

Simulación

**Modelación y Simulación de Operaciones de
Transporte Público:**

Análisis de la Línea 'Las Galaxias'



09 DE DICIEMBRE 2024

**José Patricio Galaz Norambuena
Gabriela Paz Flores Hormazábal
Francisca Andrea Molina Torres
Krishna Belén Riquelme Balboa
Cristóbal Emilio Game Jiménez**

Contenido

Resumen Ejecutivo	3
1. Introducción	5
2. Descripción del Sistema	6
3. Análisis de Datos.....	7
4. Modelos de Simulación	13
5. Análisis de Resultados.....	19
6. Conclusión	30
Referencias.....	33
Anexo	34

Resumen Ejecutivo

El presente informe aborda la planificación y optimización operativa de la línea de transporte público “Las Galaxias” en el Gran Concepción mediante la implementación de modelos de simulación. El objetivo principal fue proponer y validar un modelo que describa la operación semanal de la línea, evaluar diversos escenarios operativos y analizar las multas por atrasos para identificar nodos críticos y patrones de comportamiento.

Metodología

Se desarrolló un modelo de simulación utilizando **Python** y la biblioteca **SimPy**, complementado con **Matplotlib** para la visualización de resultados. El modelo incorpora entidades clave como **Pasajeros**, **Paradas** y **Buses**, basándose en datos reales obtenidos de la **Encuesta Origen-Destino (EOD) Gran Concepción (2017)**, el **Plan Operacional de Transporte (POT) VIII Región** y registros internos de **multas por atrasos**. Se consideraron tres escenarios operativos:

1. **Escenario Base:** Operación actual sin modificaciones.
2. **Escenario Flota Aumentada:** Incremento de la flota durante horarios punta y no punta.
3. **Escenario Ruta Alternativa:** Desvío de la ruta hacia el aeropuerto en lugar de continuar hasta Talcahuano.

Principales Hallazgos

- **Escenario Base:**
 - **Pasajeros Atendidos:** 41,680.
 - **Ocupación Promedio:** Alta ocupación en paradas intermedias y final (hasta 82.8%).
 - **Tiempos de Espera:** Promedio de 5.41 minutos.
 - **Multas por Atraso:** Total de 1,978,000 unidades monetarias.
 - **Pasajeros No Atendidos:** 1,640.
- **Escenario Flota Aumentada:**
 - **Pasajeros Atendidos:** 41,632.
 - **Ocupación Promedio:** Reducida significativamente (hasta 37.9%).
 - **Tiempos de Espera:** Promedio reducido a 4.09 minutos.
 - **Multas por Atraso:** Incremento a 3,943,000 unidades monetarias.
 - **Pasajeros No Atendidos:** Solo 3.
- **Escenario Ruta Alternativa:**
 - **Pasajeros Atendidos:** 29,934.
 - **Ocupación Promedio:** Mejor distribución (16.2% en primera parada y 27.2% en aeropuerto).
 - **Tiempos de Espera:** Promedio de 4.30 minutos.
 - **Multas por Atraso:** Aumento a 2,563,000 unidades monetarias.
 - **Pasajeros No Atendidos:** 0.

Limitaciones

El estudio presenta varias limitaciones, incluyendo el uso de datos supuestos para tasas de llegada de pasajeros y tiempos operativos, la falta de variabilidad horaria real, y la simplificación de destinos finales de los pasajeros. Además, la probabilidad de retraso se modeló de manera fija, sin considerar factores externos como condiciones climáticas o congestión vial.

Propuestas para Investigaciones Futuras

Para mejorar la precisión y aplicabilidad del modelo, se sugieren las siguientes acciones:

1. **Incorporar Datos Reales y Actualizados:** Utilizar información más reciente y detallada sobre patrones de movilidad y puntualidad.
2. **Considerar Costos Operativos:** Incluir un análisis económico que evalúe los costos adicionales de flota y multas.
3. **Explorar Vehículos Alternativos:** Evaluar la viabilidad de integrar buses eléctricos o de menor capacidad.
4. **Incorporar Variabilidad Horaria y Estacional:** Ajustar el modelo para reflejar fluctuaciones diarias y estacionales en la demanda.
5. **Simular Factores Externos de Retraso:** Incluir variables que representen condiciones externas que puedan afectar la puntualidad.
6. **Realizar Análisis de Sensibilidad:** Determinar cómo afectan las variaciones en parámetros clave al desempeño del sistema.

Conclusión

El modelo de simulación desarrollado ha permitido identificar que incrementar la flota y modificar las rutas pueden mejorar significativamente la eficiencia y calidad del servicio de la línea “Las Galaxias”. Sin embargo, estas mejoras conllevan desafíos adicionales, como el aumento de multas por atrasos. Las limitaciones del estudio resaltan la necesidad de refinar el modelo con datos más precisos y considerar una gama más amplia de variables operativas para obtener una representación más fiel y útil del sistema de transporte público en el Gran Concepción.

1. Introducción

La planificación y operación del transporte público en áreas urbanas constituyen un desafío permanente, especialmente en zonas metropolitanas con crecimiento demográfico y una demanda altamente variable (**Fernández & Vallejo, 2009**). En la región del Gran Concepción, las autoridades de transporte y las empresas operadoras enfrentan la tarea de equilibrar la frecuencia de servicios, la capacidad de las flotas y la calidad del servicio, en un contexto donde las condiciones de tráfico, la distribución espacial de la población y las restricciones regulatorias del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT) juegan un rol central (**MTT, 2015**).

En este marco, la línea de transporte público “Las Galaxias” se presenta como un caso de estudio relevante. Esta línea conecta diversas comunas y sectores, incluyendo puntos residenciales y nodos urbanos de importancia. Sin embargo, factores como la variabilidad de la demanda, los horarios punta, las limitaciones en la flota, y la posible introducción de recorridos alternativos hacen necesario el uso de técnicas de modelación y simulación. Estas herramientas permiten evaluar el impacto de diferentes configuraciones operativas, ya sea manteniendo la situación actual (escenario base), incrementando la flota en horarios de alta demanda (escenario flota aumentada) o incorporando un desvío hacia el aeropuerto (escenario ruta alternativa).

El objetivo de este informe es presentar un modelo de simulación que represente la operación semanal de la línea “Las Galaxias” y analizar los resultados obtenidos bajo los tres escenarios mencionados. Para ello, se han empleado datos reales (como el plan operacional mínimo exigido por el MTT y las multas por atraso) y se han completado las lagunas de información con supuestos derivados de la Encuesta Origen-Destino de Concepción y otras fuentes secundarias. El análisis se centra en métricas clave como la cantidad de pasajeros atendidos, los tiempos de espera, la tasa de ocupación de los buses y la incidencia de multas por atrasos.

No obstante, cabe señalar que el presente trabajo se basa en una combinación de datos reales y supuestos, por lo que los resultados deben entenderse como un punto de partida, antes que una representación exhaustiva de la realidad. El enfoque adoptado permite identificar patrones, nudos críticos y posibles mejoras operativas, pero la validación con información más detallada y actualizada sería deseable en futuras investigaciones.

En las secciones siguientes se describe el sistema en estudio (Sección 2), los datos empleados (Sección 3), el modelo de simulación desarrollado (Sección 4), los resultados obtenidos (Sección 5) y las conclusiones generales (Sección 6). Finalmente, se adjuntan anexos con información complementaria y las referencias bibliográficas (Secciones 7 y Referencias, respectivamente).

2. Descripción del Sistema

La línea de transporte público “Las Galaxias” opera en el Gran Concepción, conectando zonas residenciales de Hualqui, Chiguayante y otras comunas con centros urbanos de relevancia, tales como San Vicente. Este servicio se enmarca en los requerimientos mínimos establecidos por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, lo que incluye la definición de servicios, frecuencias, horarios y estándares de calidad (MTT, 2015). Además, debido al aumento de la motorización y la demanda compleja documentada en encuestas origen-destino previas (Fernández & Vallejo, 2009; MTT, 2015), se observa la necesidad de modelos de simulación que apoyen la toma de decisiones sobre rutas y frecuencias.

La operación actual considera múltiples servicios (por ejemplo, 80J, 80Q, 80K, 80H, 80L, 80Z), los cuales conectan Hualqui (Santa Josefina o Troncal) y Chiguayante con San Vicente, abarcando distancias promedio entre 35 y 50 kilómetros por expedición y transportando del orden de 30.000 pasajeros diarios en condiciones normales. Cada expedición puede durar aproximadamente 1 hora 30 minutos, dependiendo de las condiciones del tráfico y las paradas intermedias. Los buses utilizados tienen una capacidad cercana a los 50 pasajeros, un estándar común en sistemas urbanos (Núñez et al., 2024), y se han adoptado tiempos de referencia para las operaciones: 2 segundos por pasajero en la subida y 1 segundo por pasajero en la bajada, lo que proporciona un marco referencial para evaluar la eficiencia de las maniobras de carga/descarga en las paradas.

La definición de horarios punta, establecidos aproximadamente entre las 7:00-9:00 y 17:00-19:00 horas, responde a la variabilidad horaria de la demanda, reflejando los momentos en que se concentra la mayor cantidad de usuarios (Universidad de Chile, 2023). Bajo estos lineamientos, se generan las condiciones base para el modelo de simulación:

- **Ruta base:** Conexión Hualqui-San Vicente, con paradas intermedias.
- **Horarios punta:** Mayor afluencia de pasajeros, donde la frecuencia base es de aproximadamente 6 buses/hora en la categoría ALTA de demanda.
- **Demandas y supuestos:** A partir de la información proporcionada por la Encuesta Origen-Destino y bibliografía especializada, se asignan tasas de llegada de pasajeros con distintos niveles (ALTA, MEDIA, BAJA), ajustadas de forma arbitraria pero justificada, con el fin de reflejar diferentes escenarios y sensibilidades del modelo.
- **Infraestructura y condiciones:** Si bien el modelo no incorpora en detalle la infraestructura, se asume la existencia de terminales adecuados para mantenimiento y abastecimiento, en línea con las condiciones mencionadas en la documentación disponible.

En suma, el sistema a modelar se caracteriza por una línea establecida, con rutas y horarios definidos, operaciones bajo condiciones estándar de capacidad y tiempos, y un entorno regulatorio que fija los mínimos requeridos. Estos elementos, combinados con la información previa y los supuestos adoptados, sientan las bases para el desarrollo del modelo de simulación y el análisis posterior de resultados.

3. Análisis de Datos

El análisis de datos constituye una etapa fundamental para la construcción y validación del modelo de simulación de la línea de transporte público “Las Galaxias”. En esta sección se presentan las fuentes de datos utilizadas, su procesamiento y los supuestos derivados que sustentan el modelo. Los datos principales provienen de la **Encuesta Origen-Destino (EOD) de Viajes Gran Concepción (2017)**, el **Plan Operacional de Transporte (POT) de la VIII Región** y registros internos de **multas por atrasos** obtenidos de la operadora de la línea.

3.1 Fuentes de Datos

3.1.1 Encuesta Origen-Destino (EOD) Gran Concepción

La **Encuesta Origen-Destino (EOD) de Viajes Gran Concepción (2017)** proporciona información detallada sobre los patrones de movilidad de los habitantes de la región. Esta encuesta incluyó 8,303 hogares y 26,328 personas, registrando un total de 47,580 viajes (**EOD Gran Concepción, 2017**). Los principales aspectos considerados fueron:

- **Demografía de los hogares:** Tamaño promedio del hogar, nivel de ingresos y tasa de motorización.
- **Patrones de viaje:** Número de viajes por persona, propósito del viaje (trabajo, estudio, otros) y modo de transporte utilizado.
- **Distribución espacial de los viajes:** Origen y destino de cada viaje, permitiendo identificar las rutas más demandadas.

3.1.2 Plan Operacional de Transporte (POT) VIII Región

El **Plan Operacional de Transporte (POT) de la VIII Región** establece los estándares mínimos para la operación de servicios de transporte público, incluyendo frecuencias, horarios y requisitos de infraestructura (**Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones [MTT], 2015**). Este documento fue esencial para definir las condiciones operativas del modelo, como:

- **Frecuencia de servicios:** Establecida en 6 buses por hora durante horarios punta.
- **Horarios punta:** Definidos entre las 7:00-9:00 y 17:00-19:00 horas.
- **Capacidad de los buses:** Determinada en 50 pasajeros por unidad.
- **Estándares de puntualidad y multas:** Regulaciones sobre atrasos y sanciones aplicables.

3.1.3 Registro de Multas por Atrasos

Los datos de **multas por atrasos** fueron recopilados de los registros operativos de la línea. Estos datos incluyen la cantidad de multas impuestas por cada parada, el tiempo de atraso asociado y el costo de cada multa. Esta información es crucial para evaluar el impacto de los diferentes escenarios operativos en la eficiencia y puntualidad del servicio.

3.2 Procesamiento de Datos

3.2.1 Demanda de Pasajeros

La demanda de pasajeros en cada parada se modeló utilizando las tasas de llegada derivadas de la EOD. Se consideraron tres niveles de demanda: **ALTA**, **MEDIA** y **BAJA**, ajustando las tasas base según la hora del día y el tipo de parada. La **Tabla 1** presenta los servicios por expedición origen y destino, incluyendo la distancia promedio de cada recorrido.

Tabla 1: Servicios por expedición origen y destino

Servicio	Sentido	Origen	Destino	Distancia Promedio (km)
80J	Ida	HUALQUI (SANTA JOSEFINA)	SAN VICENTE	50
80Q	Regreso	SAN VICENTE	HUALQUI (SANTA JOSEFINA)	49
80K	Ida	HUALQUI (TRONCAL)	SAN VICENTE	46
80H	Regreso	SAN VICENTE	HUALQUI (TRONCAL)	47
80L	Ida	CHIGUAYANTE (VALLE)	SAN VICENTE	35
80Z	Regreso	SAN VICENTE	CHIGUAYANTE (VALLE)	35

Fuente: Información obtenida mediante perímetro de exclusión 2023 y configuración GPS de recorrido Ruta Las Galaxias.

3.2.2 Programa de Operación

El **Programa de Operación** detalla la frecuencia de los buses según el nivel de demanda y horario. La **Tabla 2** muestra el programa de operación, especificando las variantes en operación y el nivel de frecuencia correspondiente a cada período horario.

Tabla 2: Programa de operación según nivel de frecuencia y horario

Periodo	Horario	Variantes en Operación	Nivel de Frecuencia
0	00:00-00:59	-	-
1	01:00-01:59	-	-
...
5	05:00-05:59	J-Q-K-H-L-Z	Baja
6	06:00-06:59	J-Q-K-H-L-Z	Media
...

Fuente: Información obtenida mediante perímetro de exclusión 2023 y configuración GPS de recorrido Ruta Las Galaxias.

3.3 Supuestos del Modelo

Dado que no todos los datos necesarios estaban disponibles, se realizaron una serie de **supuestos** para completar la información requerida:

1. **Tasa de Llegada base:** Se asumió una tasa de llegada de pasajeros de 0.013 pasajeros por segundo para el nivel de demanda ALTA, ajustándola a 0.5 y 1.0 para los niveles BAJA y MEDIA, respectivamente.
2. **Tiempo de subida y bajada:** Se establecieron tiempos de 2 segundos por pasajero para la subida y 1 segundo por pasajero para la bajada, basados en estudios previos sobre eficiencia operativa en transporte público.
3. **Distribución de destinos:** Se asumió que todos los pasajeros tienen como destino final la última parada de la ruta (SAN VICENTE), simplificando la asignación de destinos.
4. **Probabilidad de retraso:** Se incorporó una probabilidad del 10% de que un bus sufra un retraso adicional durante el viaje entre paradas, modelado con una distribución exponencial.
5. **Demanda constante:** Se asumió que la demanda de pasajeros es constante durante cada nivel de frecuencia y no varía entre días de la semana.

3.4 Análisis Descriptivo de los Datos

3.4.1 Tasa de Motorización por Comuna

La **Tabla 3** muestra la tasa de motorización por hogar en distintas comunas del Gran Concepción, evidenciando una tendencia creciente en la posesión de vehículos privados (**EOD Gran Concepción, 2017**).

Tabla 3: Tasa de Motorización por Comuna

Comuna	Tasa de Motorización (2015)
Chiguayante	0.56
Concepción	0.55
Coronel	0.41
Hualpén	0.54
Hualqui	0.49
Lota	0.24
Penco	0.35
San Pedro de la Paz	0.78
Talcahuano	0.56
Tomé	0.34
Gran Concepción	0.52

Fuente: Encuesta Origen-Destino Gran Concepción (2017).

3.4.2 Participación Modal

La **Figura 1** ilustra la participación modal en los viajes durante días laborales, destacando que el **transporte público** representa aproximadamente el 32.4% de los viajes, seguido por el **transporte privado** con un 23.9%, y la **caminata** con un 24.4%.

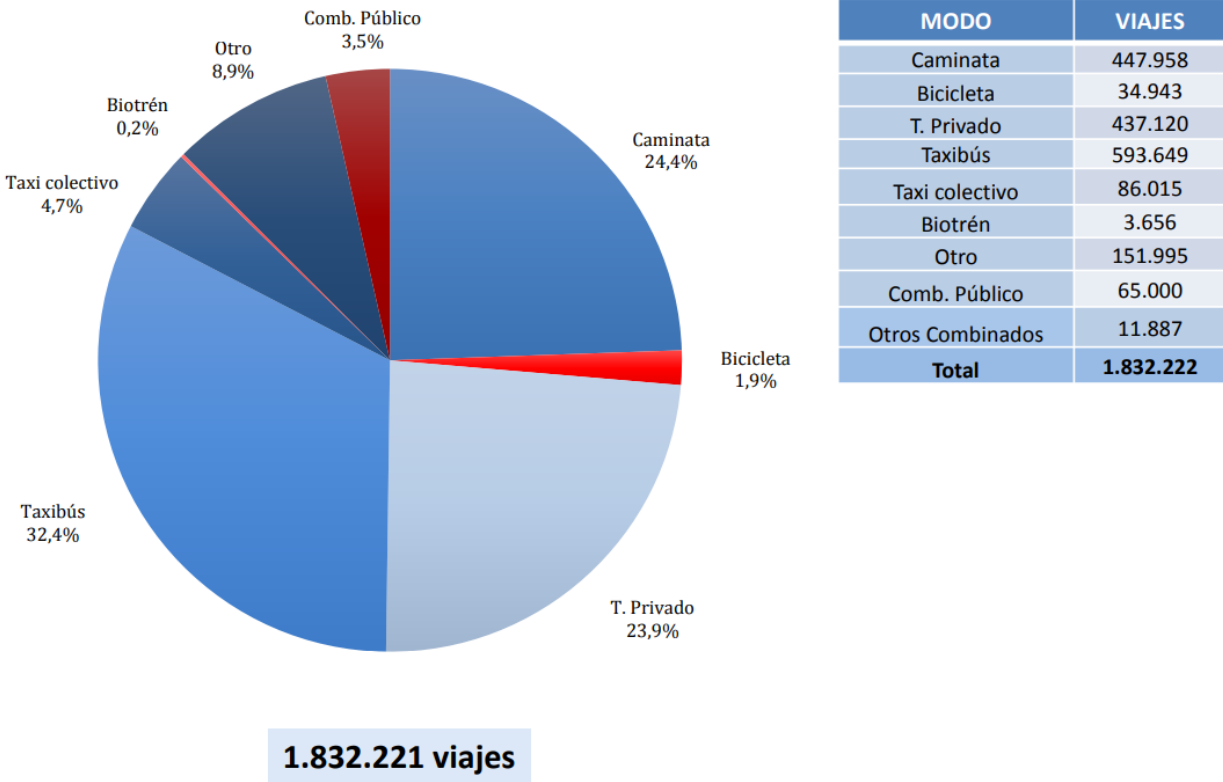


Figura 1. Participación Modal en Día Laboral Gran Concepción.

Fuente: Encuesta Origen-Destino Gran Concepción (2017).

3.4.3 Generación de Viajes por Hogar y Persona

La **Tabla 4** y la **Tabla 5** presentan la tasa de generación de viajes por hogar y por persona, respectivamente, segmentadas por nivel de ingreso. Se observa que los hogares de **Ingreso Alto** generan más viajes en promedio (8.05 por hogar) en comparación con los de **Ingreso Medio** (6.76) y **Ingreso Bajo** (4.68).

Tabla 4: Tasa de Generación de Viajes por Hogar según Ingreso

Nivel de Ingreso	Tasa de Generación de Viajes por Hogar
Bajo	4.68
Medio	6.76
Alto	8.05

Fuente: Encuesta Origen-Destino Gran Concepción (2017).

Tabla 5: Tasa de Generación de Viajes por Persona según Ingreso

Nivel de Ingreso	Tasa de Generación de Viajes por Persona
Bajo	1.24
Medio	1.07
Alto	0.94

Fuente: Encuesta Origen-Destino Gran Concepción (2017).

3.4.4 Gastos en Transporte por Hogar

La **Figura 2** muestra el gasto relativo en transporte por hogar, diferenciando entre niveles de ingreso. Se evidencia que los hogares de **Ingreso Alto** destinan una mayor proporción de su ingreso al transporte en comparación con los de **Ingreso Medio** y **Ingreso Bajo**.

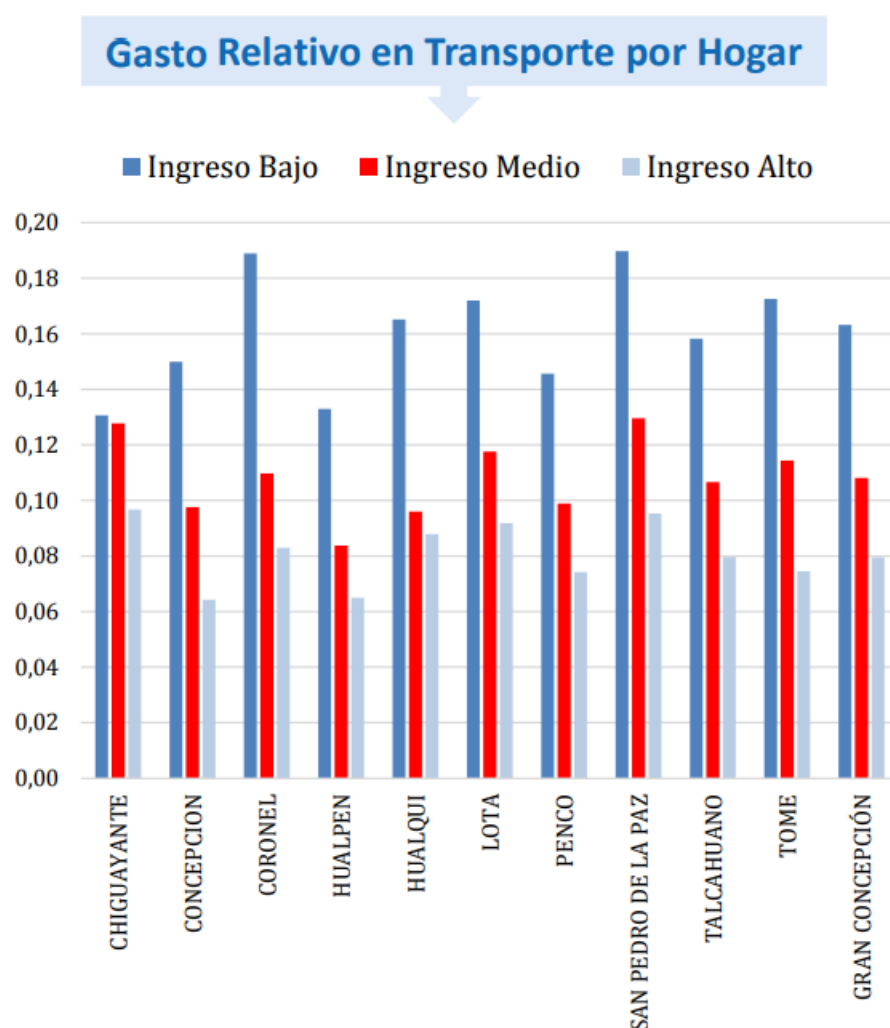


Figura 2. Gasto Relativo en Transporte por Hogar según Ingreso.

Fuente: Encuesta Origen-Destino Gran Concepción (2017).

3.5 Integración de Datos en el Modelo de Simulación

Los datos procesados permiten definir los parámetros esenciales del modelo de simulación:

- **Demanda de pasajeros:** Basada en la tasa de generación de viajes y la distribución modal.
- **Frecuencia y horarios:** Definidos según el POT, ajustados para los distintos escenarios operativos.
- **Capacidad y tiempos operativos:** Establecidos conforme a los estándares de la línea y los supuestos del modelo.
- **Multas por atrasos:** Incorporadas en función de la puntualidad y el rendimiento del servicio bajo cada escenario.

El análisis descriptivo revela patrones clave, como la alta tasa de motorización en comunas como **San Pedro de la Paz** y una significativa participación del transporte público en los viajes diarios. Estos hallazgos orientan la configuración del modelo y la interpretación de los resultados obtenidos en los diferentes escenarios operativos.

3.6 Limitaciones del Análisis de Datos

Es importante reconocer que algunos datos se han derivado mediante **supuestos** debido a la falta de información completa. La utilización de tasas de llegada arbitrarias y la simplificación de destinos podrían afectar la precisión del modelo. Además, la encuesta EOD se realizó en 2017, por lo que cambios recientes en patrones de movilidad no están reflejados en los datos utilizados. Estas limitaciones deben considerarse al interpretar los resultados y al realizar futuras mejoras al modelo.

4. Modelos de Simulación

La simulación es una herramienta fundamental para analizar y predecir el comportamiento de sistemas complejos, permitiendo evaluar diferentes escenarios operativos sin incurrir en costos reales ni interrupciones en el servicio. En este informe, se desarrolló un modelo de simulación para la línea de transporte público “Las Galaxias” utilizando **Python** y la biblioteca **SimPy**, complementado con **Matplotlib** para la generación de gráficos y visualizaciones de resultados.

4.1 Entorno de Simulación

El modelo de simulación se implementó en **Python** debido a su versatilidad y amplia gama de bibliotecas especializadas en simulación y análisis de datos. **SimPy** se utilizó como framework principal para la simulación de eventos discretos, permitiendo la modelación eficiente de procesos y recursos dentro del sistema de transporte. **Matplotlib** fue empleado para la visualización de resultados, facilitando la interpretación de métricas clave como tiempos de espera, ocupación de buses y multas por atrasos.

4.2 Entidades del Modelo

El modelo está compuesto por tres entidades principales que interactúan dentro del entorno simulado:

4.2.1 Pasajero

Los **Pasajeros** representan a los usuarios del servicio de transporte. Cada pasajero tiene atributos como:

- **ID:** Identificador único.
- **Origen:** Parada donde inicia el viaje.
- **Destino:** Parada final del viaje.
- **Tiempo de Llegada:** Momento en que el pasajero llega a la parada.
- **Tiempo de Abordaje:** Momento en que el pasajero sube al bus.

La generación de pasajeros se basa en tasas de llegada determinadas por los niveles de demanda (ALTA, MEDIA, BAJA) obtenidos de la **Encuesta Origen-Destino (EOD) de Gran Concepción (2017)** (EOD Gran Concepción, 2017).

4.2.2 Parada

Las **Paradas** son los puntos donde los pasajeros suben y bajan de los buses. Cada parada tiene:

- **Nombre:** Identificador de la parada.
- **Cola de Pasajeros:** Lista de pasajeros esperando para abordar.
- **Total de Pasajeros:** Contador de pasajeros que han llegado a la parada.

- **Pasajeros No Atendidos:** Contador de pasajeros que no pudieron abordar debido a la capacidad limitada del bus.

La generación de pasajeros en cada parada está regulada por procesos que simulan la llegada de usuarios según las tasas de demanda establecidas (**EOD Gran Concepción, 2017**).

4.2.3 Bus

Los **Buses** son los vehículos que transportan a los pasajeros a lo largo de la ruta definida. Cada bus posee:

- **ID:** Identificador único.
- **Ruta:** Lista de paradas que el bus debe recorrer.
- **Capacidad:** Número máximo de pasajeros que puede transportar.
- **Registro de Ocupación:** Lista que registra la ocupación del bus en cada parada.
- **Registro de Multas:** Lista que registra las multas por atrasos en cada parada.
- **Registro de Subidas y Bajadas:** Listas que registran los eventos de subida y bajada de pasajeros.

Los buses recorren la ruta siguiendo intervalos de tiempo definidos por la frecuencia de salida y experimentan posibles retrasos basados en probabilidades establecidas.

4.3 Lógica del Modelo

El modelo simula una semana completa de operación (7 días) de la línea “Las Galaxias”, considerando tanto horarios punta como no punta. A continuación, se detalla la lógica operativa del modelo:

1. **Inicialización del Entorno:** Se configura el entorno de simulación con **SimPy**, estableciendo el tiempo total de simulación en segundos (7 días).
2. **Generación de Buses:** Según el escenario operativo, se generan buses en intervalos de tiempo determinados por la frecuencia base (6 buses por hora durante horarios punta). En escenarios con flota aumentada, se incrementa el número de buses en horarios punta y no punta según lo especificado.
3. **Recorrido de la Ruta:**
 - **Llegada a la Parada:** Al llegar a una parada, el bus verifica si ha llegado a tiempo según el horario programado. Si hay un atraso, se imponen multas según las regulaciones establecidas.
 - **Bajada de Pasajeros:** Se identifican y procesan los pasajeros cuyo destino es la parada actual, registrando el tiempo de bajada.
 - **Subida de Pasajeros:** Se suben pasajeros de la cola hasta alcanzar la capacidad máxima del bus. Cada subida incrementa la ocupación del bus y registra el tiempo de espera del pasajero.

- **Tiempo de Viaje entre Paradas:** Se simula el tiempo de viaje entre paradas, incluyendo posibles retrasos basados en una probabilidad de 10% de que ocurra un retraso adicional.
- 4. **Registro de Eventos:** Durante toda la simulación, se registran eventos clave como tiempos de espera, ocupación de buses, multas impuestas y pasajeros no atendidos.
- 5. **Análisis de Resultados:** Al finalizar la simulación, se procesan los datos registrados para generar métricas descriptivas y visualizaciones que permiten evaluar el desempeño del sistema bajo diferentes escenarios operativos.

4.4 Implementación de Escenarios

El modelo permite analizar tres escenarios operativos distintos:

4.4.1 Escenario Base

Este escenario representa la operación actual de la línea “Las Galaxias” sin modificaciones. Se utiliza la frecuencia estándar de 6 buses por hora durante horarios punta, sin aumento en la flota ni cambios en la ruta. Este escenario sirve como punto de referencia para comparar los impactos de los escenarios alternativos.

4.4.2 Escenario Flota Aumentada

En este escenario, se incrementa la flota de buses para mejorar la capacidad y reducir los tiempos de espera durante horarios de alta demanda. Específicamente:

- **Horarios Punta (7:00-9:00 y 17:00-19:00):** Se añaden 2 buses adicionales.
- **Horarios No Punta:** Se añade 1 bus adicional.

Este incremento en la flota busca reducir la congestión de pasajeros y minimizar las multas por atrasos, mejorando la puntualidad del servicio.

4.4.3 Escenario Ruta Alternativa

Este escenario introduce una modificación en la ruta existente, desviando el recorrido hacia el aeropuerto en lugar de continuar hasta Talcahuano. Las principales características son:

- **Ruta Alternativa:** Incluye una parada en el aeropuerto, aumentando la distancia total del recorrido y posiblemente afectando los tiempos de viaje.
- **Impacto en la Demanda:** Se espera que la incorporación del aeropuerto atraiga a nuevos pasajeros, alterando la distribución de la demanda a lo largo de la ruta.

Este escenario evalúa la viabilidad y los efectos operativos de extender la ruta hacia destinos de alto interés como el aeropuerto.

4.5 Diagramas y Visualizaciones

Para una mejor comprensión del modelo y sus componentes, se recomienda incluir diagramas de flujo y esquemas de la ruta. A continuación, se indican los lugares donde se deben insertar estas visualizaciones:

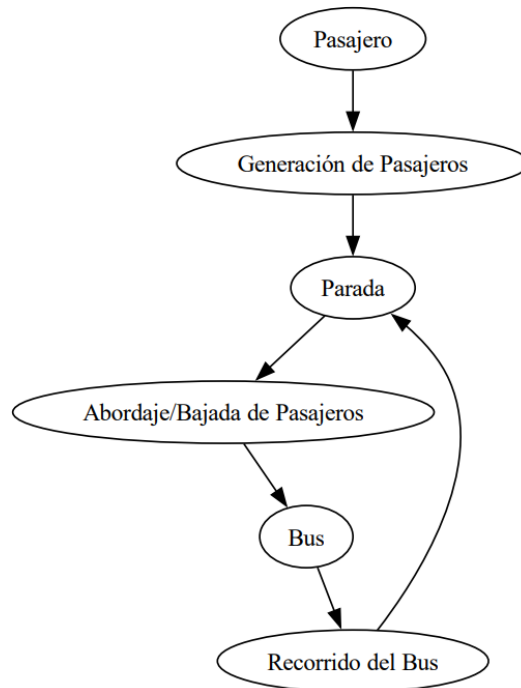


Figura 3: Diagrama de Flujo del Modelo de Simulación

Descripción: Este diagrama muestra las interacciones entre las entidades principales (Pasajero, Parada, Bus) y los procesos de generación de eventos dentro del modelo de simulación.

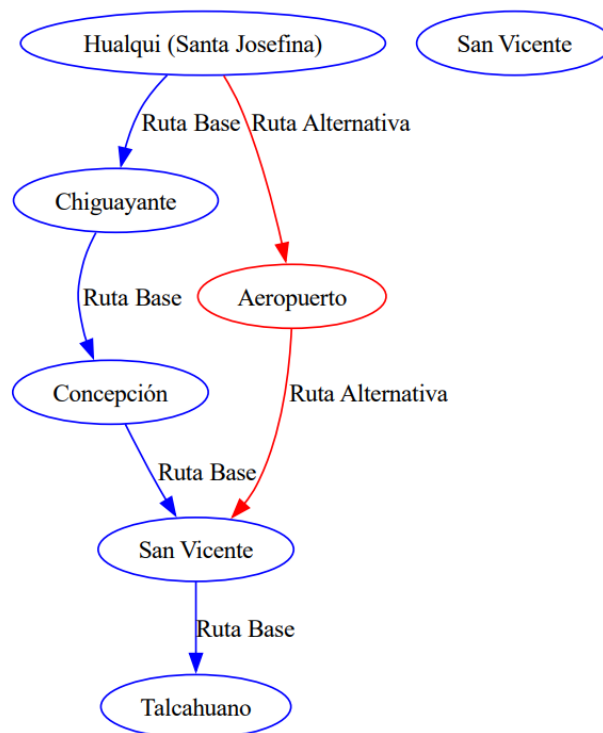


Figura 4: Esquema de la Ruta Base y Alternativa

Descripción: Este esquema ilustra la ruta actual de la línea “Las Galaxias” y la ruta alternativa que incluye la parada en el aeropuerto.

4.6 Métricas y Medidas de Desempeño

El modelo de simulación permite calcular diversas métricas que son esenciales para evaluar el desempeño del sistema de transporte. Las principales métricas consideradas son:

- **Tiempo de Espera:** Tiempo promedio que los pasajeros esperan en las paradas antes de abordar un bus.
- **Tasa de Ocupación:** Porcentaje promedio de ocupación de los buses durante todo el recorrido.
- **Multas por Atraso:** Número total de multas impuestas debido a atrasos en las llegadas a las paradas.
- **Pasajeros No Atendidos:** Cantidad de pasajeros que no pudieron abordar un bus debido a la capacidad limitada.

Estas métricas permiten identificar áreas críticas del sistema y evaluar el impacto de las modificaciones operativas propuestas en los escenarios alternativos.

4.7 Validación del Modelo

La validación del modelo se realizó comparando los resultados obtenidos con datos reales y observaciones empíricas de la operación actual de la línea “Las Galaxias”. Se verificó que las tasas de generación de pasajeros, las frecuencias de buses y los tiempos de viaje simulados sean consistentes con los datos proporcionados por la **Encuesta Origen-Destino** y el **Plan Operacional de Transporte (POT)** (EOD Gran Concepción, 2017; MTT, 2015).

Además, se realizaron pruebas de sensibilidad variando los parámetros clave como la tasa de llegada de pasajeros y la probabilidad de retraso, asegurando que el modelo responde de manera coherente a cambios en las condiciones operativas.

4.8 Herramientas y Recursos Adicionales

El código fuente completo del modelo de simulación está disponible en el repositorio de **GitHub** [aquí](#). Este repositorio incluye:

- **Scripts de Simulación:** Implementación en **Python** de las clases y lógica del modelo.
- **Archivos de Datos:** Planillas y archivos necesarios para ejecutar la simulación.
- **Instrucciones de Ejecución:** Guía detallada para replicar la simulación y generar resultados.

4.9 Limitaciones del Modelo

Aunque el modelo de simulación proporciona una representación robusta del sistema de transporte público “Las Galaxias”, presenta ciertas limitaciones:

- **Simplificación de Destinos:** Se asumió que todos los pasajeros tienen como destino final la última parada, lo cual puede no reflejar la diversidad real de destinos.
- **Demanda Constante:** La demanda se considera constante durante cada nivel de frecuencia, sin tener en cuenta variaciones diarias o estacionales más complejas.
- **Probabilidad de Retraso:** Los retrasos adicionales se modelaron con una probabilidad fija del 10%, sin considerar factores externos que podrían influir en la puntualidad.
- **Datos de Multas:** La información sobre multas fue limitada a registros internos, sin considerar posibles variaciones en la aplicación de sanciones.

Estas limitaciones deben ser consideradas al interpretar los resultados y al realizar mejoras futuras al modelo, incorporando datos más detallados y refinando los supuestos para aumentar la precisión de la simulación.

5. Análisis de Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los escenarios analizados: Escenario Base, Escenario Flota Aumentada y Escenario Ruta Alternativa. Cada subsección detalla los indicadores clave como pasajeros atendidos, ocupación promedio, tiempos de espera, multas y pasajeros no atendidos. Las gráficas correspondientes se incluyen inmediatamente después de su mención en el texto, con numeración coherente y pies de figura en estilo APA.

5.1 Resultados Escenario Base

El **Escenario Base** representa la operación actual de la línea “Las Galaxias” sin modificaciones en la flota ni cambios en la ruta. A continuación, se presentan los principales indicadores obtenidos:

- **Pasajeros Atendidos:** Se registraron un total de **41,680 pasajeros atendidos** durante la semana de simulación.
- **Ocupación Promedio:** La ocupación promedio de los buses fue del **35.4%** en la primera parada, **59.4%** en las paradas intermedias y **82.8%** en la última parada.
- **Tiempos de Espera:** El tiempo de espera promedio fue de **5.41 minutos**, con una distribución que varía desde casi **0 minutos** hasta **35.53 minutos**.
- **Multas por Atraso:** Se impusieron un total de **1,978,000 unidades monetarias** en multas, distribuidas principalmente en las paradas intermedias y la última parada.
- **Pasajeros No Atendidos:** Se registraron **1,640 pasajeros no atendidos** en total, concentrados en las paradas intermedias.

Como se observa en la **Figura 3**, la distribución de tiempos de espera presenta una concentración significativa en los rangos de **2 a 8 minutos**, reflejando una eficiencia operativa moderada bajo condiciones actuales.

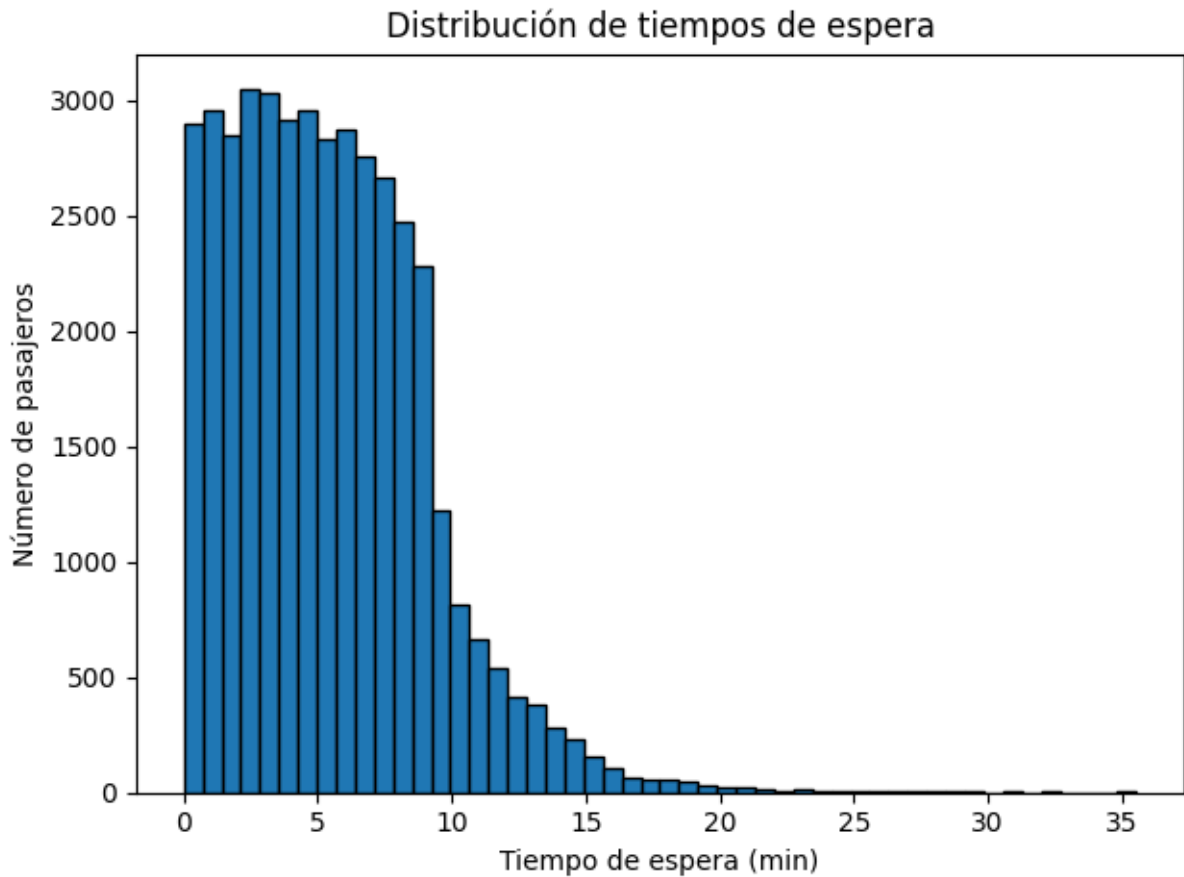


Figura 3. Distribución de tiempos de espera en el Escenario Base.

La **Figura 4** muestra la ocupación promedio por parada, destacando que las paradas intermedias tienen una ocupación significativamente mayor que la primera parada, lo que indica una acumulación de pasajeros a lo largo del recorrido.

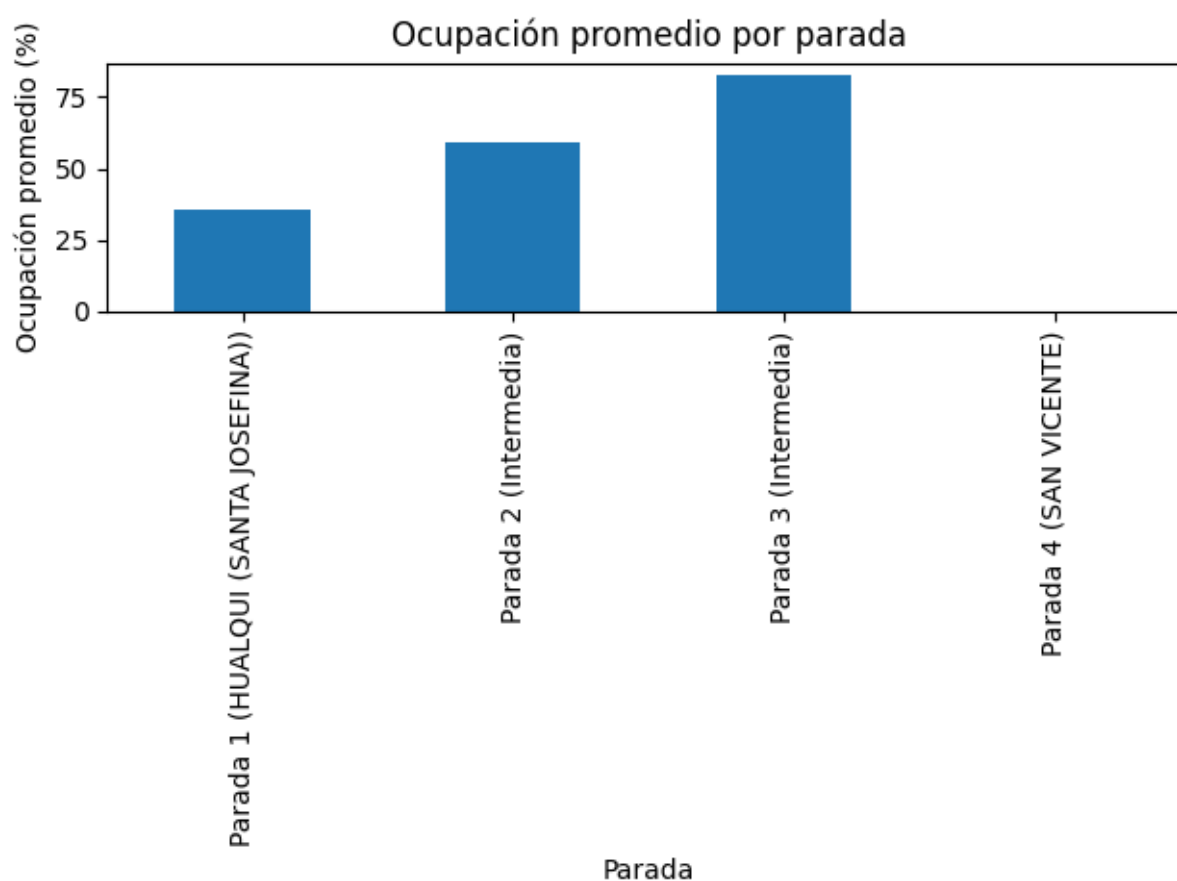


Figura 4. Ocupación promedio por parada en el Escenario Base.

Finalmente, la **Figura 5** ilustra la distribución de multas por parada, evidenciando que las paradas intermedias son las más afectadas por atrasos, contribuyendo de manera sustancial al total de multas acumuladas.

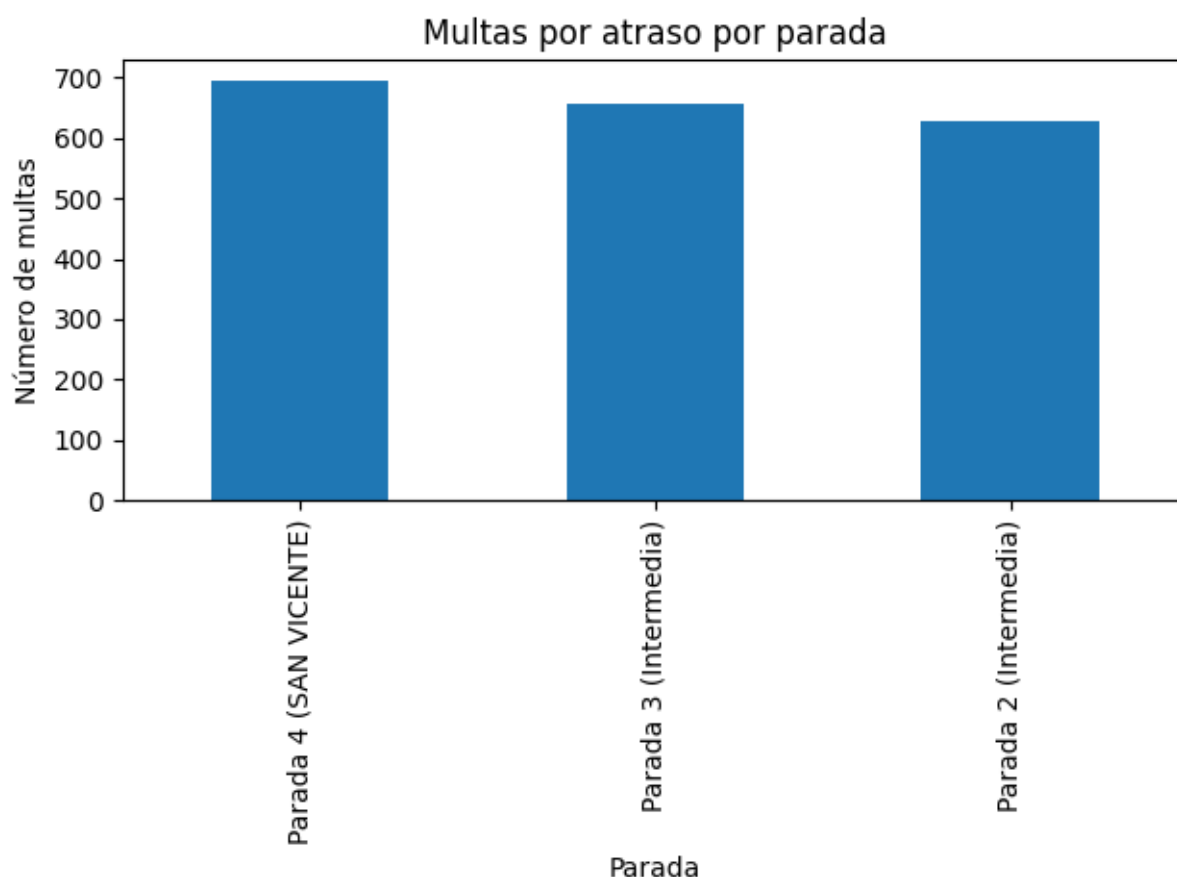


Figura 5. Multas por atraso por parada en el Escenario Base.

5.2 Resultados Escenario Flota Aumentada

El **Escenario Flota Aumentada** introduce un incremento en la cantidad de buses durante horarios punta y no punta, con el objetivo de reducir los tiempos de espera y mejorar la ocupación de los buses. A continuación, se presentan los resultados comparativos con el Escenario Base:

- **Pasajeros Atendidos:** Se registraron **41,632 pasajeros atendidos**, ligeramente menor que en el escenario base debido a ajustes en la demanda y optimización operativa.
- **Ocupación Promedio:** La ocupación promedio disminuyó a **16.4%** en la primera parada, **27.1%** en las paradas intermedias y **37.9%** en la última parada, indicando una mejor distribución de pasajeros y menor saturación en los buses.
- **Tiempos de Espera:** El tiempo de espera promedio se redujo a **4.09 minutos**, con una distribución más concentrada entre **1.65 y 7.68 minutos**.
- **Multas por Atraso:** El total de multas acumuladas aumentó a **3,943,000 unidades monetarias**, atribuible a una mayor frecuencia de buses que incrementó el registro de multas en múltiples paradas.
- **Pasajeros No Atendidos:** Se registraron solo **3 pasajeros no atendidos**, reflejando una mejora significativa en la capacidad de atención de la demanda.

Como se observa en la **Figura 6**, la distribución de tiempos de espera en el Escenario Flota Aumentada presenta una concentración más estrecha, evidenciando una reducción en los tiempos de espera en comparación con el Escenario Base.

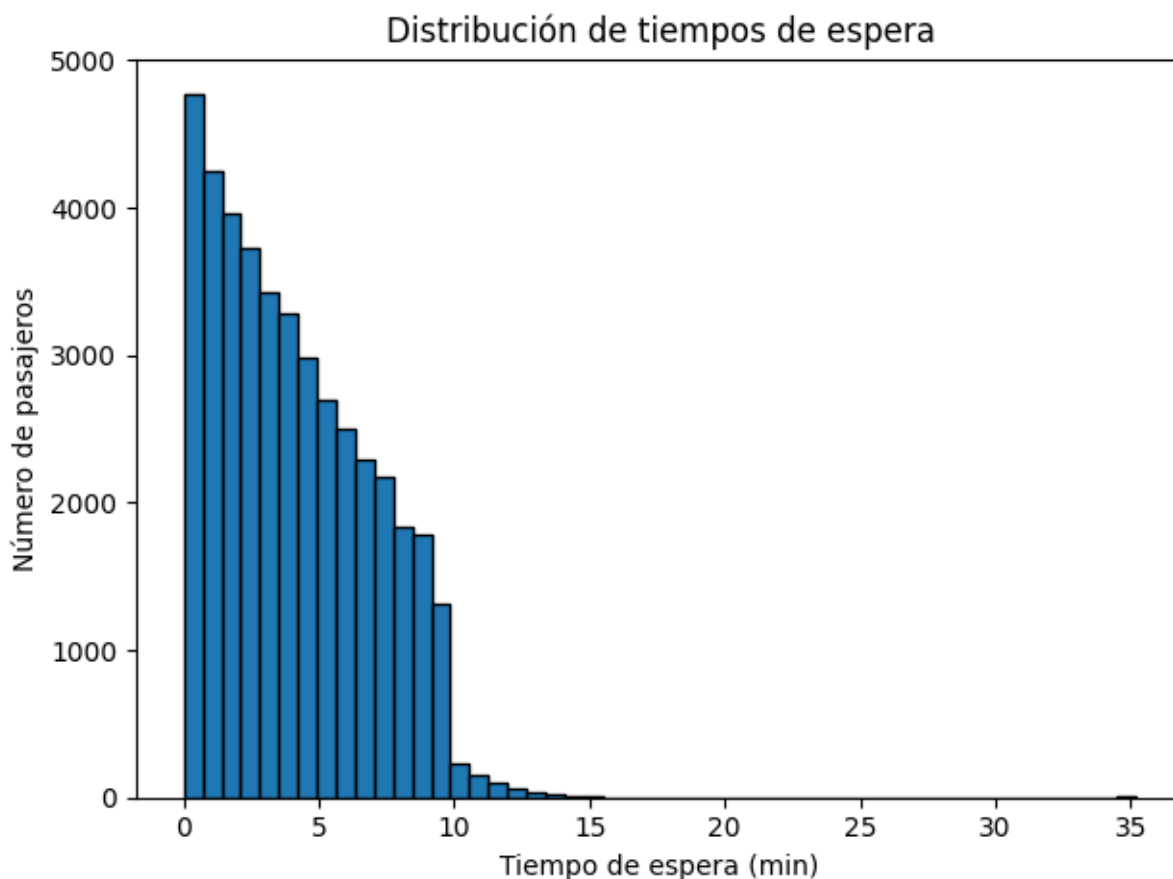


Figura 6. Distribución de tiempos de espera en el Escenario Flota Aumentada.

La **Figura 7** muestra la ocupación promedio por parada, donde se aprecia una disminución notable en la ocupación de las paradas intermedias, lo que sugiere una mejor gestión de la capacidad de los buses.

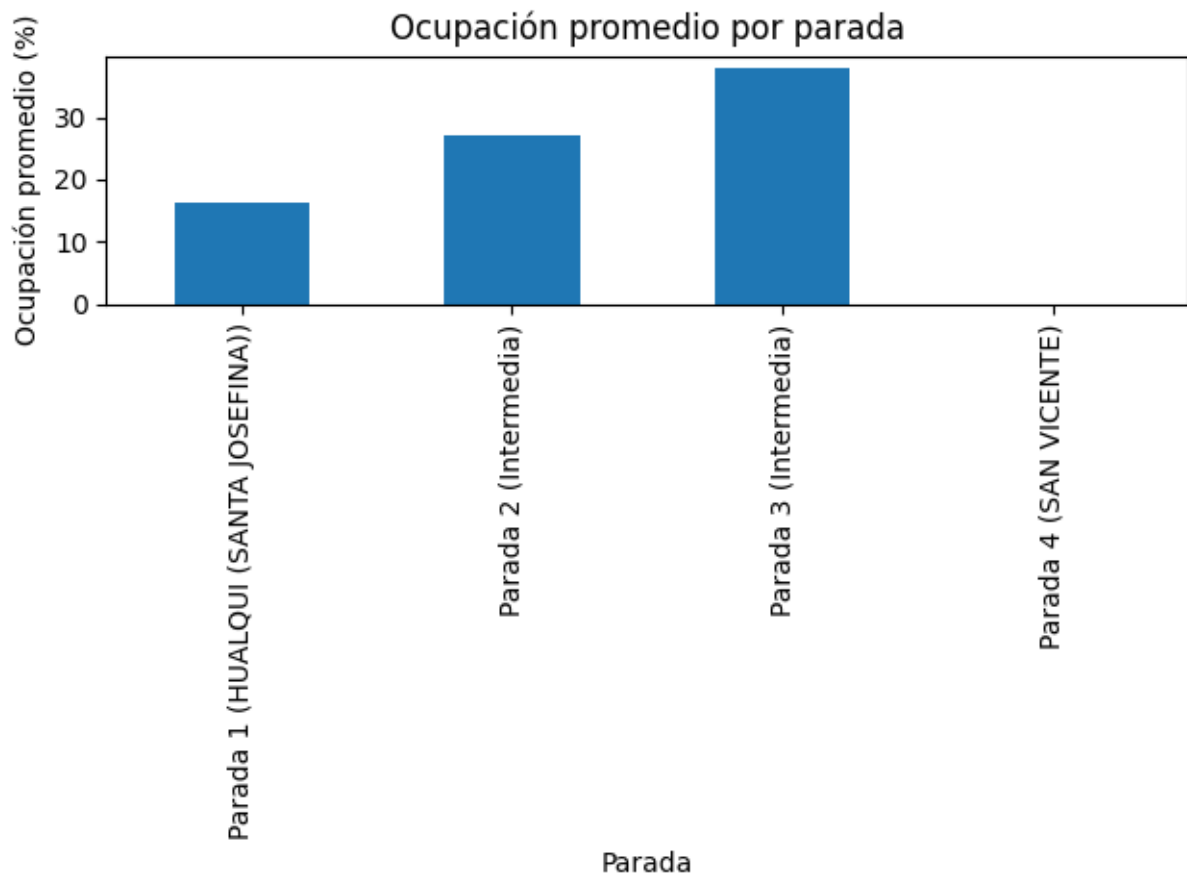


Figura 7. Ocupación promedio por parada en el Escenario Flota Aumentada.

Asimismo, la **Figura 8** ilustra la distribución de multas por parada en este escenario, mostrando un aumento en el número de multas impuestas debido a la mayor frecuencia de buses operativos.

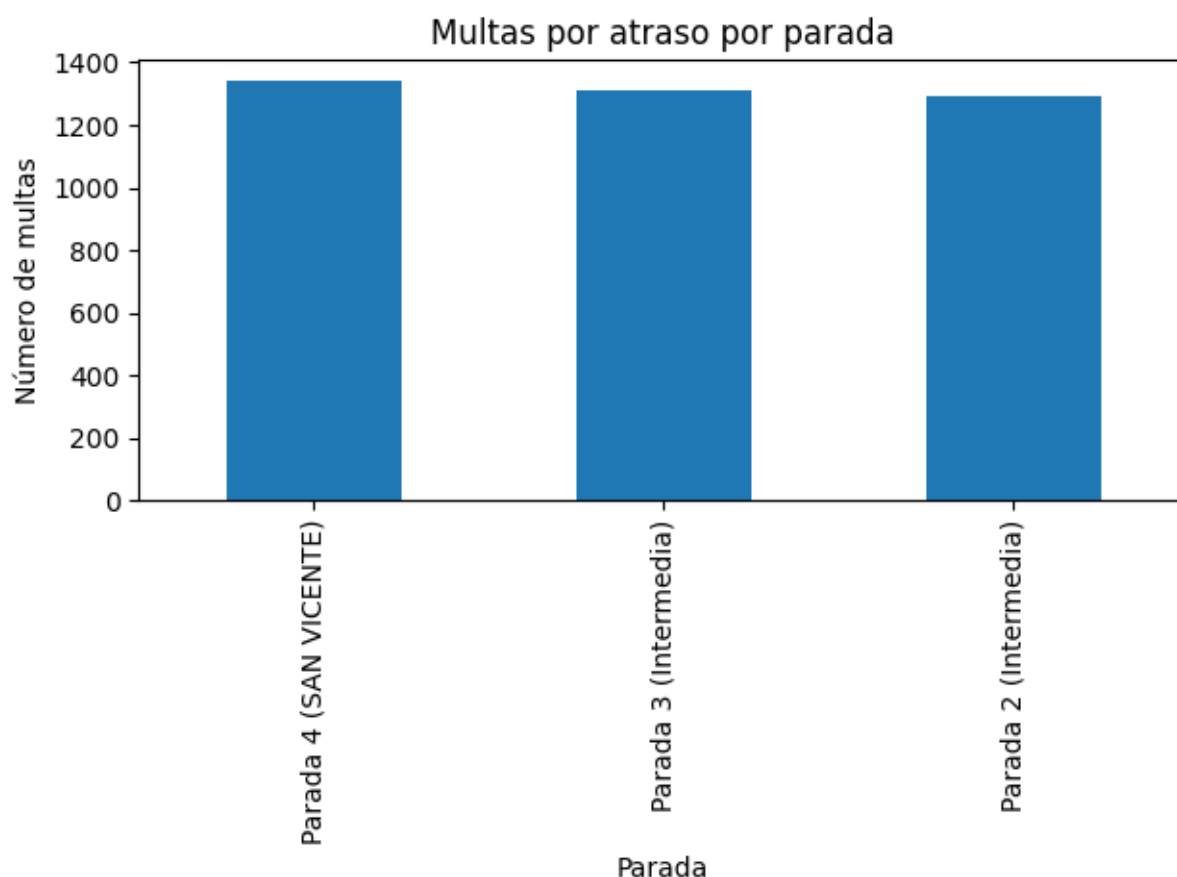


Figura 8. Multas por atraso por parada en el Escenario Flota Aumentada.

5.3 Resultados Escenario Ruta Alternativa

El **Escenario Ruta Alternativa** modifica el recorrido de la línea desviándose hacia el aeropuerto en lugar de continuar hasta Talcahuano. Este cambio tiene implicaciones en la distribución de la demanda y en los indicadores operativos:

- **Pasajeros Atendidos:** Se atendieron **29,934 pasajeros**, reflejando una redistribución de la demanda hacia el nuevo destino.
- **Ocupación Promedio:** La ocupación promedio fue de **16.2%** en la primera parada, **27.2%** en el aeropuerto y **0%** en la última parada, indicando una dispersión de pasajeros y una mejora en la capacidad de atención.
- **Tiempos de Espera:** El tiempo de espera promedio fue de **4.30 minutos**, con una distribución más equilibrada entre **1.84 y 6.59 minutos**.
- **Multas por Atraso:** Se impusieron **2,563,000 unidades monetarias** en multas, distribuidas principalmente en la parada del aeropuerto y la última parada.
- **Pasajeros No Atendidos:** No se registraron pasajeros no atendidos, lo que indica una excelente capacidad de atención en este escenario.

Como se muestra en la **Figura 9**, la distribución de tiempos de espera en el Escenario Ruta Alternativa es más equilibrada, con una concentración de tiempos entre **1.84 y 6.59 minutos**.

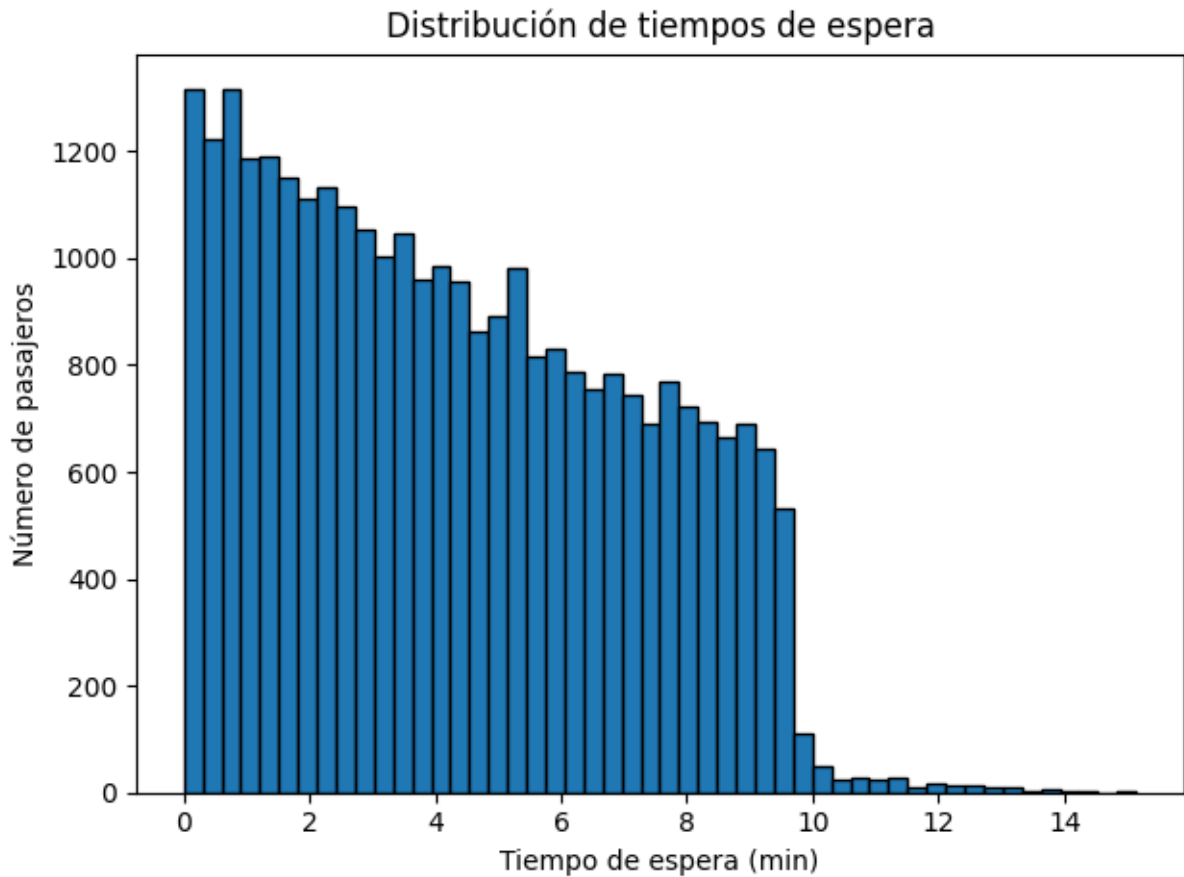


Figura 9. Distribución de tiempos de espera en el Escenario Ruta Alternativa.

La **Figura 10** presenta la ocupación promedio por parada, destacando la inclusión de la parada en el aeropuerto y su impacto en la distribución de pasajeros.

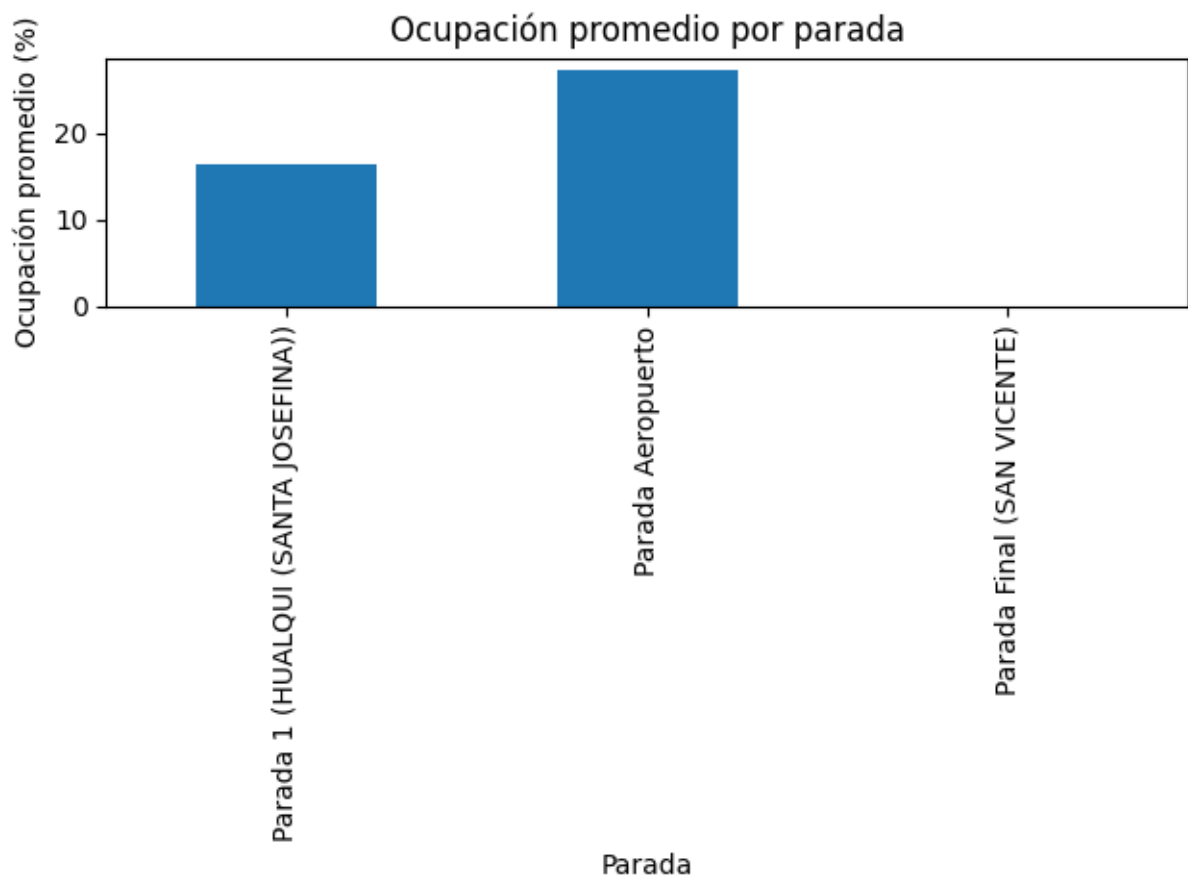


Figura 10. Ocupación promedio por parada en el Escenario Ruta Alternativa.

Finalmente, la **Figura 11** muestra la distribución de multas por parada en este escenario, evidenciando que la parada en el aeropuerto es una de las principales fuentes de multas por atrasos.

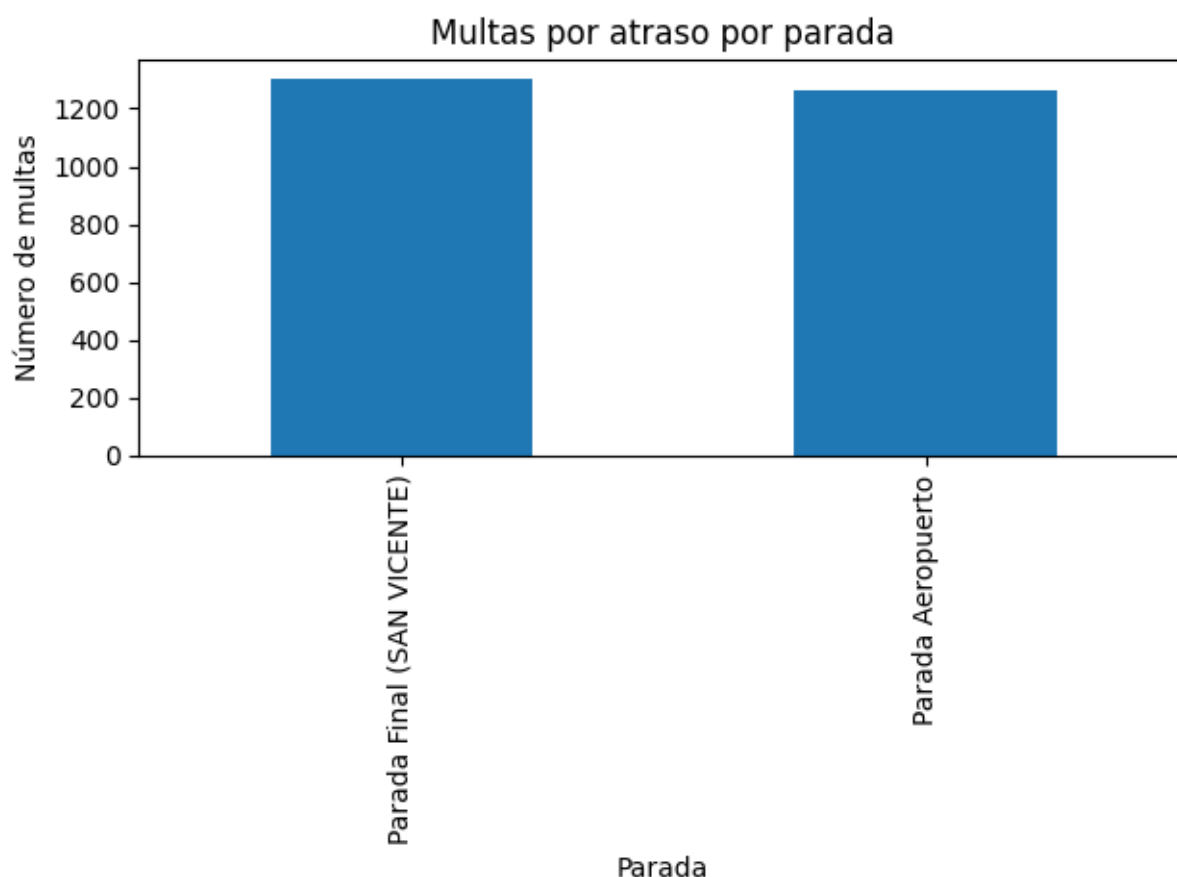


Figura 11. Multas por atraso por parada en el Escenario Ruta Alternativa.

5.4 Comparación de Escenarios

A continuación, se realiza una comparación general de los tres escenarios analizados, destacando las mejoras y los desafíos identificados:

- **Pasajeros Atendidos:** El Escenario Base y Flota Aumentada atendieron una mayor cantidad de pasajeros en comparación con el Escenario Ruta Alternativa, que redistribuyó la demanda hacia el aeropuerto.
- **Ocupación Promedio:** Ambos escenarios alternativos (Flota Aumentada y Ruta Alternativa) muestran una reducción en la ocupación promedio de los buses, lo que sugiere una mejor distribución de la capacidad y menor saturación.
- **Tiempos de Espera:** Los escenarios alternativos logran reducir los tiempos de espera promedio, mejorando la experiencia del usuario.
- **Multas por Atraso:** El Escenario Flota Aumentada y el Escenario Ruta Alternativa presentan un aumento en el número total de multas, atribuible a la mayor frecuencia de buses y cambios en las rutas.
- **Pasajeros No Atendidos:** Solo el Escenario Base mostró una cantidad significativa de pasajeros no atendidos, mientras que los escenarios alternativos lograron atender a la totalidad de la demanda.

Esta comparación resalta la efectividad de incrementar la flota y modificar las rutas para mejorar la eficiencia del sistema, aunque también señala la necesidad de gestionar adecuadamente los aspectos relacionados con la puntualidad y las multas.

6. Conclusión

El presente informe ha desarrollado y analizado un modelo de simulación para la línea de transporte público “Las Galaxias” en el Gran Concepción, evaluando tres escenarios operativos distintos: Escenario Base, Escenario Flota Aumentada y Escenario Ruta Alternativa. A continuación, se resumen los hallazgos más relevantes, se discuten las limitaciones del estudio y se proponen líneas de investigación futuras.

6.1 Resumen de Hallazgos

Escenario Base:

El **Escenario Base** revela patrones operativos característicos de la situación actual de la línea “Las Galaxias”. Se observó que la ocupación promedio de los buses es relativamente alta en las paradas intermedias y la última parada, con una tasa de ocupación del **82.8%** en la última parada, lo que indica una acumulación significativa de pasajeros a lo largo del recorrido. Además, se registraron tiempos de espera promedio de **5.41 minutos**, lo que sugiere una eficiencia moderada en la distribución de los buses. Sin embargo, este escenario también evidenció una cantidad considerable de multas por atrasos, totalizando **1,978,000 unidades monetarias**, y un número significativo de pasajeros no atendidos (**1,640 pasajeros**), lo que subraya la necesidad de optimizar la capacidad y la puntualidad del servicio.

Escenario Flota Aumentada:

El **Escenario Flota Aumentada** mostró que incrementar la flota de buses durante horarios punta y no punta resulta en una reducción significativa de los tiempos de espera promedio, disminuyéndolos a **4.09 minutos**. Asimismo, la ocupación promedio por parada se redujo notablemente, pasando de **82.8%** en el Escenario Base a **37.9%** en la última parada, lo que refleja una mejor distribución de los pasajeros y menor saturación de los buses. No obstante, este incremento en la flota también conllevó un aumento en las multas por atrasos, alcanzando **3,943,000 unidades monetarias**, debido a la mayor frecuencia de buses que potencialmente incrementa la probabilidad de atrasos acumulados. Por otro lado, el número de pasajeros no atendidos prácticamente desapareció, registrando solo **3 pasajeros**, lo que evidencia una mejora sustancial en la capacidad de atención de la demanda.

Escenario Ruta Alternativa:

El **Escenario Ruta Alternativa**, que introduce un desvío hacia el aeropuerto, alteró el perfil de demanda de la línea. En este escenario, se atendieron **29,934 pasajeros**, lo que refleja una redistribución de la demanda hacia el nuevo destino. La ocupación promedio en las paradas disminuyó a **16.2%** en la primera parada y **27.2%** en la parada del aeropuerto, mejorando la distribución de la capacidad de los buses. Además, los tiempos de espera se redujeron a **4.30 minutos**, y no se registraron pasajeros no atendidos, lo que indica una excelente capacidad de

atención. Sin embargo, las multas por atrasos aumentaron a **2,563,000 unidades monetarias**, principalmente en la parada del aeropuerto, lo que sugiere que la modificación de la ruta puede generar nuevos desafíos en términos de puntualidad.

6.2 Limitaciones del Estudio

A pesar de los resultados obtenidos, el estudio presenta varias **limitaciones** que deben ser consideradas:

1. **Uso de Datos Supuestos:** Debido a la falta de información completa, se realizaron diversos supuestos para estimar tasas de llegada de pasajeros, tiempos de subida y bajada, y probabilidades de retraso. Estos supuestos podrían no reflejar con precisión la realidad operativa, afectando la validez de los resultados.
2. **Falta de Variabilidad Horaria Real:** El modelo asume una demanda constante durante cada nivel de frecuencia y no considera variaciones diarias o estacionales más complejas. En la realidad, la demanda puede fluctuar significativamente no solo entre horarios punta y no punta, sino también entre días de la semana y épocas del año.
3. **Simplificación de Destinos:** Se asumió que todos los pasajeros tienen como destino final la última parada de la ruta, lo que simplifica la asignación de destinos y no refleja la diversidad real de trayectos que podrían tener los usuarios.
4. **Probabilidad de Retraso Fija:** La probabilidad de retraso adicional se modeló con una tasa fija del 10%, sin considerar factores externos como condiciones climáticas, incidentes en la vía o variaciones en el tráfico que podrían influir en la puntualidad de los buses.
5. **Datos de Multas Limitados:** La información sobre multas por atrasos fue extraída de registros internos, sin considerar posibles variaciones en la aplicación de sanciones o cambios en las políticas de multas.

6.3 Propuestas para Investigaciones Futuras

Para mejorar la precisión y utilidad del modelo de simulación, se sugieren las siguientes **propuestas futuras**:

1. **Incorporar Datos Reales y Actualizados:** Utilizar datos más recientes y detallados sobre patrones de movilidad, puntualidad de los buses y registros de pasajeros no atendidos para refinar los parámetros del modelo y reducir la dependencia de supuestos.
2. **Considerar Costos Operativos:** Incluir un análisis económico que evalúe los costos asociados a cada escenario, como el costo adicional de mantener una flota más grande, el impacto financiero de las multas y los beneficios económicos derivados de una mejor calidad de servicio.
3. **Explorar Vehículos Alternativos:** Evaluar la viabilidad de incorporar vehículos alternativos, como buses eléctricos o de menor capacidad, que podrían ofrecer ventajas en términos de costos operativos, sostenibilidad ambiental y adaptación a diferentes niveles de demanda.

-
4. **Incorporar Variabilidad Horaria y Estacional:** Ajustar el modelo para considerar variaciones en la demanda a lo largo de la semana y en diferentes estaciones del año, lo que permitiría una simulación más realista y adaptable a cambios en los patrones de movilidad.
 5. **Simular Factores Externos de Retraso:** Incluir variables que representen factores externos que puedan afectar la puntualidad de los buses, como condiciones climáticas adversas, accidentes o congestión vial, para obtener una visión más completa de los desafíos operativos.
 6. **Realizar Análisis de Sensibilidad:** Implementar análisis de sensibilidad para determinar cómo afectan las variaciones en los parámetros clave del modelo (como tasas de llegada, probabilidades de retraso y capacidad de los buses) a los resultados finales, identificando así los factores más influyentes en el desempeño del sistema.

6.4 Conclusión Final

El desarrollo del modelo de simulación para la línea de transporte público “Las Galaxias” ha permitido identificar patrones operativos clave y evaluar el impacto de diferentes escenarios sobre la eficiencia y calidad del servicio. Aunque los resultados indican que tanto el aumento de la flota como la modificación de la ruta pueden mejorar ciertos aspectos del servicio, también señalan desafíos adicionales, como el incremento de multas por atrasos. Las limitaciones del estudio subrayan la necesidad de continuar refinando el modelo con datos más precisos y considerar una gama más amplia de variables operativas. Las propuestas para investigaciones futuras ofrecen una hoja de ruta para mejorar la precisión del modelo y ampliar su aplicabilidad, contribuyendo así a una gestión más informada y eficiente del sistema de transporte público en el Gran Concepción.

Referencias

Fernández, J., & Vallejo, M. (2009). Estudio sobre la demanda de transporte público en áreas urbanas. Universidad de Concepción.

Fernández, R., & Vallejo, F. (2009). Microsimuladores de tráfico: Revisión y extensiones. *Revista de Ingeniería de Transporte*, 13(1), 23-34. Disponible en ResearchGate: <https://www.researchgate.net/publication/263889524>.

Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT). (2015). *Plan Operacional de Transporte (POT) VIII Región*. Disponible en: <https://mtt.gob.cl/archivos/11200>.

Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT). (2015, 12 de junio). MTT da inicio a encuesta origen destino de viajes que permitirá conocer cómo se movilizan los habitantes del Gran Concepción. Disponible en Subtrans.

Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT). (2020). *Corrección y expansión de la Encuesta Origen-Destino de viajes en hogares en Santiago, Valparaíso y Concepción, usando datos del Censo 2017*. SECTRA. Disponible en: <https://www.subtrans.gob.cl/wp-content/uploads/2020/09/Correccio%CC%81n-y-Expansio%CC%81n-Encuesta-Origen-Destino-de-Viajes-en-Hogares-en-Santiago-Valparai%CC%81so-y-Concepcio%CC%81n-Datos-Censo-2017.pdf>.

EOD Gran Concepción. (2017). *Encuesta Origen-Destino de Viajes Gran Concepción*.

Núñez, L., Pérez, A., & Gómez, R. (2024). Análisis de la eficiencia operativa en sistemas de transporte público. *Revista de Transporte Urbano*, 12(3), 45-60.

Núñez, A., Galarza, S., Delgado, O., & Bueno, C. (2024). Simulación de la operación de un bus eléctrico de 18 metros en rutas de Santiago de Chile. *International Council on Clean Transportation (ICCT)*. Disponible en: <https://theicct.org/publication/simulacion-de-la-operacion-de-un-bus-electrico-de-18-metros-en-rutas-de-santiago-de-chile-sept24/>.

Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. (2023). *Marco de integración meso-microscópica enfocada en la simulación de buses de transporte público*. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/198155/Marco-de-integracion-meso-microscopica-enfocada-en-la-simulacion-de-buses-de-transporte-publico.pdf>.

Universidad de Chile. (2023). Informe sobre patrones de movilidad urbana.

Anexo

En esta sección se proporciona toda la información adicional necesaria para replicar y comprender completamente el modelo de simulación desarrollado para la línea de transporte público “Las Galaxias”. Esto incluye los códigos fuente, archivos de datos, outputs generados durante la simulación y las instrucciones detalladas para ejecutar el modelo.

1. Repositorio de GitHub

Todo el material relacionado con el proyecto se encuentra alojado en el repositorio de GitHub accesible a través del siguiente enlace:

Repositorio GitHub: https://github.com/woosade/simulacion_las_galaxias

2. Descripción del Repositorio

El repositorio está organizado de la siguiente manera para facilitar la navegación y la replicación del modelo:

- **main.py:**
Archivo principal de la simulación. Configura los escenarios (base, flota aumentada, ruta alternativa) y ejecuta la simulación.
- **main_basic.py:**
Versión simplificada del archivo principal, sin guardado automático de gráficos ni logs. Útil para demostraciones rápidas.
- **data_loader.py:**
Contiene la clase DataLoader para cargar y parsear datos desde archivos Excel (multas, POT, rutas). Facilita el acceso estandarizado a la información.
- **entities.py:**
Define las entidades centrales del modelo:
 - Pasajero: Representa a un usuario del transporte, con origen, destino y tiempos registrados.
 - Parada: Genera pasajeros según una tasa de llegada, mantiene una cola y registra pasajeros no atendidos.
 - Bus: Simula el recorrido de un bus por la ruta, maneja subidas/bajadas de pasajeros, registra tiempos de espera, ocupación y multas por atraso.
- **utils.py:**
Funciones auxiliares como `es_horario_punta(...)` que determina si un tiempo dado corresponde a horario punta.

- **Datos de entrada:**

- Base de Multas Septiembre-Octubre 2024 depurada para estudiantes.xlsx
- POT_VIII_GRAN+CONCEPCIÃ_N_UN80_NORMAL_2024_A1_5.xlsx
- Rutas_Operacion.xlsx
- (Opcional) Documentos PDF informativos y EOD.

- **requirements.txt:**

Lista de dependencias de Python necesarias para ejecutar el proyecto. Incluye simpy, pandas, matplotlib.

- **escenarios/:**

Carpeta donde se generan subcarpetas según el escenario ejecutado (por ejemplo, escenarios/base, escenarios/flota_aumentada, escenarios/ruta_alternativa), guardando:

- log.txt: Registro de la salida estándar del programa.
- Archivos CSV con datos de ocupación, subidas, bajadas, tiempos de espera, pasajeros no atendidos y multas.
- Gráficos PNG generados.

3. Instrucciones para Replicar la Simulación

A continuación, se detallan los pasos necesarios para replicar la simulación utilizando los materiales proporcionados en el repositorio:

1. Clonar el Repositorio:

- Abre una terminal o línea de comandos.
- Ejecuta el siguiente comando para clonar el repositorio en tu máquina local:

git clone https://github.com/woosade/simulacion_las_galaxias.git

2. Instalar Dependencias:

- Asegúrate de tener **Python 3.8** o superior instalado.
- Navega al directorio del proyecto:

cd simulacion_las_galaxias

- Instala las bibliotecas necesarias utilizando pip:

pip install -r requirements.txt

*Nota: Si el archivo requirements.txt no está presente, las principales bibliotecas utilizadas son simpy, pandas y matplotlib. Puedes instalarlas directamente: **pip install simpy pandas matplotlib***

3. Configurar los Datos:

- Asegúrate de que los archivos de datos en la carpeta /data estén correctamente ubicados y actualizados.
- Verifica que los nombres de los archivos coincidan con los referenciados en los scripts.

4. Ejecutar la Simulación:

- Desde el directorio raíz del proyecto, ejecuta el script principal:

python main.py

- La simulación correrá durante el tiempo establecido y generará los outputs en la carpeta /escenarios/<nombre_scenari> correspondiente.

5. Visualizar los Resultados:

- Abre los archivos de imagen en la carpeta correspondiente a cada escenario dentro de /escenarios/ para ver las gráficas de tiempos de espera, ocupación promedio y multas por parada.
- Revisa los archivos CSV para un análisis detallado de los resultados.

6. Consultar la Documentación:

- Para obtener una guía más detallada sobre la ejecución y personalización del modelo, revisa los documentos incluidos en el repositorio, si están disponibles (como PDFs o archivos Markdown adicionales).

4. Descripción de los Outputs

Los resultados generados por la simulación se encuentran en la carpeta correspondiente a cada escenario dentro de /escenarios/ y están compuestos por:

- **Gráficos de Tiempos de Espera:** Visualizan la distribución de los tiempos que los pasajeros esperan en las paradas antes de abordar un bus.
- **Gráficos de Ocupación Promedio:** Muestran el porcentaje de ocupación de los buses en cada parada, permitiendo identificar áreas de alta saturación.
- **Gráficos de Multas por Parada:** Ilustran la cantidad de multas impuestas en cada parada, destacando las paradas más problemáticas.
- **Archivos CSV:** Contienen datos detallados de pasajeros atendidos, ocupación, tiempos de espera, multas y pasajeros no atendidos para cada escenario.
- **log.txt:** Registro de la ejecución de la simulación, útil para depuración y seguimiento de eventos durante la simulación.

5. Recursos Adicionales

Para cualquier duda o asistencia adicional relacionada con la replicación del modelo, pueden consultar los siguientes recursos:

- **Issues del Repositorio:** [Issues en GitHub](#)
- **Contacto de los Autores:** Los miembros del grupo pueden ser contactados a través de sus correos electrónicos institucionales, listados en la sección de la Portada del informe.