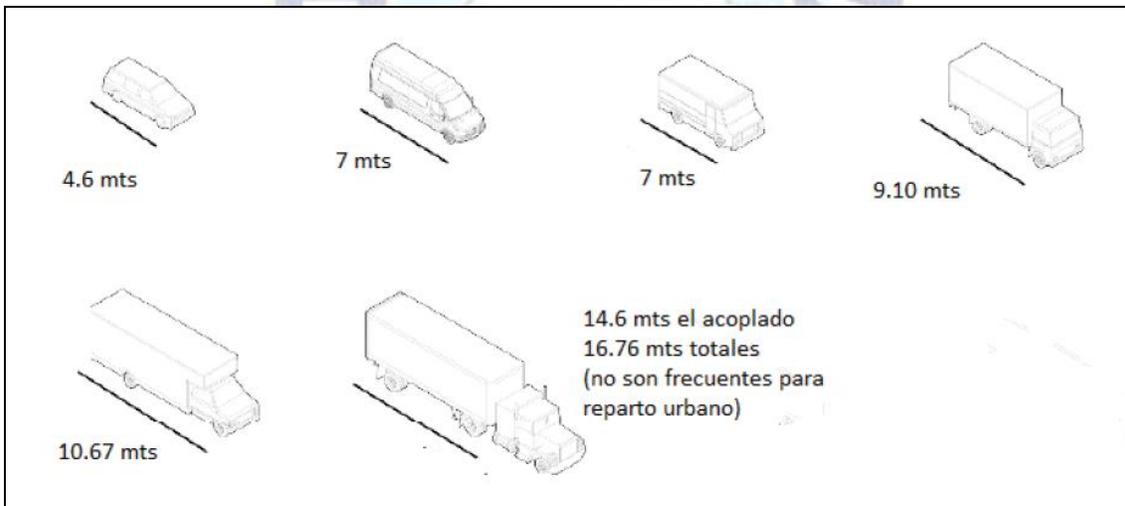
# ANEXOS B

**Anexo B- 1:** Diferentes Orientaciones de bahías sobre la calle



*Fuente:* Obtenido de “Guía Técnica Extendida Para Bahías de Carga y Descarga” por GIZ-Ricardo, 2022.

**Anexo B- 2:** Diferentes tipos de vehículos para carga y descarga de productos



*Fuente:* Obtenido de “Guía Técnica Extendida Para Bahías de Carga y Descarga” por GIZ-Ricardo, 2022.

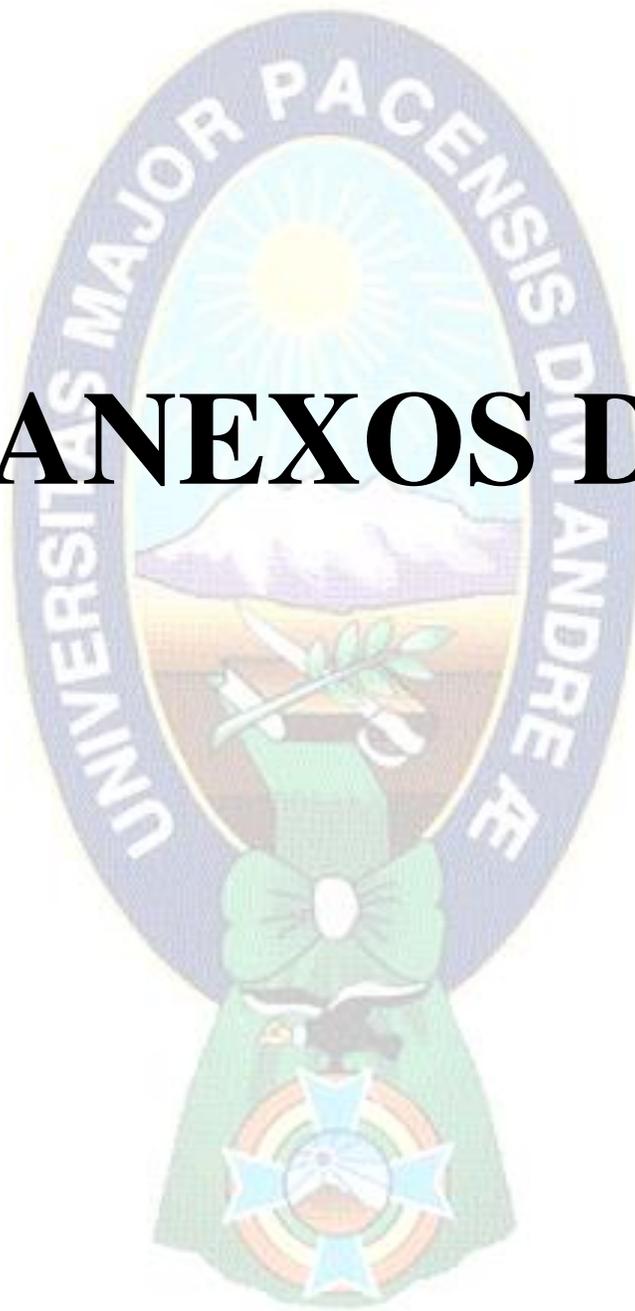
**Anexo B- 3: Señaléticos y configuración de bahías de carga y descarga**



**Fuente:** Obtenido de “Guía Técnica Extendida Para Bahías de Carga y Descarga” por GIZ-Ricardo, 2022.



# ANEXOS D



**Anexo D- 1: Inventario de Tiendas en el Kilómetro cuadrado macrodistrito “Max Paredes” cuadrantes 1-10**

INVENTARIO DE TIENDAS KILOMETRO CUADRADO MACRODISTRITO "MAX PAREDES"																
CUADRANTES 1-10																
Identificación de Bloque	Identificación de Calle	A	KA	B	C	D	KD	E	F	KF	G	S	O	KO	U	Localización
1	A	2	3										32			av apumalla, calatahud y calle azcui
	B		2			6			2				6		4	av apumalla, calatahud y calle azcui
	C														1	av apumalla, calatahud y calle azcui
	D															av apumalla, calatahud y calle azcui
2	A	2											63		2	apumalla, gradas y calle ascui
	B												2			apumalla, gradas y calle ascui
	C	1														apumalla, gradas y calle ascui
	D															apumalla, gradas y calle ascui
3	A												3		4	av apumalla, ascui y Buenos Aires
	B														1	av apumalla, ascui y Buenos Aires
	C					3							2		1	av apumalla, ascui y Buenos Aires
	D															
4	A	3							5	3	1					Av Manco Kapac, pucarani y av America
	B							6					5		6	Av Manco Kapac, pucarani y av America
	C												6			Av Manco Kapac, pucarani y av America
	D	13											2		1	Av Manco Kapac, pucarani y av America
5	A	9									1		1		1	Av. Manco Kapac, calle viacha y Av. America
	B							5	2				2			Av. Manco Kapac, calle viacha y Av. America
	C								2				4			Av. Manco Kapac, calle viacha y Av. America
	D	3	2						3							Av. Manco Kapac, calle viacha y Av. America
6	A	2													2	Av. America, calle Pando y Manco kapac
	B							3							11	Av. America, calle Pando y Manco kapac
	C		3						4				2		6	Av. America, calle Pando y Manco kapac
	D	1	2						4		1					Av. America, calle Pando y Manco kapac
7	A		2			2					2		2		7	Calle Pando, Av America y Murillo
	B		3							2					7	Calle Pando, Av America y Murillo
	C								2				3			Calle Pando, Av America y Murillo
	D					2			3		2		3			Calle Pando, Av America y Murillo
8	A					6							42			calatayud, 15 de agosto y azcui
	B												8			calatayud, 15 de agosto y azcui
	C	1														calatayud, 15 de agosto y azcui
	D															calatayud, 15 de agosto y azcui
9	A									2			15			calatayud, uyustus, azcui y gradas
	B						68			14			82	177		calatayud, uyustus, azcui y gradas
	C	2											8			calatayud, uyustus, azcui y gradas
	D															calatayud, uyustus, azcui y gradas
10	A					23	119						21	44		uyustus, azcui, av buenos aires
	B					5	8						2	3	I	uyustus, azcui, av buenos aires
	C					21					1		18			uyustus, azcui, av buenos aires
	D					6			6				4	6		uyustus, azcui, av buenos aires
	E					141	86		3	7			27	137		uyustus, azcui, av buenos aires

**Fuente:** Elaboración con base a datos recolectados en el macrodistrito “Max Paredes” mediante la metodología Megacities Logistics Lab MIT



**Anexo D- 2: Inventario de Tiendas en el Kilometro cuadrado macrodistrito “Max Paredes” cuadrantes 11-20**

INVENTARIO DE TIENDAS KILOMETRO CUADRADO MACRODISTRITO "MAX PAREDES"																
CUADRANTES 11-20																
Identificación de Bloque	Identificación de Calle	A	KA	B	C	D	KD	E	F	KF	G	S	O	KO	U	Localización
11	A		7			14							37	4	2	Av Buenos Aires, manco kapac y garcilazo
	B	13	31			2	9			4			18	49		Av Buenos Aires, manco kapac y garcilazo
	C	11	16													Av Buenos Aires, manco kapac y garcilazo
	D	26	4													Av Buenos Aires, manco kapac y garcilazo
12	A	24				5	3	2	9		1		7			Av Tumasla, manco kapac y garcilazo
	B	14	26				14									Av Tumasla, manco kapac y garcilazo
	C		4			48	24	2				6	9			Av Tumasla, manco kapac y garcilazo
	D															Av Tumasla, manco kapac y garcilazo
13	A												6	16		uyustus, baltazar alquiza y de lima
	B												22			uyustus, baltazar alquiza y de lima
	C												57			uyustus, baltazar alquiza y de lima
	D					16	78			4			25	46		uyustus, baltazar alquiza y de lima
14	A					2	82						2	23		uyustus, calle munaypata y gregorio ortiz
	B								2				25	18		uyustus, calle munaypata y gregorio ortiz
	C		3										12	8		uyustus, calle munaypata y gregorio ortiz
	D						2						22	10		uyustus, calle munaypata y gregorio ortiz
15	A	18	26			8	13		6	4	1		9		1	Av Buenos Aires, Tumasla y calle munaypata
	B					7	62		8	2	3		88	5		Av Buenos Aires, Tumasla y calle munaypata
	C					133	77		3	7			27	137		Av Buenos Aires, Tumasla y calle munaypata
	D	6	21										9	15		Av Buenos Aires, Tumasla y calle munaypata
16	A					87	27	1			2		7			Av Buenos aires, Garcilazo y isaac tamayo
	B					163	28	2			4			16		Av Buenos aires, Garcilazo y isaac tamayo
	C	14	46							3			11	38		Av Buenos aires, Garcilazo y isaac tamayo
	D															Av Buenos aires, Garcilazo y isaac tamayo
17	A		7			22	4		3				34	8		Illampu, isaac tamayo y tumusla
	B					103	69				2		6	8		Illampu, isaac tamayo y tumusla
	C					108	18			8						Illampu, isaac tamayo y tumusla
	D		2			24	34						6	8		Illampu, isaac tamayo y tumusla
18	A					4							12		1	Av Ilampu, murillo y melchor jimenez
	B					8	8		1				1			Av Ilampu, murillo y melchor jimenez
	C								3	5					1	Av Ilampu, murillo y melchor jimenez
	D					5	18									Av Ilampu, murillo y melchor jimenez
19	A								7							Calle Jimenez, graneros y murillo
	B											1				Calle Jimenez, graneros y murillo
	C						10					1				Calle Jimenez, graneros y murillo
	D						22									Calle Jimenez, graneros y murillo
20	A												16		3	Calle Calatayud y Av Baptista
	B		18										9			Calle Calatayud y Av Baptista
	C												13			Calle Calatayud y Av Baptista
	D															Calle Calatayud y Av Baptista

**Fuente:** Elaboración con base a datos recolectados en el macrodistrito “Max Paredes” mediante la metodología Megacities Logistics Lab MIT

**Anexo D- 3: Inventario de Tiendas en el Kilometro cuadrado macrodistrito “Max Paredes” cuadrantes 21-35**

INVENTARIO DE TIENDAS KILOMETRO CUADRADO MACRODISTRITO "MAX PAREDES"																
CUADRANTES 21-35																
Identificacion de Bloque	Identificacion de Calle	A	KA	B	C	D	KD	E	F	KF	G	S	O	KO	U	Localización
21	A					3			3		2		3		5	Av. Baptista, calle costas e incachaca
	B	2	1									1	2			Av. Baptista, calle costas e incachaca
	C	8	7													Av. Baptista, calle costas e incachaca
	D															Av. Baptista, calle costas e incachaca
23	A	24				5	3	2	9		1		7			Tumusla, Av Buenos Aires y max Paredes
	B					8	13		6	4	1		9		1	Tumusla, Av Buenos Aires y max Paredes
	C	17	41					1	4				6		4	Tumusla, Av Buenos Aires y max Paredes
	D															Tumusla, Av Buenos Aires y max Paredes
24	A	3				17			2		1		9			Buenos aires, max paredes y tablada
	B					11			9	3	1					Buenos aires, max paredes y tablada
	C					22							137			Buenos aires, max paredes y tablada
	D						10						6			Buenos aires, max paredes y tablada
25	A	4				8	1						37			tablada, ortega y tumusla
	B												19			tablada, ortega y tumusla
	C	16				17	86									tablada, ortega y tumusla
	D	4	5			37	47				1		6			tablada, ortega y tumusla
26	A	6	29			38	24			6					2	pje Ortega, tumusla y isaac tamayo
	B					163	102				1		12			pje Ortega, tumusla y isaac tamayo
	C	12				34	38				1		43	47		pje Ortega, tumusla y isaac tamayo
	D					82	188							8		pje Ortega, tumusla y isaac tamayo
32	A					12			8		2	1	43	16		graneros, max paredes, isaac tamayo
	B					229	141									graneros, max paredes, isaac tamayo
	C	4	14			167	38					2	17	31		graneros, max paredes, isaac tamayo
	D															graneros, max paredes, isaac tamayo
33	A		7			4		2	1	8	1		13	4	14	Isaac tamayo, santa cruz e illampu
	B		2			41	57						26			Isaac tamayo, santa cruz e illampu
	C	1	2			119	18			10			18	6		Isaac tamayo, santa cruz e illampu
	D	1	21							6	1		51	4		Isaac tamayo, santa cruz e illampu
34	A	2				3			1		2		4			av illampu, graneros y jimenez
	B					6	12						5			av illampu, graneros y jimenez
	C	2				13		1	8				8	2	6	av illampu, graneros y jimenez
	D					32				2			2	8		av illampu, graneros y jimenez
35	A	5	2					2	3						2	Calle murillo, graneros y santa cruz
	B	1				18	24	1					4			Calle murillo, graneros y santa cruz
	C		1			16		1	1							Calle murillo, graneros y santa cruz
	D															Calle murillo, graneros y santa cruz

**Fuente:** Elaboración con base a datos recolectados en el macrodistrito “Max Paredes” mediante la metodología Megacities Logistics Lab MIT

**Anexo D- 4: Inventario de Tiendas en el Kilometro cuadrado macrodistrito “Max Paredes” cuadrantes 36-49**

INVENTARIO DE TIENDAS KILOMETRO CUADRADO MACRODISTRITO "MAX PAREDES"																
CUADRANTES 36-49																
Identificación de Bloque	Identificación de Calle	A	KA	B	C	D	KD	E	F	KF	G	S	O	KO	U	Localización
36	A															Buenos Aires, de la gasca y vicente ochoa
	B															Buenos Aires, de la gasca y vicente ochoa
	C															Buenos Aires, de la gasca y vicente ochoa
	D															Buenos Aires, de la gasca y vicente ochoa
39	A									6	1		19			la gasca, av buenos aires, chorolque
	B												9			la gasca, av buenos aires, chorolque
	C												10	9		la gasca, av buenos aires, chorolque
	D															la gasca, av buenos aires, chorolque
42	A	2							4		2		19	9		av Buenos aires, leon de la barra y de la gasca
	B								6				2			av Buenos aires, leon de la barra y de la gasca
	C	2											12			av Buenos aires, leon de la barra y de la gasca
	D					4			7		4		17	3		av Buenos aires, leon de la barra y de la gasca
43	A						1						14			la gasca, eloy salmon y vicente ochoa
	B												35	13		la gasca, eloy salmon y vicente ochoa
	C												14	1		la gasca, eloy salmon y vicente ochoa
	D												43	21		la gasca, eloy salmon y vicente ochoa
44	A															Sebastián segurola, leon de la barra y eloy salmon
	B												116	51		Sebastián segurola, leon de la barra y eloy salmon
	C												18			Sebastián segurola, leon de la barra y eloy salmon
	D	3						1					38			Sebastián segurola, leon de la barra y eloy salmon
45	A	2				2		1					18	4	2	la gasca, max paredes y leon de la barra
	B	4	3										8			la gasca, max paredes y leon de la barra
	C	19	5					1					8	1	1	la gasca, max paredes y leon de la barra
	D		11			46	12						12	5		la gasca, max paredes y leon de la barra
46	A															
	B															
	C															
	D															
47	A	9	5			5	3	1			2				1	isaac tamayo, sagarnaga y illampu
	B	2	4					1			1		28			isaac tamayo, sagarnaga y illampu
	C												48	8		isaac tamayo, sagarnaga y illampu
	D	5	2								1	1		3		isaac tamayo, sagarnaga y illampu
48	A															illampu, sagarnaga y linares
	B	9	2			29		1	3		1		13	4	6	illampu, sagarnaga y linares
	C					2		2	2						12	illampu, sagarnaga y linares
	D					21		1					8			illampu, sagarnaga y linares
49	A					7			1						6	calle murillo, sagarnaga y linares
	B															calle murillo, sagarnaga y linares
	C					28	4						22			calle murillo, sagarnaga y linares
	D	1				8			6			1			8	calle murillo, sagarnaga y linares

**Fuente:** Elaboración con base a datos recolectados en el macrodistrito “Max Paredes” mediante la metodología Megacities Logistics Lab MIT



**Anexo D- 5: Inventario de Tiendas en el Kilometro cuadrado macrodistrito “Max Paredes” cuadrantes 51-70**

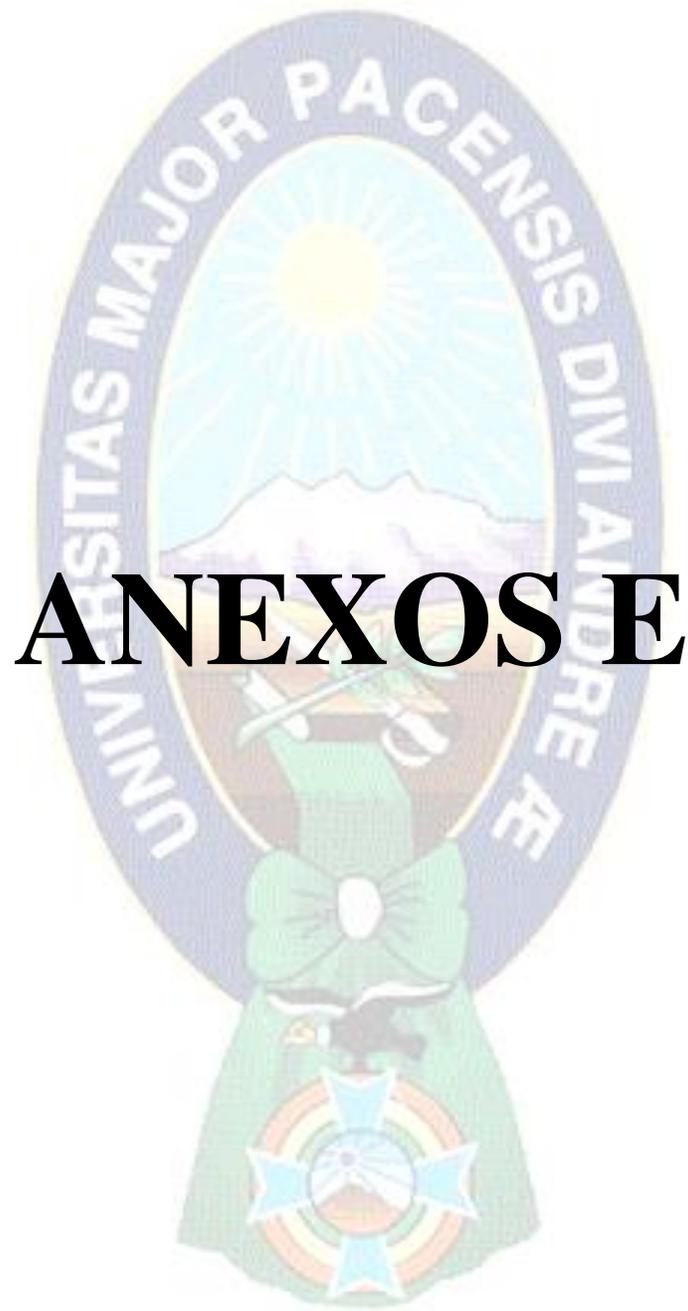
INVENTARIO DE TIENDAS KILOMETRO CUADRADO MACRODISTRITO "MAX PAREDES"																
CUADRANTES 51-70																
Identificación de Bloque	Identificación de Calle	A	KA	B	C	D	KD	E	F	KF	G	S	O	KO	U	Localización
51	A	1							1		1		1			av. Buenos aires, gallardo y calle santiago
	B	1														av. Buenos aires, gallardo y calle santiago
	C		2			2			6				1			av. Buenos aires, gallardo y calle santiago
	D	1												2		av. Buenos aires, gallardo y calle santiago
53	A												21			Eloy Salmon, gallardo y vicente ochoa
	B	1	5									1	12			Eloy Salmon, gallardo y vicente ochoa
	C	3	2						2							Eloy Salmon, gallardo y vicente ochoa
	D												16	4		Eloy Salmon, gallardo y vicente ochoa
54	A		3										13	4	2	Sebastian seguro, gallardo y eloy salmon
	B												51	4		Sebastian seguro, gallardo y eloy salmon
	C	14	2						1				1			Sebastian seguro, gallardo y eloy salmon
	D	11											6			Sebastian seguro, gallardo y eloy salmon
55	A	5	29			2							6			Av. Max Paredes, leon de la barra y gallardo
	B	18	2													Av. Max Paredes, leon de la barra y gallardo
	C	29	3						4						1	Av. Max Paredes, leon de la barra y gallardo
	D	16	5			19						1	4		2	Av. Max Paredes, leon de la barra y gallardo
56	A	2	2			2		1	1		3		5			Av buenos aires, vanguardia, julio tapia
	E	1				1			1				1		1	Av buenos aires, vanguardia, julio tapia
	B	3										1				Av buenos aires, vanguardia, julio tapia
	D	1	31							1						Av buenos aires, vanguardia, julio tapia
57	A	8											8		1	calle Bustamante, vicente ochoa y eloy salmon
	B	14											3		2	calle Bustamante, vicente ochoa y eloy salmon
	C	13							3						1	calle Bustamante, vicente ochoa y eloy salmon
	D	2				4			2		1		14			calle Bustamante, vicente ochoa y eloy salmon
58	A	11	3										5			Sebastian seguro, bustamante y eloy salmon
	B	4								2			9		1	Sebastian seguro, bustamante y eloy salmon
	C	17									1					Sebastian seguro, bustamante y eloy salmon
	D	13	4										7			Sebastian seguro, bustamante y eloy salmon
59	A	21								6					1	Gallardo, zoilo flores y sebastian seguro
	B	14								3			2			Gallardo, zoilo flores y sebastian seguro
	C	7				21			12		2		8		2	Gallardo, zoilo flores y sebastian seguro
	D															Gallardo, zoilo flores y sebastian seguro
60	A	13	29			6			3		1		9			illampu, sagarnaga, av max paredes
	B												79		2	illampu, sagarnaga, av max paredes
	C	14	52								1		8	7		illampu, sagarnaga, av max paredes
	D	2							6	2					1	illampu, sagarnaga, av max paredes
61	A					2		1	1				3			calle tarja, sagarnaga e illampu
	B					1		2	3		1		12			calle tarja, sagarnaga e illampu
	C		8						1				11			calle tarja, sagarnaga e illampu
	D	2							1				3	2		calle tarja, sagarnaga e illampu
62	A	1	3						2	2		1	12			calle murillo, linares y gradas de calle tarja
	B					3	4		2				2	3		calle murillo, linares y gradas de calle tarja
	C	6				36										calle murillo, linares y gradas de calle tarja
	D		1					2	5							calle murillo, linares y gradas de calle tarja
70	A	7				3			3				4			tarja, illampu y av rodriguez
	B	13	19										3			tarja, illampu y av rodriguez
	C	14	21						7							tarja, illampu y av rodriguez
	D	4						2							1	tarja, illampu y av rodriguez

**Fuente:** Elaboración con base a datos recolectados en el macrodistrito “Max Paredes” mediante la metodología Megacities Logistics Lab MIT

**Anexo D- 6:** Inventario de Tiendas en el Kilometro cuadrado macrodistrito “Max Paredes”  
cuadrantes 71-79

INVENTARIO DE TIENDAS KILOMETRO CUADRADO MACRODISTRITO "MAX PAREDES" CUADRANTES 71-79																
Identificación de Bloque	Identificación de Calle	A	KA	B	C	D	KD	E	F	KF	G	S	O	KO	U	Localización
71	A		8			3	3									linares, rodriguez y calle sajama
	B	4				4		2	4		1				2	linares, rodriguez y calle sajama
	C								1							linares, rodriguez y calle sajama
	D															linares, rodriguez y calle sajama
72	A							1	4				21			Murillo, tarja y calle sajama
	B								4							Murillo, tarja y calle sajama
	C					2			6							Murillo, tarja y calle sajama
	D															Murillo, tarja y calle sajama
77	A	9											23			illampu, rodriguez y calle gonzales
	B	7				3		1					10			illampu, rodriguez y calle gonzales
	C															illampu, rodriguez y calle gonzales
	D															illampu, rodriguez y calle gonzales
78	A															gonzales, callejon belzu y murillo
	B	1						2			1		1	1		gonzales, callejon belzu y murillo
	C	2				2							2			gonzales, callejon belzu y murillo
	D	4							3				4			gonzales, callejon belzu y murillo
79	A	3							4				3		2	Murillo, belzu y gonzales
	B	2				1				1						Murillo, belzu y gonzales
	C									4	1				1	Murillo, belzu y gonzales
	D									2	2				1	Murillo, belzu y gonzales

**Fuente:** Elaboración con base a datos recolectados en el macrodistrito “Max Paredes” mediante la metodología Megacities Logistics Lab MIT



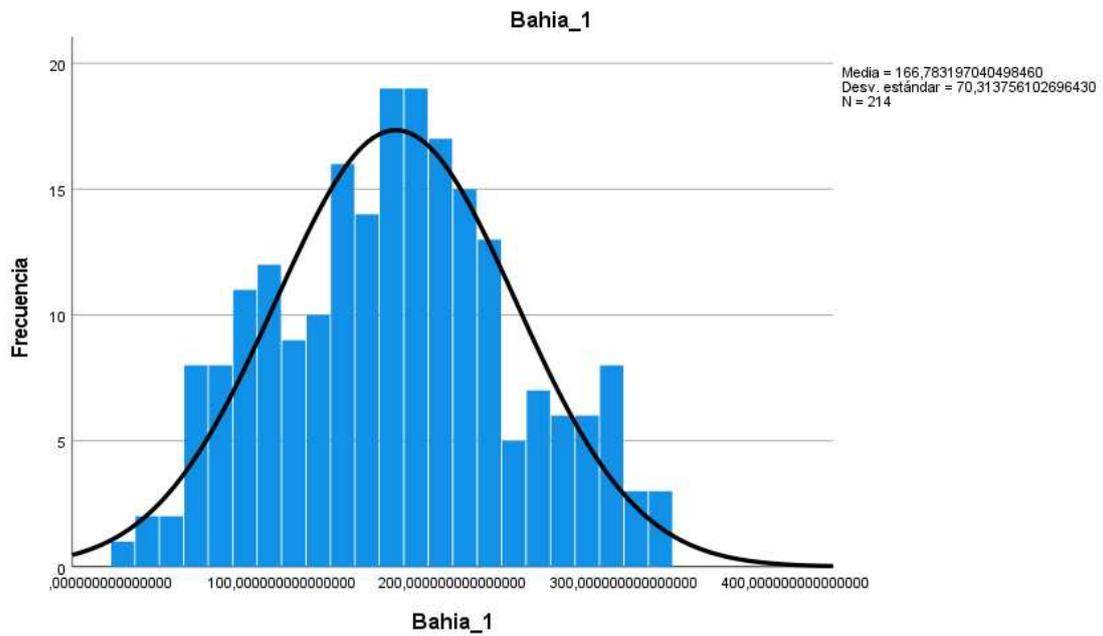
# ANEXOSE

**Anexo E- 1: Inventario de Tiendas en la calle Gallardo**

Identificación de Bloque	Identificación de Calle	Saco Fotografía	Tienda de	Kiosco de	Supermer-	Gasolinera	Ropa,	Kiosco de	Hotel,	Comida,	Kiosco de	Farmacia	Institucion	Otro	Otros	Servicio,	Numero	Distancia	Distancia	Comentarios
			Viveres	Viveres	cado	Calzado	ropa o	Hostal	bebida	Comida y	Educativa	Kioscos	cerrado,	tiendas	por lado	por negocio				
			A	KA	B	C	D	KD	E	F	KF	G	S	O	KO	U				
53	A		1											5			6	60	10,00	Vidrierías, muebles y colchones
	B													14			14	85	6,07	Todos son mueblerías
	C		5							2							7	87	12,43	Papa por quintal y 2 broasterías
	D																0			
54	A													16			16	85	5,31	1 mueblería, 15 tiendas de electrodomésticos
	B		1	5										10			16	85	5,31	kioscos, 1 tienda de barrio, 9 electrodomésticos 1 galer
	C		7													1	7	85	12,14	4 Abarroteras, 3 paperas y GAML P
	D		1											9			10	86	8,60	La mayoría mueblería
55	A													14	2		16	85	6,07	14 electrodomésticos, 1 banco, 2 kioscos de repuestos
	B		11	1													13	85	7,73	Viveres: Abarrotes, coca, pollo y huevo
	C		14	1													15	85	6,07	Viveres abarrotes
	D													15	2		17	86	5,73	15 tiendas de electrodomésticos, 2 kioscos
57	A			4										1			5	80	16,00	Hay Kioscos de papas y un parqueo
	B		7	3													10	84	8,40	tiendas de abarrote, 1 carnicería y 3 kioscos de vivere
	C		2	3													5	24	4,80	Verduras
	D		8	22													30	100	3,33	Verduras
58	A		4				1							1		1	6	85	14,17	1 Galería
	B		3	2										9			14	84	7,00	9 electrodomésticos, viveres
	C		5														8	85	17,00	Otros: Productos agropecuarios
	D		15	4										3			19	82	4,32	15 tiendas de viveres 4 kioscos de viveres
59	A		7	1													8	85	12,14	Abarrotes
	B		11														11	75	4,82	Abarrotes
	C		8	3						1							12	90	7,50	Viveres: huevo y pollo
	D		2											5			7	82	11,7	otros: electrodomésticos

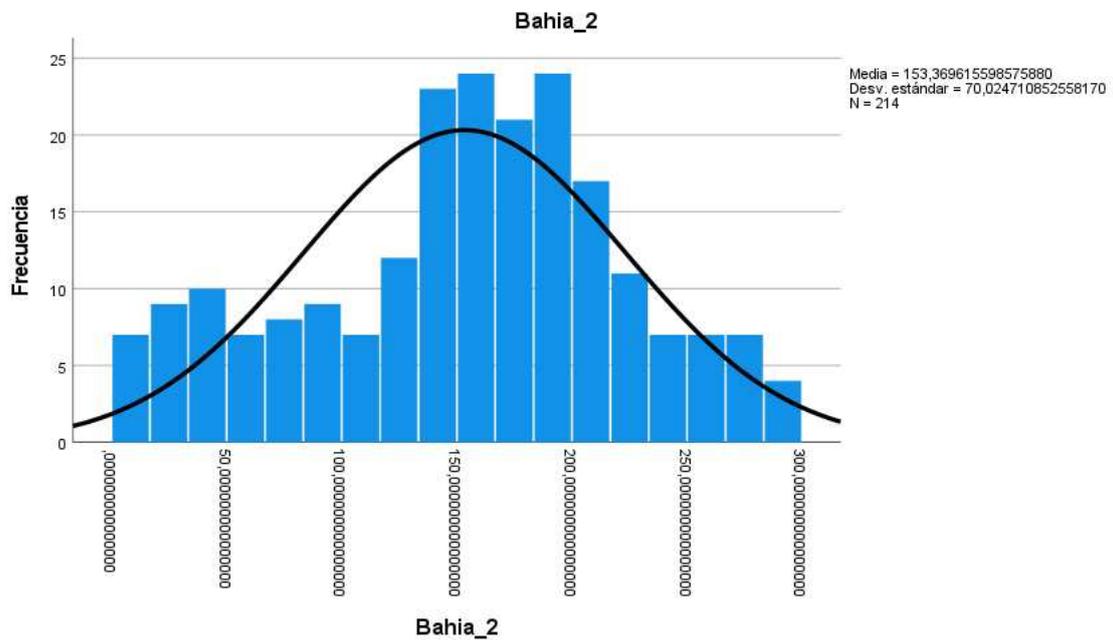
**Fuente:** Elaboración con base a datos recolectados en la calle Gallardo mediante la metodología Megacities Logistics Lab MIT

**Anexo E- 2: Histograma de frecuencias de distancias Bahía 1**



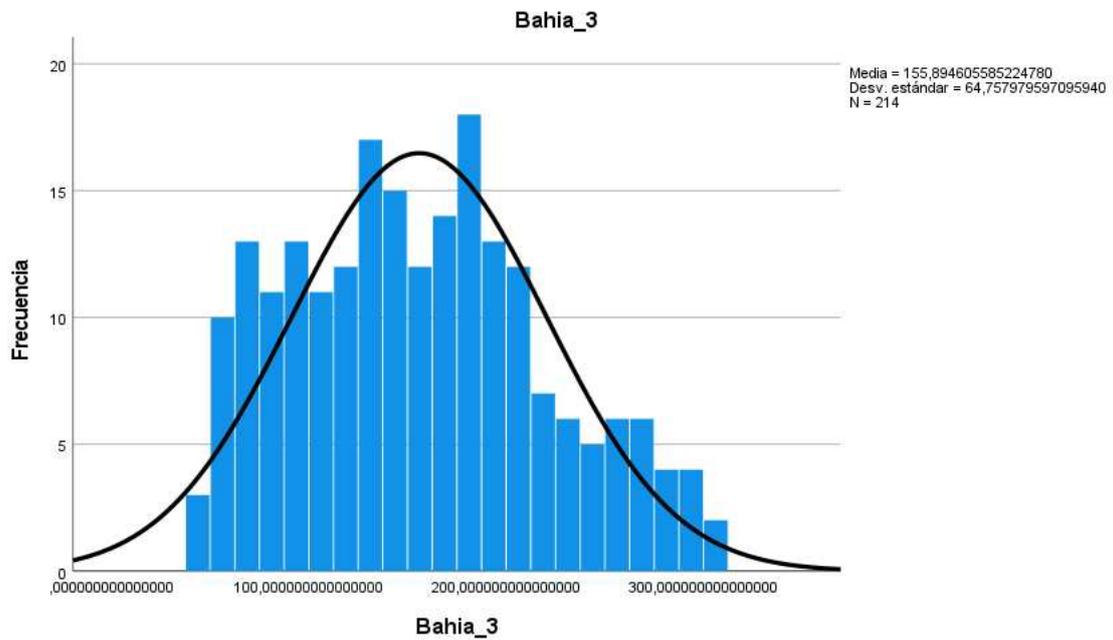
**Fuente:** Elaboración con base en datos recolectados en el programa IBM SPSS

**Anexo E- 3: Histograma de frecuencias de distancias Bahía 2**



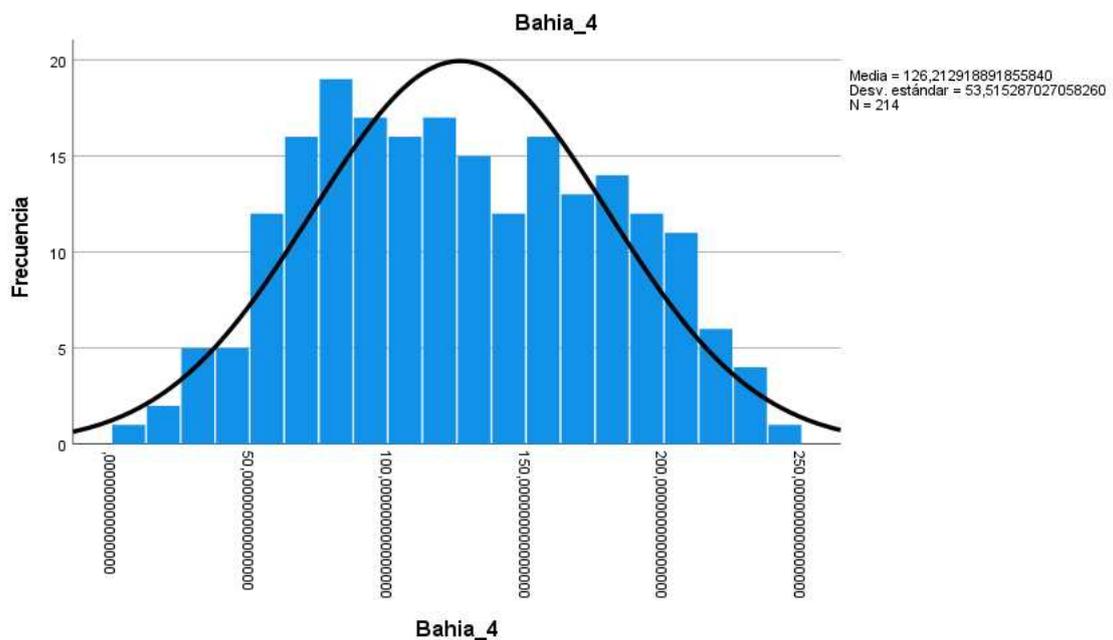
**Fuente:** Elaboración con base en datos recolectados en el programa IBM SPSS

**Anexo E- 4: Histograma de frecuencias de distancias Bahía 3**



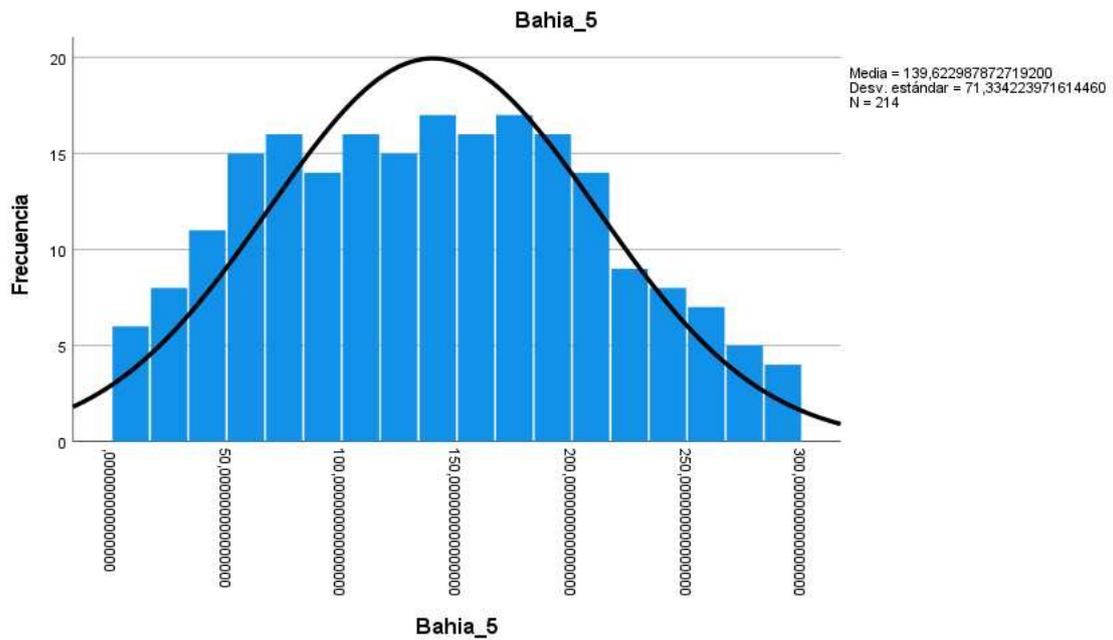
**Fuente:** Elaboración con base en datos recolectados en el programa IBM SPSS

**Anexo E- 5: Histograma de frecuencias de distancias Bahía 4**



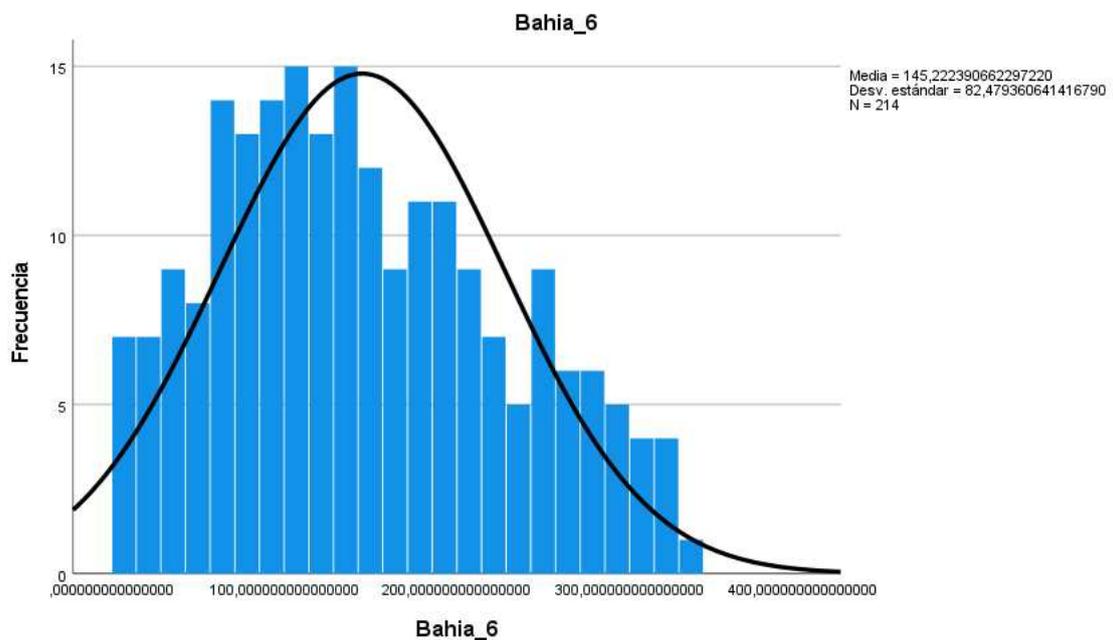
**Fuente:** Elaboración con base en datos recolectados en el programa IBM SPSS

**Anexo E- 6: Histograma de frecuencias de distancias Bahía 5**



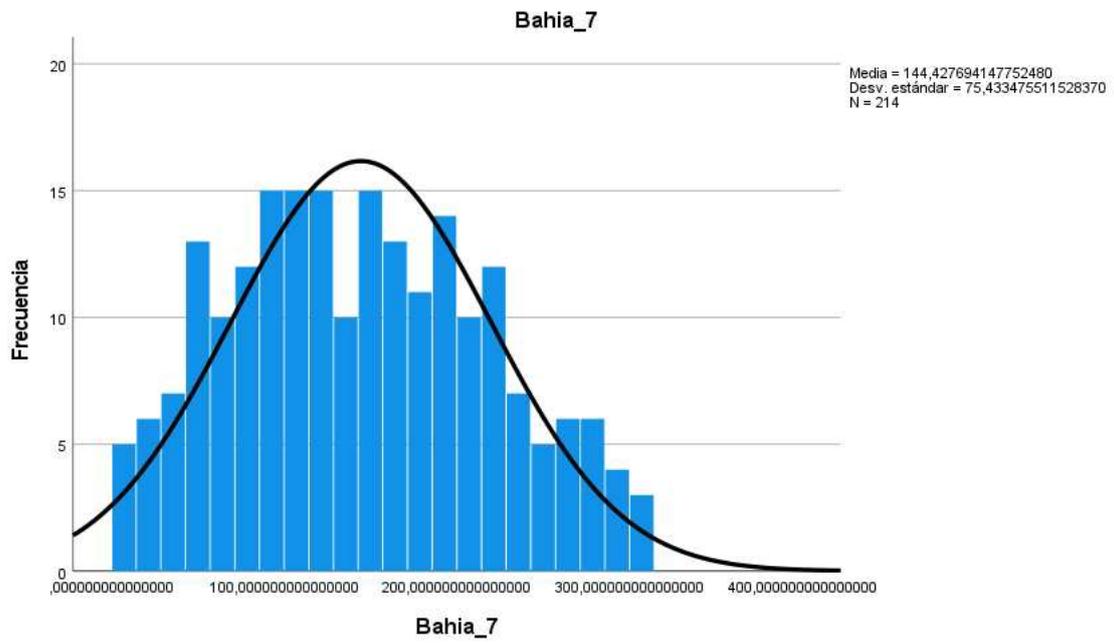
**Fuente:** Elaboración con base en datos recolectados en el programa IBM SPSS

**Anexo E- 7: Histograma de frecuencias de distancias Bahía 6**

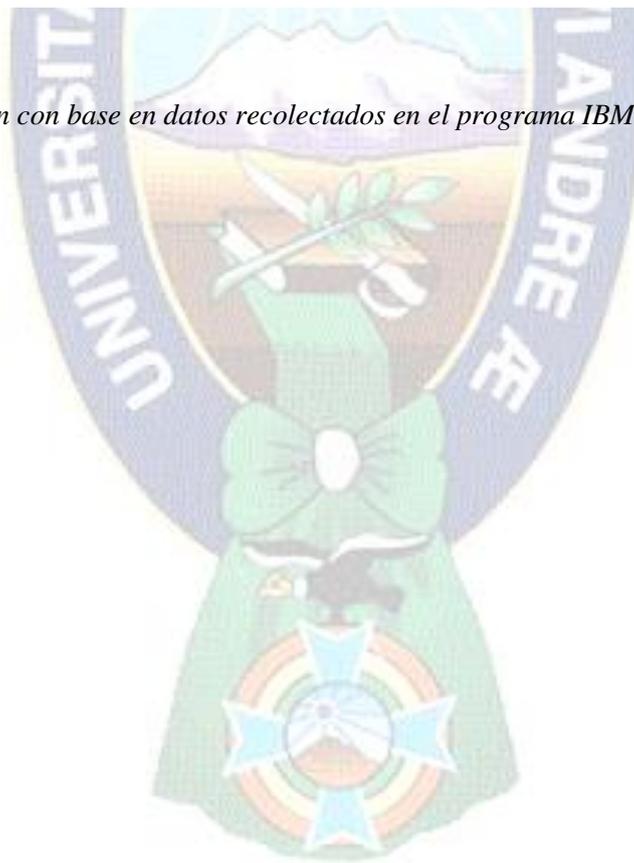


**Fuente:** Elaboración con base en datos recolectados en el programa IBM SPSS

**Anexo E- 8: Histograma de frecuencias de distancias Bahía 7**



**Fuente:** Elaboración con base en datos recolectados en el programa IBM SPSS













Anexo E- 14: Modelo de Programación Lineal Fase I “Minimización de distancias” en el cuadrante 57-A

Cuadrante	Lado	Tipo de negocio	Distancia en metros						
			Bahía 1	Bahía 2	Bahía 3	Bahía 4	Bahía 5	Bahía 6	Bahía 7
57	A	Papería	28,27	123,93	110,49	143,33	192,38	223,54	208,11
		Papería	12,27	107,93	94,49	127,33	176,38	207,54	192,11
		Papería	20,61	91,93	78,49	111,33	160,38	191,54	176,11
		Papería	38,39	75,93	62,49	95,33	144,38	175,54	160,11
57	B	Verduras	46,69	52,84	39,33	64,59	116,15	152,83	132,88
		Verduras	55,09	61,24	30,93	72,99	124,55	161,23	141,28
		Abarrotes	63,49	69,64	22,53	81,39	132,95	169,63	149,68
		Abarrotes	71,89	78,04	14,13	89,79	141,35	178,03	158,08
		Abarrotes	80,29	86,44	5,73	98,19	149,75	186,43	166,48
		Carne y p	88,69	94,84	14,13	106,59	158,15	194,83	174,88
		Abarrotes	97,09	103,24	22,53	114,99	166,55	203,23	183,28
		Abarrotes	105,49	111,64	30,93	123,39	174,95	211,63	191,68
		Abarrotes	113,89	120,04	39,33	131,79	183,35	220,03	200,08
		Verduras	122,29	128,44	47,73	140,19	191,75	228,43	208,48

Variables Xjk	k: Bahías						
	1	2	3	4	5	6	7
121	1	0	0	0	0	0	0
122	1	0	0	0	0	0	0
123	1	0	0	0	0	0	0
124	1	0	0	0	0	0	0
125	0	0	1	0	0	0	0
126	0	0	1	0	0	0	0
127	0	0	1	0	0	0	0
128	0	0	1	0	0	0	0
129	0	0	1	0	0	0	0
130	0	0	1	0	0	0	0
131	0	0	1	0	0	0	0
132	0	0	1	0	0	0	0
133	0	0	1	0	0	0	0
134	0	0	1	0	0	0	0

Modelo de Programación Lineal Cuadrante 55-B			
<b>Funcion Objetivo</b>			
	MinW	366,84	
<b>Restricciones</b>			
La tienda j a lo mucho elije entre dos Bahías que minimice su distancia			
1	=	1	
1	=	1	
1	=	1	
1	=	1	
1	=	1	
1	=	1	
1	=	1	
1	=	1	
1	=	1	
1	=	1	
1	=	1	
1	=	1	
1	=	1	
1	=	1	
1	=	1	

Fuente: Elaboración con base en datos recolectados mediante el programa Solver de Excel







Anexo E- 18: Datos de entrada para el modelo de programación lineal Fase 2 “Maximización de cobertura de Bahías”

COSTOS DE INSTALACIÓN	
DESCRIPCIÓN	COSTO DE INSTALACIÓN (Bs./Bahía)
Bahía 1	12040
Bahía 2	12932,5
Bahía 3	12932,5
Bahía 4	12040
Bahía 5	12040
Bahía 6	13825
Bahía 7	12647,5

KPI: Tiendas optimas Cubiertas por bahía (S: 1 Bahía)	
DESCRIPCIÓN	KPI
Bahía 1	4,25%
Bahía 2	16,98%
Bahía 3	15,57%
Bahía 4	4,72%
Bahía 5	16,51%
Bahía 6	22,64%
Bahía 7	19,34%

KPI: Tiendas optimas Cubiertas por bahía (S: 3 Bahía)	
DESCRIPCIÓN	KPI
Bahía 1	32,08%
Bahía 2	39,15%
Bahía 3	46,23%
Bahía 4	49,06%
Bahía 5	51,89%
Bahía 6	29,25%
Bahía 7	52,36%

Cuadrante	Lado	Tipo de negocio	Costos de distribución desde bahía a tienda según tipo de negocio (Bs.)						
			Bahía 1	Bahía 2	Bahía 3	Bahía 4	Bahía 5	Bahía 6	Bahía 7
53	A	Muebleria	83	50	88	92	125	136	133
		Muebleria	79	45	84	88	120	131	128
		Muebleria	74	41	79	83	115	126	123
		Vidrieria	69	36	74	78	111	121	119
		Aluminio	64	31	69	74	106	117	114
53	B	Muebleria	64	25	62	66	100	62	106
		Muebleria	61	23	60	64	97	64	103
		Muebleria	58	20	57	61	94	67	100
		Muebleria	55	17	54	58	91	70	97
		Muebleria	53	14	51	55	88	73	94
		Muebleria	50	11	48	52	85	76	91
		Muebleria	47	8	45	49	83	79	88
		Muebleria	44	5	42	46	80	82	86
		Muebleria	41	3	40	44	77	84	83
		Muebleria	38	7	37	41	74	87	80
		Muebleria	35	10	34	38	71	90	77
		Muebleria	33	13	31	35	68	93	74
		Muebleria	30	16	28	32	65	96	71
53	C	Paperia	23	58	62	65	96	108	104
		Paperia	15	53	56	59	90	102	98
		Paperia	10	47	50	53	85	96	93
		Paperia	5	41	44	48	79	90	87
		Paperia	13	35	38	42	73	84	81

54	A	Muebleria	66	24	59	63	95	56	103
		Electrodomest	51	20	43	45	70	40	76
		Electrodomest	53	22	41	43	68	38	74
		Electrodomest	55	24	39	41	66	36	72
		Electrodomest	57	26	37	40	64	34	70
		Electrodomest	59	28	35	38	62	32	68
		Electrodomest	61	29	33	36	60	31	66
		Electrodomest	63	31	32	34	58	29	65
		Electrodomest	64	33	30	32	56	27	63
		Electrodomest	66	35	28	30	55	25	61
		Electrodomest	68	37	26	28	53	23	59
		Electrodomest	70	39	24	26	51	21	57
		Electrodomest	72	41	22	25	49	19	55
		Electrodomest	74	43	20	23	47	17	53
		Electrodomest	76	44	18	21	45	16	51
54	B	Electrodomest	78	46	17	19	43	14	50
		Electrodomest	81	53	74	42	41	10	47
		Electrodomest	79	55	72	40	39	8	45
		Electrodomest	77	57	70	38	37	6	43
		Electrodomest	75	59	68	37	35	5	41
		Electrodomest	73	61	66	35	33	3	39
		Electrodomest	71	63	64	33	31	9	38
		Electrodomest	70	65	62	31	29	12	36
		Electrodomest	68	66	61	29	27	14	34
		Electrodomest	66	68	59	27	26	16	32
54	C	Galeria	0	0	0	0	0	0	0
		Abarrotes	15	8	10	11	27	32	31
		Abarrotes	17	11	13	8	24	29	28
		Abarrotes	20	14	16	6	21	26	25
		Abarrotes	23	17	19	3	19	24	22
		Paperia	51	39	43	7	31	41	39
		Paperia	57	45	49	14	25	35	33
54	D	Paperia	63	51	54	16	20	29	27
		Muebleria	67	23	59	62	94	57	101
		Muebleria	63	19	55	58	90	61	97
		Muebleria	59	15	51	54	86	65	93
		Muebleria	55	11	47	50	82	69	89
		Muebleria	51	7	43	46	78	73	85
		Muebleria	47	3	39	41	74	77	81
		Muebleria	43	5	35	37	70	81	77
Muebleria	39	13	31	33	66	85	73		
Muebleria	35	16	27	29	62	89	69		



55	A	Abarrotes	57	35	53	31	31	10	30
		Abarrotes	58	37	55	32	33	11	31
		Abarrotes	59	38	56	33	34	13	33
		Abarrotes	61	39	58	35	35	14	34
		Abarrotes	62	41	59	36	37	15	36
		Abarrotes	64	42	60	38	38	17	37
		Abarrotes	65	44	62	39	40	18	38
		Abarrotes	67	45	63	41	41	20	40
		Abarrotes	68	47	65	42	43	21	41
		Abarrotes	69	48	66	43	44	23	43
		Abarrotes	71	49	68	45	45	24	44
		Abarrotes	72	51	69	46	47	25	46
		Abarrotes	74	52	70	48	48	27	47
		Abarrotes	75	54	72	49	50	28	48
55	B	Carne y Pollo	95	88	90	64	62	37	44
		Carne y Pollo	93	85	88	62	60	39	42
		Carne y Pollo	91	83	85	59	58	42	39
		Carne y Pollo	89	81	83	57	55	44	37
		Carne y Pollo	86	79	81	55	53	46	35
		Carne y Pollo	84	76	79	53	51	48	33
		Carne y Pollo	82	74	76	50	48	51	30
		Carne y Pollo	79	72	74	48	46	53	28
		Carne y Pollo	77	69	72	46	44	55	26
		Carne y Pollo	75	67	70	43	42	57	23
55	C	Abarrotes	37	29	33	11	10	14	11
		Abarrotes	38	31	34	12	11	16	9
55	C	Abarrotes	40	32	33	14	13	17	8
		Abarrotes	41	34	31	15	14	18	7
		Abarrotes	42	35	30	17	16	20	5
		Abarrotes	44	37	28	18	17	21	4
		Abarrotes	45	38	27	20	19	23	2
		Abarrotes	47	39	25	21	20	24	3
		Abarrotes	48	41	24	22	21	26	5
		Abarrotes	50	42	23	24	23	27	6
		Abarrotes	51	44	21	25	24	28	8
		Abarrotes	52	45	20	27	26	30	9
		Abarrotes	54	47	18	28	27	31	11
		Abarrotes	55	48	17	30	29	33	12
		55	D	Electrodomest	83	74	76	45	44
Electrodomest	81			72	74	43	42	11	43
Electrodomest	79			70	72	41	40	9	41
Electrodomest	77			68	70	39	38	7	39
Electrodomest	75			66	68	37	36	5	37
Electrodomest	73			64	66	35	34	3	34
Electrodomest	71			62	64	33	32	1	32
Electrodomest	69			60	62	31	30	3	30
Electrodomest	67			58	60	29	28	5	28
Electrodomest	65			56	58	27	26	10	26
Electrodomest	63			54	56	25	24	13	24
Electrodomest	61			52	54	23	22	15	22
Electrodomest	59			50	52	21	20	17	20
Electrodomest	57			48	50	19	18	20	18
Electrodomest	55			46	48	17	16	22	16

57	A	Paperia	14	59	52	68	91	106	98
		Paperia	6	51	45	60	84	98	91
		Paperia	10	44	37	53	76	91	83
		Paperia	19	36	30	45	68	83	76
57	B	Verduras	9	10	7	12	21	27	24
		Verduras	10	11	6	13	22	29	25
		Abarrotes	15	17	6	20	32	40	36
		Abarrotes	17	19	4	22	34	42	38
		Abarrotes	19	21	2	24	36	44	40
		Carne y pollo	27	28	5	32	47	58	52
		Abarrotes	23	25	6	28	40	48	44
		Abarrotes	25	27	8	30	42	50	46
		Abarrotes	27	29	10	32	44	52	48
Verduras	22	23	9	25	34	41	37		

58	A	Tienda de ropa	28	28	14	30	42	46	42
		Abarrotes	38	35	18	39	55	60	55
		Abarrotes	39	34	17	38	54	59	54
		Abarrotes	41	33	16	36	53	58	53
		Abarrotes	42	32	14	35	51	57	52
58	B	Abarrotes	10	31	29	34	47	55	50
		Abarrotes	11	31	30	35	48	56	51
		Abarrotes	11	32	31	36	48	57	52
		Abarrotes	12	33	32	37	49	57	53
		Electrodomest	19	50	49	56	75	87	80
		Electrodomest	20	51	50	57	76	88	81
		Electrodomest	22	53	51	58	77	90	82
		Electrodomest	23	54	52	60	78	91	84
		Electrodomest	24	55	53	61	80	92	85
		Electrodomest	25	56	54	62	81	93	86
58	C	Abarrotes	20	41	40	45	57	65	61
		Abarrotes	21	42	40	45	58	66	61
		Abarrotes	22	42	41	46	59	67	62
		Abarrotes	22	43	42	47	59	68	63
		Abarrotes	23	44	43	48	60	68	64
58	D	Abarrotes	24	45	44	48	61	69	64
		Abarrotes	25	45	44	49	62	70	65
		Abarrotes	25	46	45	50	63	71	66
		Abarrotes	26	47	46	51	63	72	67
		Abarrotes	27	48	47	52	64	72	68
		Abarrotes	28	49	47	52	65	73	68
		Carne y pollo	36	62	60	66	82	92	86
		Abarrotes	29	50	49	54	67	75	70
		Verduras	23	38	37	41	51	57	53
		Abarrotes	31	52	51	56	68	76	72
		Carne y pollo	40	66	64	70	86	96	90
		Abarrotes	33	53	52	57	70	78	73
		Verduras	10	9	8	11	19	25	22
		Abarrotes	17	15	13	11	22	30	26
		Abarrotes	20	18	17	7	19	26	22
		Abarrotes	24	22	20	7	15	23	19
		Abarrotes	27	25	23	10	12	20	16
		Verduras	24	23	22	9	5	11	8
Verduras	25	24	23	11	4	12	9		

59	A	Abarrotes	35	34	32	16	3	18	13
		Abarrotes	37	36	34	17	1	19	15
		Abarrotes	39	37	35	19	1	21	17
		Abarrotes	40	39	37	21	2	23	18
		Abarrotes	42	41	39	22	4	24	20
		Abarrotes	44	42	40	24	5	26	22
		Abarrotes	45	44	42	25	7	28	23
59	B	Abarrotes	47	46	44	27	9	29	25
		Abarrotes	49	47	45	29	10	31	27
		Abarrotes	50	49	47	30	12	33	28
		Abarrotes	52	51	48	32	14	34	30
		Abarrotes	34	31	14	35	32	52	47
		Abarrotes	38	35	18	39	28	48	43
		Abarrotes	42	39	22	43	24	44	39
		Abarrotes	46	43	26	47	20	40	35
		Abarrotes	50	47	30	51	16	36	31
		Abarrotes	12	11	8	14	26	34	30
59	C	Huevería	14	13	6	16	28	37	32
		Carne y pollo	19	17	6	21	36	47	41
		Huevería	16	15	4	18	30	39	34
		Carne y pollo	21	20	4	24	39	49	44
		Huevería	18	17	2	20	32	41	36
		Carne y pollo	24	22	1	26	41	52	46
		Huevería	20	19	2	22	34	43	38
		Carne y pollo	27	25	4	29	44	54	49
		Abarrotes	22	21	4	24	36	45	40
		Abarrotes	23	22	5	25	37	46	41
		Abarrotes	24	23	6	26	38	47	42
59	D	Abarrotes	25	24	7	27	39	48	43
		Abarrotes	26	25	8	28	40	49	44
		Electrodomest	41	39	14	43	62	74	67
		Electrodomest	42	40	15	45	63	76	69
		Electrodomest	44	42	17	47	65	77	70
		Electrodomest	45	43	18	48	66	79	72
		Electrodomest	51	48	45	20	12	25	12

*Fuente:* Elaboración con base en datos recolectados en la Calle Gallardo y resultados del modelo de programación lineal Fase 1

*Anexo E- 19: Parametros de entrada del MPL Fase 2 “Maximizacion de cobertura de bahías”*

Parámetros de Solver ✕

Establecer objetivo:  ↑

Para:  Máx  Mín  Valor de:

Cambiando las celdas de variables:  ↑

Sujeto a las restricciones:

\$C\$15:\$C\$21 = binario  
\$N\$13:\$N\$19 <= \$P\$13:\$P\$19  
\$N\$9 <= \$P\$9

Convertir variables sin restricciones en no negativas

Método de resolución:  Opciones

Método de resolución

Seleccione el motor GRG Nonlinear para problemas de Solver no lineales suavizados. Seleccione el motor LP Simplex para problemas de Solver lineales, y seleccione el motor Evolutionary para problemas de Solver no suavizados.

*Fuente: Elaboración con base en datos recolectados en la Calle Gallardo mediante el programa Solver de Excel.*



*Anexo E- 20: Modelo de Programación Lineal “Maximización de cobertura de Bahías de Carga y Descarga”*

<b>FUNCIÓN OBJETIVO</b>
Maximizar las rutas optimas por tienda de la fase 1 con base en restricción Presupuestaria y Costos de Distribución

<b>MaxW</b>	55,19%
-------------	--------

<b>VARIABLES DE DECISION</b>
Decision de Instalar la bahia la bahia k

Bahia	Yi
1	0
2	1
3	1
4	0
5	0
6	1
7	0

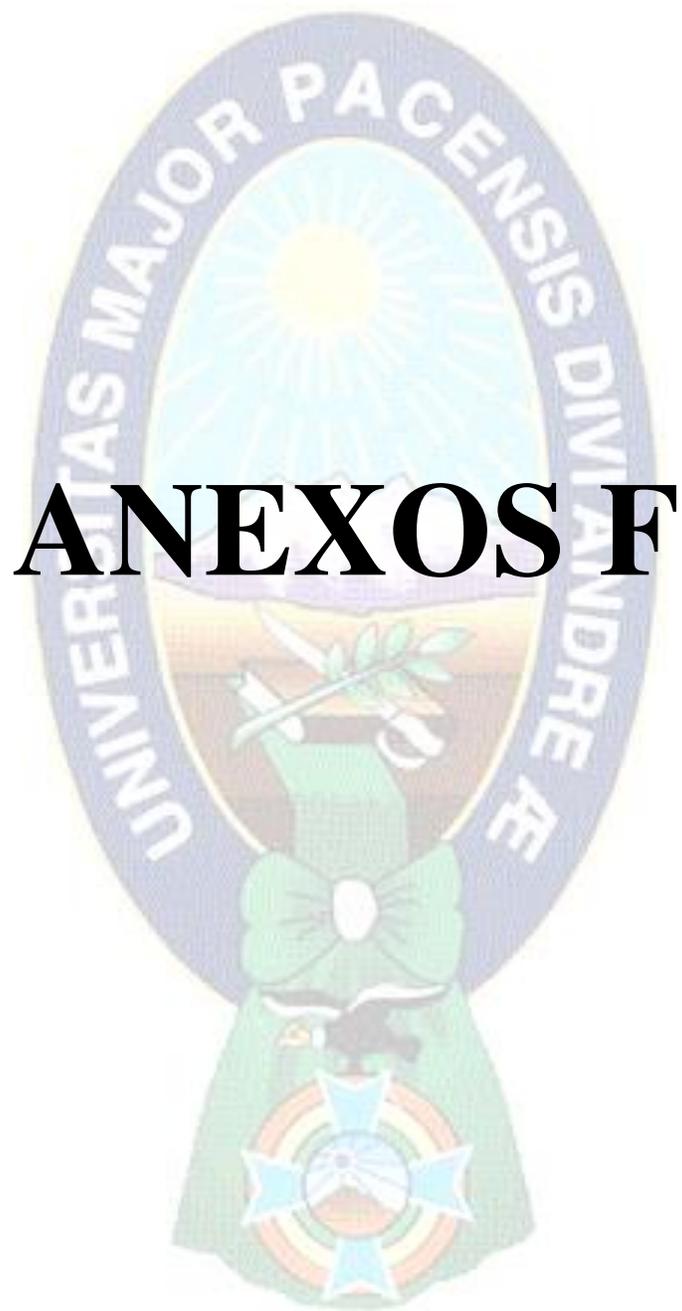
<b>RESTRICCIONES</b>
Restricción Presupuestaria

39690	<=	50.000
-------	----	--------

Restriccion de costo de distribución por bahia
--

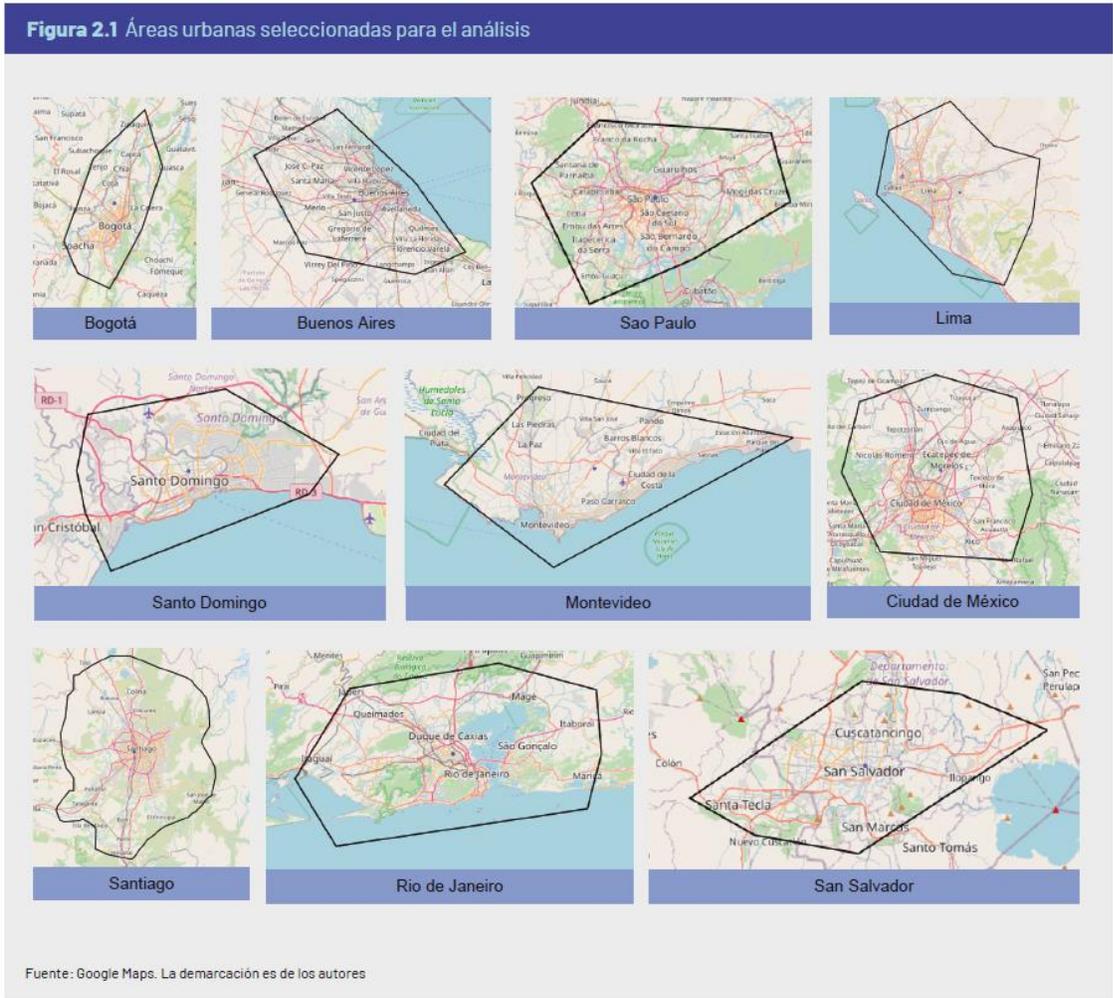
0	<=	10.000
8188	<=	10.000
8546	<=	10.000
0	<=	10.000
0	<=	10.000
9954	<=	10.000
0	<=	10.000

*Fuente: Elaboración con base en datos recolectados en la Calle Gallardo y resultados del modelo de programación lineal Fase 1 mediante el programa Solver de Excel*



# ANEXOS F

**Anexo F- 1: Áreas urbanas de las ciudades principales en America Latina y el Caribe**



**Fuente:** Obtenido de “Congestion Urbana en America Latina y el Caribe: Características, costos y mitigación”, BID, 2021.



**Anexo F- 2: Factores a costos de congestion en ciudades principales**

**Tabla 2.1** Estadísticas generales de los datos de Waze

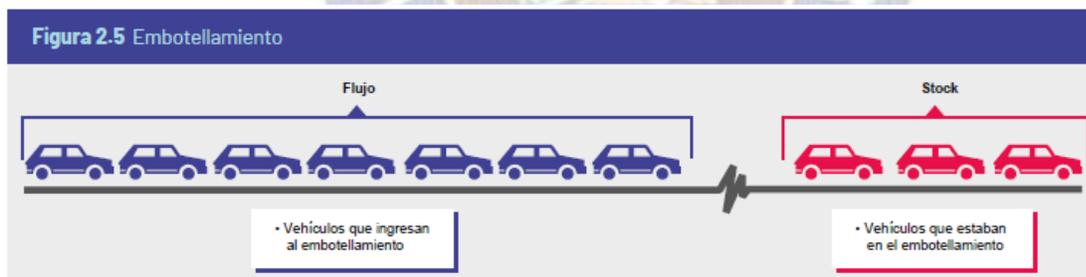
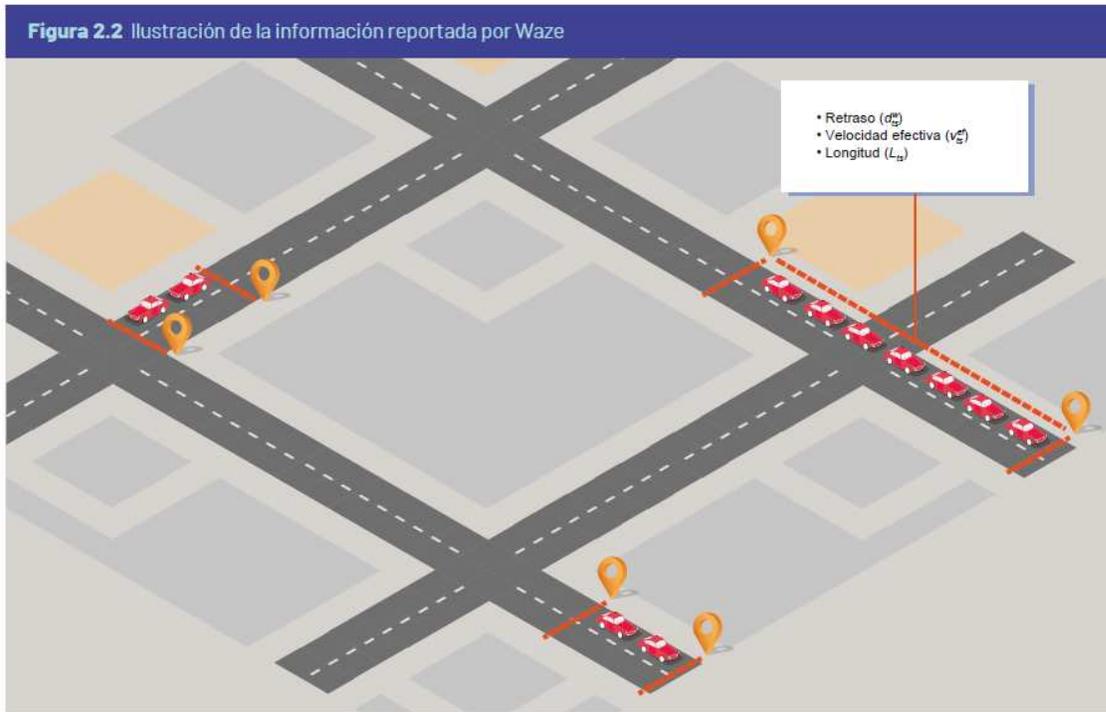
Ciudad	Observaciones (en millones)	Embotellamientos (en millones)	Duración promedio (en minutos)	Embotellamientos con duración inferior a 10 min (en millones)	Coefficiente de variación de la duración
Bogotá	1.101	17,8	20,9	12,9	5,2
Buenos Aires	634	21,5	15,4	16,9	6,3
Ciudad de México	2.162	37,1	14,7	23,1	3,7
Lima	1.456	15,5	15,8	11,0	4,9
Montevideo	132	2,1	74,7	1,6	3,6
Río de Janeiro	1.148	18,2	13,6	12,0	4,0
San Salvador	169	2,1	15,6	1,3	1,9
Santiago	576	11,8	12,9	8,7	4,1
Santo Domingo	371	5,9	13,2	4,0	3,0
Sao Paulo	2.432	43,4	15,5	29,0	3,8

Fuente: Cálculos propios a partir de los datos de Waze.

**Fuente:** Obtenido de “Congestion Urbana en America Latina y el Caribe: Características, costos y mitigación”, BID, 2021.



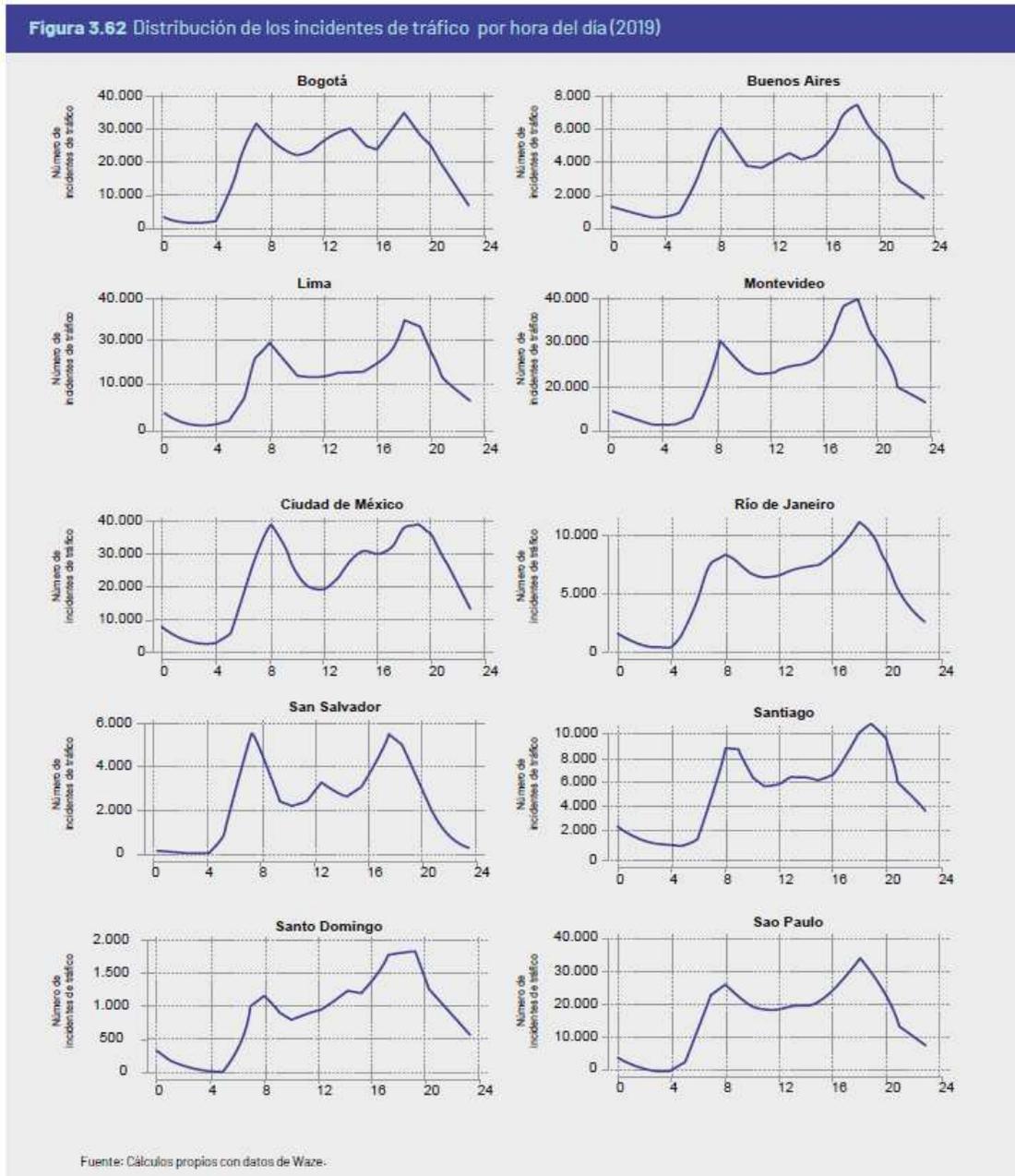
**Anexo F- 3:** Ilustración de embotellamiento y efectos del tráfico pesado en ciudades.



**Fuente:** Obtenido de “Congestion Urbana en America Latina y el Caribe: Características, costos y mitigación”, BID, 2021.



**Anexo F- 4: Distribución de incidentes de tráfico en principales ciudades de America Latina y el Caribe**



**Fuente:** Obtenido de “Congestion Urbana en America Latina y el Caribe: Características, costos y mitigación”, BID, 2021.



MINISTERIO DE DESARROLLO PRODUCTIVO Y ECONOMÍA PLURAL



DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-289-D/2024 La Paz, 04 de noviembre de 2024

VISTOS:

La solicitud de Inscripción de Derecho de Autor presentada en fecha 04 de noviembre de 2024 vía On-Line, por HASSAN ABDUL ALI ORIHUELA con C.I. N° 8465515 LP, con número de trámite DA 300-DIG/2024, señala la pretensión de inscripción del Proyecto de Grado titulado: "DISEÑO DE UN MODELO PILOTO DE LOGÍSTICA URBANA EN EL MUNICIPIO DE LA PAZ", cuyos datos y antecedentes se encuentran adjuntos y expresados en el Formulario de Declaración Jurada.

CONSIDERANDO:

Que, en observación al Artículo 4º del Decreto Supremo N° 27938 modificado parcialmente por el Decreto Supremo N° 28152 el "Servicio Nacional de Propiedad Intelectual SENAPI, administra en forma desconcentrada e integral el régimen de la Propiedad Intelectual en todos sus componentes, mediante una estricta observancia de los regímenes legales de la Propiedad Intelectual, de la vigilancia de su cumplimiento y de una efectiva protección de los derechos de exclusiva referidos a la propiedad industrial, al derecho de autor y derechos conexos; constituyéndose en la oficina nacional competente respecto de los tratados internacionales y acuerdos regionales suscritos y adheridos por el país, así como de las normas y regímenes comunes que en materia de Propiedad Intelectual se han adoptado en el marco del proceso andino de integración".

Que, el Artículo 16º del Decreto Supremo N° 27938 establece "Como núcleo técnico y operativo del SENAPI funcionan las Direcciones Técnicas que son las encargadas de la evaluación y procesamiento de las solicitudes de derechos de propiedad intelectual, de conformidad a los distintos regímenes legales aplicables a cada área de gestión". En ese marco, la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos otorga registros con carácter declarativo sobre las obras del ingenio cualquiera que sea el género o forma de expresión, sin importar el mérito literario o artístico a través de la inscripción y la difusión, en cumplimiento a la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, Ley de Derecho de Autor N° 1322, Decreto Reglamentario N° 23907 y demás normativa vigente sobre la materia.

Que, la solicitud presentada cumple con: el Artículo 6º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, el Artículo 26º inciso a) del Decreto Supremo N° 23907 Reglamento de la Ley de Derecho de Autor, y con el Artículo 4º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina.

Que, de conformidad al Artículo 18º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor en concordancia con el Artículo 18º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, referentes a la duración de los Derechos Patrimoniales, los mismos establecen que: "la duración de la protección concedida por la presente ley será para toda la vida del autor y por 50 años después de su muerte, a favor de sus herederos, legatarios y cesionarios"

Que, se deja establecido en conformidad al Artículo 4º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, y Artículo 7º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina que: "...No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias, artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas ni su aprovechamiento industrial o comercial"

Que, el Decreto Supremo, N° 4218 del 14 de abril de 2020, regula el teletrabajo como una modalidad especial de prestación de servicios caracterizada por la utilización de Tecnologías de la Información y Comunicación - TIC, en los sectores públicos y privados, estableciendo a través



Oficina Central - La Paz Av. Montes, N° 515, entre Esq. Uruguay y C. Batallón Illimani. Telfs.: 2115700 2119276 - 2119251

Oficina - Santa Cruz Av. Uruguay, Calle prolongación Quijarro, N° 29, Edif. Bicentenario. Telfs.: 3121752 - 72042936

Oficina - Cochabamba Calle Bolívar, N° 737, entre 16 de Julio y Antezana. Telfs.: 4141403 - 72042957

Oficina - El Alto Av. Juan Pablo II, N° 2560 Edif. Multicentro El Ceibo Ltda. Piso 2, Of. 5B, Zona 16 de Julio. Telfs.: 2141001 - 72043029

Oficina - Chuquisaca Calle Kilómetro 7, N° 366 casi esq. Uruilagoitia, Zona Parque Bolívar. Telf.: 72005873

Oficina - Tarija Av. La Paz, entre Calles Ciro Trigo y Avaroa Edif. Santa Clara, N° 243. Telf.: 72015286

Oficina - Oruro Calle 6 de Octubre, N° 5837, entre Ayacucho y Junín, Galería Central, Of. 14. Telf.: 67201288

Oficina - Potosí Av. Villazón entre calles Wenceslao Alba y San Alberto, Edif. AM. Salinas N° 242, Primer Piso, Of. 17. Telf.: 72018160

www.senapi.gob.bo

de su Artículo 12 que "con el objeto de implementar y, promover el teletrabajo, las entidades públicas, deben desarrollar e implementar una estrategia de digitalización para la atención de trámites y servicios en línea en el marco del Plan de Implementación del Gobierno Electrónico ...".

Que, mediante Resolución Administrativa N° 14/2020 del 22 de abril de 2020, el Director General Ejecutivo del SENAPI, Resuelve: "... Aprobar el Reglamento para trámites On-Line de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos del Servicio Nacional de Propiedad Intelectual ..."

Que, el artículo 4, inciso e) de la ley N° 2341 de Procedimiento Administrativo, instituye que: "... en la relación de los particulares con la Administración Pública, se presume el principio de buena fe. La confianza, la cooperación y la lealtad en la actuación de los servidores públicos y de los ciudadanos ...", por lo que se presume la buena fe de los administrados respecto a las solicitudes de registro y la declaración jurada respecto a la originalidad de la obra.

#### POR TANTO:

El Director de Derecho de Autor y Derechos Conexos sin ingresar en mayores consideraciones de orden legal, en ejercicio de las atribuciones conferidas.

#### RESUELVE:

**INSCRIBIR** en el Registro de Tesis, Proyectos de Grado, Monografías y Otras Similares de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos, el Proyecto de Grado titulado: "**DISEÑO DE UN MODELO PILOTO DE LOGÍSTICA URBANA EN EL MUNICIPIO DE LA PAZ**" a favor del autor y titular: **HASSAN ABDUL ALI ORIHUELA** con C.I. N° **8465515 LP**, quedando amparado su derecho conforme a Ley, salvando el mejor derecho que terceras personas pudieren demostrar.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.

CASA/lm

Firmado Digitalmente por:

Servicio Nacional de Propiedad Intelectual - SENAPI  
**CARLOS ALBERTO SORUCO ARROYO**  
**DIRECTOR DE DERECHO DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS**  
LA PAZ - BOLIVIA



Firma:



RYljp3Wp4Pr15I

PARA LA VALIDACIÓN DEL PRESENTE DOCUMENTO INGRESAR A LA PÁGINA WEB [www.senapi.gob.bo/verificacion](http://www.senapi.gob.bo/verificacion) Y COLOCAR CÓDIGO DE VERIFICACIÓN O ESCANEAR CÓDIGO QR.



Oficina Central - La Paz  
Av. Montes, N° 515,  
entre Esq. Uruguay y  
C. Batallón Illimani.  
Telfs: 2115700  
2119276 - 2119251

Oficina - Santa Cruz  
Av. Uruguay, Calle  
prolongación Quijano,  
N° 29, Edif. Bicentenario.  
Telfs: 3121752 - 72042936

Oficina - Cochabamba  
Calle Bolívar, N° 737,  
entre 1° de Julio y Antezana.  
Telfs: 4141403 - 72042957

Oficina - El Alto  
Av. Juan Pablo II, N° 2560  
Edif. Multicentro El Ceibo  
Ltda. Piso 2, Of. 5B,  
Zona 16 de Julio.  
Telfs: 2441001 - 72043029

Oficina - Chuquisaca  
Calle Kilómetro 7, N° 366  
casi esq. Urmilagoitia,  
Zona Parque Bolívar.  
Telf: 72005873

Oficina - Tarija  
Av. La Paz, entre  
Calles Ciro Trigo y Avaroa  
Edif. Santa Clara, N° 243.  
Telf: 72015286

Oficina - Oruro  
Calle 6 de Octubre, N° 5837,  
entre Ayacucho  
y Junín, Galería Central,  
Of. 14.  
Telf: 67201288

Oficina - Potosí  
Av. Villazón entre calles  
Wenceslao Alba y San Alberto,  
Edif. AM. Salinas N° 242,  
Primer Piso, Of. 17.  
Telf: 72018160

[www.senapi.gob.bo](http://www.senapi.gob.bo)

Autor: Hassan Abdul Ali Orihuela

Correo Electronico: [h.ali.orihuela@gmail.com](mailto:h.ali.orihuela@gmail.com)

Celular: (+591) 76273532

