



Facultad de Ingeniería
Universidad de Concepción

Universidad de Concepción
Facultad de Ingeniería
Departamento Ingeniería Industrial



Departamento de
Ingeniería Industrial
Universidad de Concepción

UNA PROPUESTA DE EVALUACIÓN DE TRAZADOS ALTERNATIVOS DE LÍNEAS DE TRANSPORTE PÚBLICO

Aplicación de metodología en un caso real sector Borde Cerro, Chiguayante

POR

José Manuel Moyano Robles

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción para
optar al título profesional de Ingeniero Civil Industrial.

Profesor Guía

Sebastián Astroza Tagle

Profesor Co-Guía

Juan Antonio Carrasco Montagna

marzo 2026

Concepción, Chile

© 2026 José Manuel Moyano Robles

© 2026 José Manuel Moyano Robles

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

A Dios y a mis hermanas, Ornella y Rocío.

Agradecimientos

Quiero agradecer los involucrados directa o indirectamente en el desarrollo de este trabajo de título y a lo largo de la carrera.

En especial al profesor Sebastián Astroza y Juan Antonio Carrasco por guiar este trabajo, a las distintas personas con las que me reuní para el levantamiento de información por la disponibilidad y comprensión, ya sea de la empresa Ruta Las Galaxias, Seremitt en la región, DTPR y de la UDEC.

A cada persona que conocí durante mis experiencias durante la carrera, en las salas de clase profesores, compañeros, administrativos, en prácticas profesionales tanto del DTPM como en ZENKO, trabajos en Distribuidora Ecoandes y Hotel Jay Peak, cada uno fue determinante para encontrar mi enfoque profesional y en lo que me quiero desarrollar y formar en un futuro, ojalá, muy próximo.

A compañeros y amigos que se conocí y compartí durante estos largos 6 años, en especial a Jorge que creo que nos vimos en las mejores y peores circunstancias, a mis amigos que se han mantenido durante el tiempo Benjamín, Nicolas y compañía, a todos gracias por ser un soporte que no esperaba, pero cuando los necesite me mantuvieron de pie. A mi psicóloga, que me acompañó durante el último año fue una gran ayuda a descomprimir y enfocarme.

A CD Cobreloa por darnos a Alexis Sánchez, y darme un sentido de pertenencia único, darme las alegrías más genuinas que he sentido y aprendizajes más duros que vivido.

A mi familia a mis padres y abuelos, que nada de lo que soy hoy hubiera sido posible sin ellos, a mis hermanas por ser mi motivación día a día para cumplir mis metas y seguir elevándolas, mención especial a Rocio por la compañía (inesperada) durante el desarrollo de esta memoria. A padrinos, tíos y primos, por siempre ser una influencia positiva en mi desarrollo.

Finalmente, por sobre todas las cosas gracias a Dios, al cual le debo todo lo que tengo, que estuvo en la adversidad y felicidad, que fue mi guía y salvador.

Resumen Ejecutivo

La presente memoria de titulación presenta la formalización de una Metodología para la evaluación de trazados alternativos para buses de Transporte Público, por la necesidad de un estudio técnico formal para describir la demanda potencial de un nuevo servicio, junto con las características que debiese tener, los costos y beneficios sociales de su implementación.

El objetivo principal del estudio es una metodología que describa la densidad de demanda de un sector en específico y sus principales destinos, para estimar: el volumen de flota, la frecuencia y horarios del servicio para cubrir de la mejor forma esta demanda.

Las condiciones de borde presentadas en la investigación, por los sectores público y privado, es la limitación de recursos, en específico tiempo, por lo que esta nueva metodología propone una mejora en la eficiencia de recursos sin perder precisión en la identificación de aspectos claves. Se propone una metodología de evaluación integral, con un diagnóstico del sistema actual, sus características y el contexto de la población objetivo seguido de levantamiento de información con: encuesta de percepción del servicio. Diseño y planificación de una alternativa al trazado original, para reducir las deficiencias planteadas anteriormente. Finalmente, se incluye una prueba de factibilidad, con foco en la evaluación económica y social, calculando el VAN privado y social además, de análisis de sensibilidad a cambios en variables.

Para demostrar la posible implementación, se aplicó la metodología al caso del sector Bordo Cerro, Chiguayante. El procedimiento comienza con la descripción del contexto actual del sistema en el sector y las características demográficas de la población luego, se realizó el levantamiento de información por medio de aplicación de la encuesta de Viaje Más Frecuente desarrollada por el equipo de Mo2, plataforma digital para la recolección de datos. Este levantamiento, identificó cinco puntos claves en la ciudad donde el servicio vigente no cubría. Se diseñó y planificó un trazado alternativo para cubrir estos destinos y mejorar la calidad del sistema. A este servicio alternativo se evaluó sostenibilidad económica estimando, el flujo de caja futuro y calculando, el VAN de este, determinando, que el proyecto no es sostenible ($VAN < 0$) sólo con una inversión privada es necesario un nivel de aporte público y se estimó el nivel de este por medio de un análisis de sensibilidad junto con la variación de otras variables de interés y concluyendo que el nivel de subsidio debe ser al menos de M\$500 y que el proyecto es muy sensible al ingreso por tarifa.

Abstract

This text shows a formalization of a way to test alternative bus route for the Public Transport system, this born to a need for technical research to describe the potential demand of a new service, that with the features of what should have, and social benefits and cost of his implementation.

The main goal of this research was to describe the demand density of a specific zone and its main destinations, to: estimate volume of fleet, frequency and the schedule of service may cover in the best way possible.

Under the edge conditions that were presented in the research was the limit of resources mainly short times, that is why this methodology should present an improvement of use of these resources, without lost precision on the identification of key aspects. Consisting of a diagnostic of the current system knowing its aspects and the context of the objective population, then a survey that should be useful to define the main worries of the users, deficits of the system or the perception of the service. An important part of the evaluation is the design and planning of the new bus route that should fix deficits that were planted before or improve the actual system as cover zones that weren't on the currents services. Finally, this paper includes a sustainability test, focusing on economic evaluation calculating the NPV, also testing the sensibility of this sustainability according to some variables as the level of demand, OPEX or pricing.

To prove the methodology, it was applied to the real case of Borde Cerro's sector in municipality of Chiguayante. This procedure starts with knowing which is the context of the system and the demographic aspects of the people there, then applying a survey conducted by the team of Mo2. The result shows that five main points in the city weren't covered by the current bus service, with high demand. With that need we design and plan an alternative that should cover it and improve the system quality. This bus service tested its economic sustainability, estimating all the cost's structure and the incomes to calculate the NPV of the project, and this alternative was not sustainable only with the private investment ($NPV < 0$) so is needed a public input, the level of it were tested by a sensitivity analysis, with a comparative with the variation of other aspects, as result the level of this input was of M\$500.00 (CLP) and the project is too sensitive to the tariff income.

Tabla de Contenido

1. Introducción.....	1
1.1. Motivación.....	3
1.2. Objetivo del tema	4
1.3. Contenido.....	5
2. Antecedentes Generales.	7
2.1. Enfoques metodológicos diseño y evaluación de redes de transporte público.....	7
2.2. Participación ciudadana y percepción de usuarios	8
2.3. Marco microeconómico y bienestar social en el transporte.....	9
2.4. Enfoque territorial, accesibilidad y TOD	10
2.5. Estudio de la demanda en el transporte público	10
3. Marco Teórico.	12
3.1. Situación preliminar	12
3.2. Propuesta de solución.....	17
4. Metodología.....	21
4.1. Consulta con especialistas	21
4.2. Árbol Problema, Objetivo y Matriz de Marco Lógico	25
4.3. Metodología de Evaluación de Trazados Alternativos	30
5. Aplicación de Metodología Caso Borde Cerro comuna de Chiguayante.....	46
5.1. Zona de Estudio:	46
5.2. Datos demográficos:.....	46

5.3. Servicios Actuales:	47
5.4. Aplicación de encuesta:.....	48
5.5. Diseño y planificación de Trazado alternativo.	54
5.6. Factibilidad:	58
6. Discusión y conclusiones.	71
Referencias	74
Anexo	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Situación Base, Condiciones del Sistema de Transporte Público en sector de estudio.....	13
Figura 3.2: Propuesta 1, de mejora Sistema de Transporte Público con implementación servicio expreso.	14
Figura 3.3: Propuesta 2, mejora de Sistema de Transporte Público con servicio con trazado por vías interiores	15
Figura 3.4: Propuesta 3, de mejora de Sistema de Transporte Público con servicios complementarios.....	16
Figura 4.1: Árbol del Problema Rutas de servicio de Transporte Público deficientes	25
Figura 4.2: Árbol objetivo Rutas de servicio de Transporte Público eficientes	27
Figura 5.1: Servicio Troncal 80ZL	48
Figura 5.2: Cantidad de Respuestas por fuente de recolección.	49
Figura 5.3: Distribución de los Hogares de los encuestados	51
Figura 5.4: Trazado Propuesto servicio Variante	55

Figura 5.5: Tramo por hora que inician los viajes los encuestados	57
Figura 5.6: Variación del VAN según escenario.	66
Figura 5.7: Grafico Tornado, impacto de variables con respecto al VAN.....	69

1. Introducción.

El transporte público en el mundo enfrenta múltiples desafíos, principalmente por el amplio alcance social: al ser un servicio utilizado de manera masiva sus características, inciden directamente en la calidad de vida urbana (Litman, 2021b). Diversos estudios han demostrado que mejoras en: eficiencia, comodidad, seguridad y accesibilidad en los sistemas de transporte podrían generar beneficios significativos en términos de: equidad social, productividad y sostenibilidad ambiental (Banister, 2008).

Una característica fundamental de la demanda por transporte es que se considera, demanda derivada, o sea, el viaje no constituye un fin en sí mismo, sino que surge de la necesidad de realizar otras actividades, tales como estudiar, trabajar o acceder a bienes y servicios (Ortúzar & Willumsen, 2011). O sea, la planificación del transporte público se encuentra intrínsecamente ligada a las actividades cotidianas de las personas, comprender el inicio y hacia dónde se dirigen, el propósito y mediante qué modo constituye un insumo esencial para ofrecer alternativas de movilidad más adecuadas.

“¿Cómo satisfacer la demanda de viajes de personas con muchos propósitos distintos, a varias horas del día y en diferentes modos, dada una red de transporte y un sistema de gestión: con una cierta capacidad de operación?” (Manheim, 1979)

Manheim (1979) conceptualiza este fenómeno a través del Sistema de Actividades, y junto con el Sistema de Transporte y el Patrón de Flujo conforman los tres componentes centrales en la modelación de movilidad urbana. Esta perspectiva ha sido retomada por enfoques contemporáneos de

modelación integrada de transporte y uso de suelo, que buscan capturar la interacción entre patrones de viaje y dinámicas urbanas (Wegener & Fürst, 2004).

Actualmente en Chile tanto, en el Gobierno Central como autoridades locales se implementan medidas con el objetivo de mejorar el Sistema de Transporte Público, y: la calidad, cobertura, sostenibilidad y satisfacción de usuarios, insumos importantes para la toma de decisiones son los estudios de movilidad urbana como la Encuesta Origen-Destino realizadas por SECTRA o la Encuestas de Movilidad en grandes ciudades, que permiten construir una matriz de origen y destino.

En particular en el Gran Concepción en la implementación del Perímetro de Exclusión en el año 2024 se fijaron condiciones específicas de Operación y de uso de vías (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, 2023). Estableciendo, un ranking de rendimientos operacionales y permitiendo reconocer o sancionar a empresas operadoras con el objetivo de mejorar: el control, conectividad y frecuencia del servicio, junto con, durante el mes de noviembre de 2025, se implementaron 14 extensiones de servicios mejorando la conectividad de la intercomuna (Castillo, 2025).

Sin embargo, la precisión requerida de estos estudios de base, para la implementación de cambios hace que éstos sean costosos, de baja frecuencia de aplicación y en muchos casos instrumentos como la Encuesta de Movilidad del Gran Concepción 2025, que generan información para entender la evolución del sistema de transporte y patrones de movilidad sin reemplazar

una Encuesta Origen Destino tradicional, el alcance es la ciudad completa, no en sectores específico.

La presente memoria de titulación se centra en el desarrollo de una metodología para la evaluación social de trazados alternativos de líneas de transporte público e identificar la densidad de demanda existente en un área determinada, los destinos principales de los potenciales usuarios, rangos horarios de mayor movilidad y diseño de rutas óptimas. Estos elementos constituyen insumos relevantes para la planificación eficiente de nuevos servicios o alternativas de transporte colectivo permitiendo evaluar su viabilidad social, operativa y ambiental, en línea con criterios de sostenibilidad y equidad.

1.1. Motivación

La equidad horizontal supone que, las personas con necesidades y habilidades similares, deberían recibir similar cantidad de recursos y asumir partes similares de costos (Litman, 2021a), o sea, que los recursos no deberían ser otorgados sin evaluación objetiva de: necesidades de las personas, condiciones se disponen, accesibilidad a los servicios y si existen comunidades con peores condiciones.

Este estudio, identificó un problema en relación con cuál es el detonante en las modificaciones en el transporte público, especialmente en Chile, o sea, no existe un procedimiento o mecanismo donde se evidencien las deficiencias del sistema. Lo cual generaría decisiones de modificación de trazados en base a peticiones de vecinos que se organizan para levantar éstas,

no se considera la población que resulta rezagada en éste tipo de consultas y que no responden o que no son representadas.

El transporte es una industria que depende en gran medida de los recursos públicos, en el *Informe de Electromovilidad de Santiago* (DTPM, 2024) se señala que “aproximadamente el 65% de los ingresos del sistema provienen del subsidio estatal” (p.71), considerando esto, la ocupación de recursos asignados debe ser equitativa y responsable.

Este estudio propone un procedimiento objetivo que recopilé los principales requerimientos de la población, con el menor de los sesgos, para mejorar el sistema público de forma integral y equitativa siempre con foco en la sostenibilidad de las operaciones.

1.2. Objetivo del tema

1.2.1. bjetivo general

Proponer una metodología que permita a operadores y/o instituciones públicas, evaluar el beneficio de implementar un trazado alternativo de buses que mejore de forma integral atributos del sistema de transporte público y aplicarla en un caso real.

1.2.2. Objetivos específicos

- Estudiar las opciones de implementar un mecanismo que permita la predicción de demanda futura del trazado en estudio.
- Establecer datos de entrada necesarios, para que la evaluación sea eficiente (en: respuesta a encuestas, estado de infraestructura, datos digitales, flota o conductores disponibles).

- Determinar estimadores claves para la toma de decisiones y seguimiento del sistema (como índices de accesibilidad).
- Crear un modelo que simule las condiciones del servicio a evaluar.
- Implementar el enfoque costo-beneficio para evaluar el nuevo servicio.
- Validar la metodología en caso real sector: “Borde Cerro”, comuna de Chiguayante, región del Bio-bío.

1.3. Contenido

Se inicia el estudio con recopilación de antecedentes generales respecto evaluación de trazados, como revisión bibliográfica, enfocados, en la eficiencia de operaciones y ejemplos donde, se realizan consultas ciudadanas para conocer técnicas utilizadas actualmente en circunstancias similares.

El capítulo 3, el marco teórico, presenta la situación preliminar que a modo de ejemplo un sistema de nodos representa las zonas con mayores densidades de demanda y las alternativas a evaluar, permitiendo conocer que factores pueden ser relevantes al evaluar el trazado. Posterior a esto se presenta una propuesta de solución a la problemática.

El capítulo 4, se describe la investigación, desde el levantamiento de información por medio de entrevistas a expertos como: representantes de la empresa operadora del sector, representantes del sector público de la secretaria ministerial de la región del Biobío y personal de la división de transporte público regional, además, de profesores de la facultad de ingeniería de la Universidad de Concepción por la perspectiva académica. Con las respuestas de los distintos representantes, se realiza un análisis de árbol

objetivo y Matriz de Marco Lógica (MML), y delimita el problema de la industria para identificar sus causas y efectos que lo provocan, el árbol objetivo plantea los medios para solucionar el problema central y para que fines, y con la MML se define el fin del presente trabajo, los componentes y las actividades a realizarse. Al final del capítulo: se detalla la metodología propuesta, sus pasos y datos de entrada necesarios junto con, los datos de salida esperados.

En el capítulo 5, se busca la validación de la metodología con la aplicación de esta en caso real: “Borde Cerro”, se destaca la aplicación de la Encuesta viaje más frecuente, elaborada y aplicada por el equipo de Mo2, a petición de la empresa operadora Ruta Las Galaxias. Luego, el diseño y planificación de un trazado alternativo del sistema de transporte público, evaluado con estimaciones de los Flujos de Caja para un horizonte de 20 años y el posterior cálculo del VAN además, considera un análisis de la perspectiva social de esta inversión calculando, el VAN social considerando precios y tasa de descuento sociales vigentes en Chile. Se realiza un análisis de sensibilidad de estos estimadores, con respecto a las principales variables. Finalmente se realiza análisis de los resultados de la metodología aplicada.

Para finalizar, el capítulo 6 proporciona las conclusiones generales del estudio, con la elección de la metodología y la aplicación de ésta, las limitaciones y futuras líneas de investigación sobre el tema.

2. Antecedentes Generales.

Este capítulo considera casos y metodologías similares, enfocándose en la revisión bibliográfica por enfoques metodológicos de estudios, con el objetivo en el mejoramiento de la red de transporte público, desde el diagnóstico de sistemas actuales y la percepción ciudadana. La revisión busca la identificación de enfoques teóricos, metodologías y aplicaciones empíricas en relación con el diseño, planificación y evaluación de rutas del transporte público, junto con revisión de principios microeconómicos aplicados a la industria del transporte. La literatura permite una aproximación integral, donde los criterios operacionales se complementan con dimensiones sociales, económicas y territoriales.

2.1. Enfoques metodológicos diseño y evaluación de redes de transporte público

Gran parte de los estudios en torno al transporte público se centra en el diseño eficiente de redes considerando: geometría de los trazados, frecuencia de los servicios y uso de flota. Daganzo et al. (2010) proponen metodología con modelos híbridos para evaluar el equilibrio entre: cobertura, accesibilidad y eficiencia operacional. Este enfoque ha sido usado en análisis de redes urbanas complejas, se puede adaptar al diseño de trazados particulares con el enfoque híbrido considerando la red y centro-destinos (hub-spokes).

Estrada et al. (2016) aplica los principios de Daganzo al análisis del sistema de transporte público de Barcelona, desarrollan distintas simulaciones para comparar configuraciones de red. Si bien el alcance del estudio se orienta al sistema completo, se puede desprender aportes metodológicos aplicables al presente estudio como, la evaluación comparada

de trazados y el análisis del balance entre frecuencia y cobertura espacial. La limitación del enfoque es que no incorpora directamente dimensiones sociales, se debe complementar con otros enfoques.

Sumado a los anteriores, están los trabajos de Ceder (2007) y Vuchic (2005, 2017) que proponen fundamentos para la definición de criterios técnico tales como: regularidad, confiabilidad, ocupación de la flota y estructura de rutas. Elementos importantes para la evaluación de alternativas. Se usará en el desarrollo de este trabajo. Estos estudios son relevantes, en el diseño para evitar la saturación del sistema en horas punta o la ineficiencia, de la ocupación dada la baja ocupación de la flota en horas valle.

2.2. Participación ciudadana y percepción de usuarios

Para complementar los enfoques operacionales, la literatura destaca la importancia de incorporar la percepción de los usuarios en la evaluación de sistemas de transporte público. Stopher y Greaves (2007) mencionan, las encuestas de movilidad y de preferencias declaradas como herramientas fundamentales para la comprensión, del comportamiento de los usuarios y valoraciones respecto a la calidad del servicio. En éste sentido, Hensher et al. (2003, 2010) vincula atributos operacionales, con la percepción de calidad y satisfacción de los usuarios.

Eboli y Mazzulla (2007) proponen, índices de satisfacción del usuario que integran múltiples dimensiones, considerando que la percepción ciudadana constituye un componente clave para evaluar el desempeño del transporte público además de indicadores, tradicionales. Estos enfoques

respaldan el uso de la percepción ciudadana como insumo metodológico central.

Como ejemplo de lo anterior, se puede mencionar el trabajo de Andrew et al. (2022) integran datos operacionales con la percepción de los usuarios para evaluar el desempeño de un sistema BRT en Tanzania, a pesar de que es un análisis es de un sistema ya implementado. Demuestra que la percepción del usuario permite una evaluación integral. Esta memoria retoma este enfoque, aplicándolo a evaluación de trazados aún no implementados.

Experiencias institucionales como la encuesta desarrollada por el *Kansas City Area Transportation Authority* (KCATA, 2025) en el diseño de nuevos hubs y corredores urbanos evidencian la utilidad de la participación ciudadana para orientar decisiones de planificación especialmente, la accesibilidad, integración modal y calidad del espacio urbano asociado al transporte.

2.3. Marco microeconómico y bienestar social en el transporte

La componente social de éste estudio se sustenta en los principios de la microeconomía del bienestar social. Conceptos como: excedente del consumidor y del productor introducidos por Marshall (1890), han sido ampliamente usados para evaluar beneficios económicos asociados a mejoras en los sistemas de transporte. Small y Verhoef (2007) adaptan estos conceptos a la industria del transporte considerando los beneficios de la reducción de tiempos de viaje mejoras en la accesibilidad y el aumento de bienestar de los usuarios.

Estos principios permiten interpretar las valoraciones expresadas por la ciudadanía como una aproximación al beneficio social generado por alternativas de trazados. Así, la participación ciudadana no solo cumple el rol descriptivo, sino que aporta información relevante para la evaluación del impacto social de las propuestas.

2.4. Enfoque territorial, accesibilidad y TOD

En la literatura sobre el desarrollo urbano destaca, la importancia del contexto territorial en la evaluación de sistemas de transporte público. El enfoque *Transit Oriented Development* (TOD), desarrollado por Cervero (1994, 2010), enfatiza la relación entre accesibilidad, densidad, uso de suelo e integración modal. Estos elementos son relevantes para analizar cómo los trazados de transporte público influyen en la estructura urbana y la experiencia cotidiana de los usuarios.

Gehl (2010) refuerza ésta perspectiva al subrayar la relevancia de la escala humana y la calidad del espacio urbano en la movilidad cotidiana aspectos que inciden directamente en la percepción ciudadana del transporte público. La inclusión de criterios territoriales y de accesibilidad complementa la evaluación operacional y social de los trazados contribuyendo con visión integral del sistema.

2.5. Estudio de la demanda en el transporte público

La demanda por transporte público ha sido ampliamente estudiada como un fenómeno derivado donde el transporte no constituye un fin en sí mismo sino para acceder a actividades localizadas espacialmente. Esta demanda se explica a partir de decisiones individuales que buscan maximizar

la utilidad percibida considerando, restricciones de: tiempo, ingreso y disponibilidad de alternativas.

Ortúzar y Willumsen (2011) plantean que la demanda, puede descomponerse en una serie de decisiones interrelacionadas (elección de destino, modal y de ruta). En el transporte público éstas decisiones son influenciadas por atributos del sistema (tiempo de viaje, frecuencia, costo, accesibilidad, calidad percibida, etc.).

Ben-Akiva y Lerman (1985) desarrollan, el marco teórico de los modelos de elección discreta, para la elección de alternativas de transporte a partir de funciones de utilidad. Estos modelos son ampliamente usados permiten, capturar la sensibilidad de los usuarios frente a cambios en atributos del servicio y analizan, cómo modificaciones en la oferta influyen en la distribución de demanda entre las alternativas.

El estudio empírico de la demanda por transporte público considera, instrumentos de levantamiento de información destacan las encuestas de movilidad, de origen-destino y viajes más frecuentes. Estas herramientas permiten capturar información sobre patrones de desplazamiento, elección modal, horario de viaje y características sociodemográficas de los usuarios.

La participación ciudadana tiene un rol relevante como mecanismo para incorporar información cualitativa y perceptual que no siempre es capturada por los datos de fuentes secundarias tradicionales. La inclusión de ésta identifica barreras de acceso, problemas de cobertura y aspectos de calidad del servicio que inciden, directamente en la demanda efectiva del transporte público.

3. Marco Teórico.

Este capítulo introduce de manera general, las condiciones de sectores relegados de la población con respecto al sistema de transporte público, para identificar factores y atributos relevantes para la evaluación de trazados alternativos del sistema de transporte público.

Se analiza una situación simplificada de condiciones a encontrar en la evaluación real de trazados, para visualizar de mejor manera aspectos a considerar en la toma de decisiones. Terminando con hipótesis de solución con una serie de pasos y datos necesarios.

3.1. Situación preliminar

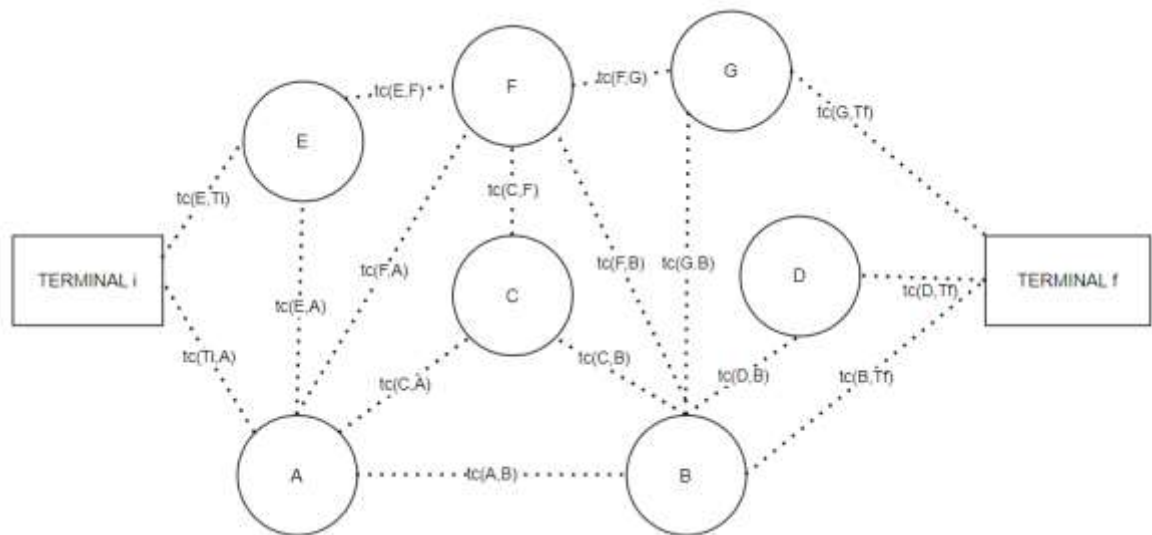
Inicialmente, se genera un ejemplo simplificado de condiciones a encontrar en la práctica modelado, por un sistema de grafos.

3.1.1. Representación simplificada condiciones de evaluación

Para una evaluación correcta de servicios alternativos se determinan, en primer lugar, los nodos de alta densidad de demanda, para estimar la magnitud de la población postergada de los servicios originales. La accesibilidad que para el caso se considera como la relación entre la distancia (distancia promedio o desde el centro) del nodo de origen hacia el nodo parada/estación más cercana. Se considera también, los tiempos de traslado del nodo de origen hacia el nodo de parada/estación. Sin embargo, se asume que en todas las propuestas se maneja el mismo nivel de información así el tiempo de espera en la parada será el mismo en todos los casos.

Situación Base: Se presenta un sector determinado sin servicios de Transporte Público (Figura 3.1), con un análisis demográfico de la zona se identifican nodos con alta demanda que se pretende cubrir, de manera arbitraria y para simplificar el análisis se determinaron 7 nodos se dispone como información los tiempos de traslado entre nodos ($tc(X, Y)$), finalmente se presentan los terminales iniciales y finales como, referencia del inicio y fin de las posibles expediciones, entendidas como la ejecución física de un viaje programado por una unidad (bus) en una ruta y sentido específico (Directorio de Transporte Público Metropolitano [DTPM], 2022).

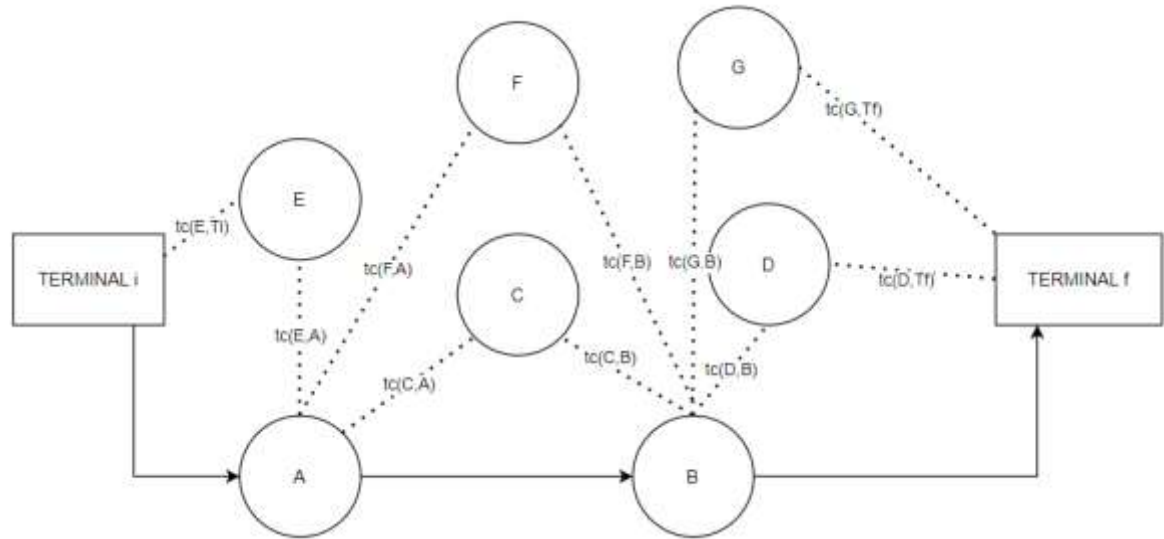
Figura 3.1: Situación Base, Condiciones del Sistema de Transporte Público en sector de estudio.



Fuente: Elaboración propia

Propuesta 1: La primera opción considera como objetivo la minimización del tiempo de la expedición (Figura 3.2), que podría ser un servicio expreso, que evita puntos de congestión, con una ruta periférica.

Figura 3.2: Propuesta 1, de mejora Sistema de Transporte Público con implementación servicio expreso.



Fuente Elaboración propia

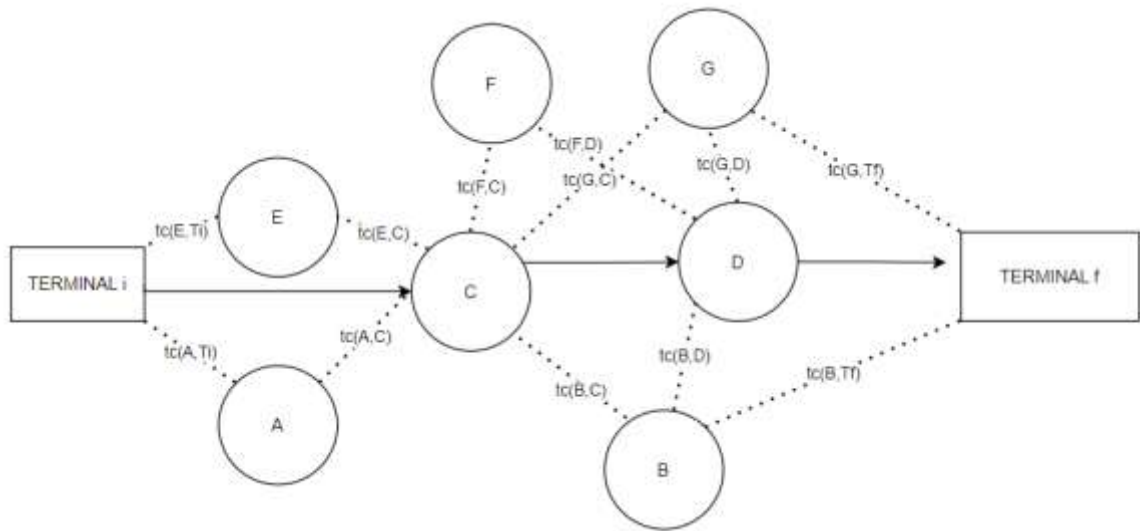
La eficiencia corresponde al tiempo de viaje, en términos operacionales, se puede considerar la mejor opción, sin embargo, no satisface la demanda dejando a los nodos lejanos, con mayor tiempo de traslado o dependiendo de otros modos (privado, bicicleta, scooter, vehículos compartidos) como una suerte ingreso al sistema.

Desventaja: Tiempos de traslados altos consideran, gran parte de la demanda postergada.

Ventaja: Eficiencia en tiempos de servicio (tiempos entre terminales es menor) y bajos costos operacionales.

Propuesta 2: Segunda opción centrada en la maximización del alcance de la expedición, buscando un trazado central, que permita satisfacer a la mayor cantidad de usuarios. Reduciendo los tiempos de traslados.

Figura 3.3: Propuesta 2, mejora de Sistema de Transporte Público con servicio con trazado por vías interiores



Fuente: Elaboración propia

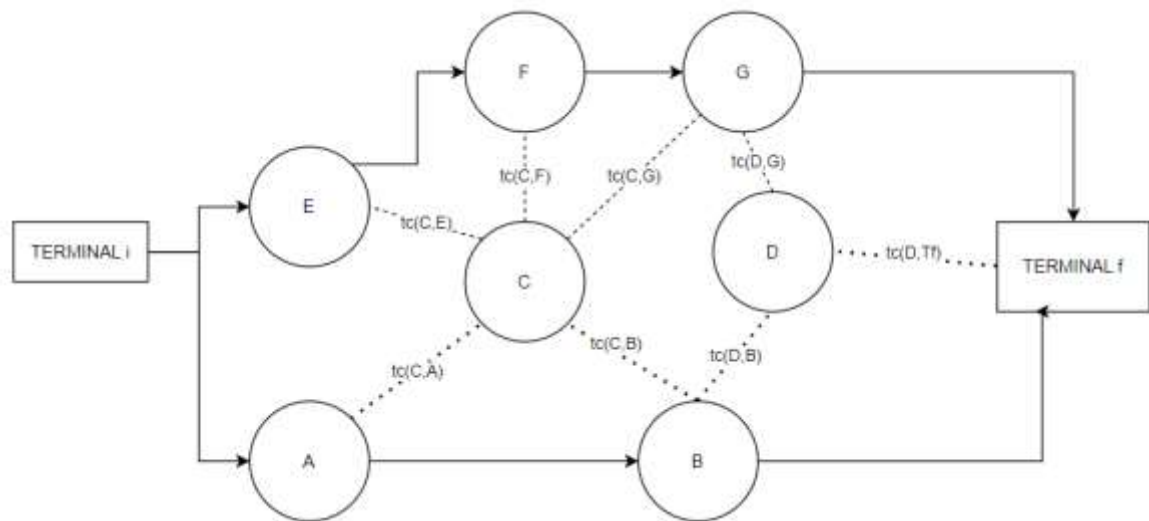
Trazado por vías interiores o de conexión entre nodos de alta demanda, con el objetivo de minimizar los tiempos de traslado. Se mejoran los índices de accesibilidad de la mayoría de los nodos, con menor tiempo de caminata y con trazado central. Esta propuesta requiere considerar infraestructura vial y tamaño de la flota. Busca que la mayor cantidad de usuarios tengan accesibilidad al sistema, esto implica considerar el tamaño y capacidad de la flota, si se disminuyen éstos, dado a la infraestructura vial, se debe aumentar la frecuencia de los servicios.

Desventaja: Mayor frecuencia, tiempo de servicio y requerimientos de infraestructura.

Ventaja: Menor tiempo de traslado, mayor cobertura accesibilidad (menor población postergada)

Propuesta 3:

Figura 3.4: Propuesta 3, de mejora de Sistema de Transporte Público con servicios complementarios.



Fuente: Elaboración propia

Consideran dos trazados con servicios simultáneos y complementados entre sí. Objetivo de minimizar la población postergada reduciendo los tiempos de traslado y la dependencia de otros modos de transporte aumenta la cobertura sin alterar, los tiempos de servicio. Al generar dos trazados paralelos los costos operaciones son mayores y el requerimiento de flota y conductores aumenta.

Desventaja: Requerimiento de flota y conductores aumenta, costos operacionales mayores.

Ventaja: Cobertura y accesibilidad mayor, tiempos de traslado disminuyen, la frecuencia y demanda del servicio original puede ser menor.

La breve representación busca simplificar y caracterizar una situación hipotética para ejemplificar aspectos de la evaluación que se considerarán relevantes en la metodología, como el mapa con los nodos de mayor densidad de demanda, tiempos de expediciones, accesibilidad de los usuarios al servicio de transporte de público, la ocupación de flota de buses, tiempos de traslado, flota necesaria y demanda postergada. Se deben considerar aspectos que no formaron parte de la simulación como: el porcentaje de coincidencia con otros servicios (requerido por parte del regulador); costos operacionales e inversión inicial.

3.2. Propuesta de solución

Con los factores considerados en la situación preliminar (Figuras 3.1, 3.2, 3.3, 3.4) se generan una serie de pasos necesarios para lograr el objetivo del estudio. Para unificar criterios de comparación abarcando todos los aspectos relevantes desprendidos de la representación anterior se requiere la propuesta de una función objetivo que maximice el bienestar social, sujeto a la sostenibilidad del trazado propuesto.

3.2.1. Descripción de la demanda y zona: Inicialmente es necesario la limitación de la zona para implementar el trazado y disponer de un origen del recorrido. Con la zona de estudio delimitada tendrían estudios de base en torno: la demanda potencial de la zona, destino, modo de transporte, elasticidad de la demanda respecto a la mejora del servicio, hora de viajes.

3.2.2. Modificación y Diseño de trazado: Se considera la modificación de trazado actual o el diseño completo de nuevo servicio. Se considera las necesidades expuestas en el paso anterior y aumentar la cobertura en la zona del servicio. Estas modificaciones consideran posibles cambios de rutas de servicios, paradas y tiempos de servicio.

3.2.3. Evaluación Social y Operación del trazado: La evaluación social considera maximizar el bienestar social, tanto del productor (en este caso empresa operadora) como del consumidor (usuario), y considerando la sostenibilidad del servicio y mejora en la calidad del servicio.

3.2.4. Toma de decisiones: Considerando lo descrito en 3.2.1, las características del nuevo servicio y la evaluación social, operacional y económica del nuevo trazado, se toma una decisión respecto al estudio lo que llevaría a una propuesta formal de modificación del programa operacional.

Para lo anterior es necesario obtener datos, clasificados entre sociodemográficos, técnicos y económicos, según el origen de éstos y la función que éstos tendrán en la evaluación final.

Entre de los datos sociodemográficos podemos considerar:

- Tamaño de la zona de estudio y limites
- Población de la zona de estudios

- Grupo etario de los usuarios del servicio
- Genero
- Situación laboral
- Ingreso hogar
- Lugares preferentes de destinos
- Hora de inicio de los viajes
- Propósitos de los viajes
- Modo de transporte
- Percepción del sistema de transporte público

Lo anterior apoyarían el primer punto de la evaluación que consiste en: la descripción de la demanda y la zona de estudio. Estos datos se pueden obtener desde datos públicos como también desde portales como: Datos Abiertos o de Transparencia, resultados de Censo, EOD pasadas o de recopilación propia.

El siguiente grupo de datos: los técnicos que tienen relación con la operación del sistema de transporte actual entre los cuales podemos destacar:

- Servicios actuales
- Volumen de usuarios
- Flota ocupada
- Tasa de cumplimiento de los servicios
- Horarios punta, valle y baja
- Kilómetros de recorrido

Con estos datos mencionados se puede realizar una descripción del sistema, como evaluación técnica de los servicios actuales además, de

compararlos con las condiciones percibidas por los usuarios y expertos, se propondrían mejoras al sistema, modificación de trazados o nuevos servicios para el sistema.

Finalmente, los últimos datos son, de naturaleza económicos que serán determinantes al definir si las modificaciones recomendadas en base a datos anteriores podrían o no ser sostenibles en el tiempo.

- Inversión inicial asociada al nuevo trazado
- Estructura de gastos, costos fijos y por kilómetro de la operación
- Ingresos por tarifa
- Nivel de subsidio

Estos datos permitirán estimar los flujos de caja futuros necesario para el calculo del valor actual neto de la implementación del trazado evaluado.

4. Metodología.

El presente estudio primero considera consulta a expertos de forma exploratoria con el fin de recopilar información acerca de las deficiencias actuales del sistema de transporte en la zona, los datos disponibles y los desafíos en los que se trabaja en torno a las modificaciones de rutas.

En una segunda etapa, se construye el árbol del problema con sus principales causas a eliminar y consecuencias que se puedan mitigar, esto ayuda a delimitar el problema central. Se genera su respectivo árbol de objetivo, a partir de esto se elabora la Matriz de Marco Lógico con el fin de demarcar los componentes del proyecto y orientar la propuesta de solución.

Se pasa al desarrollo de los distintos componentes del instrumento teniendo en cuenta las consideraciones propuestas anteriormente.

4.1. Consulta con especialistas. *(entrevistas)*

Como parte del periodo exploratorio de la investigación se realizaron distintas reuniones junto con especialistas relevantes de la industria, tanto del sector privado como público.

Estas reuniones se realizaron con el fin de recopilar información acerca del contexto en el cual se encuentra el sistema de transporte público actual en la región, como se llevan a cabo sus procesos, cuales creen que son las deficiencias de este y su experiencia en primera instancia con la encuesta y posterior informe del equipo de Mo2 (encuesta presente en el Anexo A). Estas entrevistas se realizaron a: representante de la empresa operadora Ruta Las Galaxias; ingeniero analista de transporte público de División de Transporte

Público regional de la Subsecretaría de Transporte del Bio-bio; al coordinador de planificación y Diseño de Sistemas de Transporte Público, secretaria técnica DTPR.

Esta investigación nace de la necesidad de una empresa operadora de transporte público en el Gran Concepción, Ruta Las Galaxias, de contar con un informe técnico que permita respaldar la percepción de sus colaboradores de modificar el programa de operación de un trazado, con el fin de mejorar su servicio, en específico para el caso del sector “Borde Cerro”, comuna de Chiguayante. En el sector solo existe un servicio que tiene como destino la comuna de Talcahuano. Se detectó que en el sector para optar por otros servicios se debía traspasar la línea férrea por pasos no habilitados, exponiéndose a accidentes. Por esto se tomó la decisión de solicitar una variante del servicio existente para incluir destinos de interés desde el sector. En reunión con el representante de la empresa, indicó las principales motivaciones para solicitar el estudio y la modificación del programa operacional, como la percepción constante de saturación de buses en horarios punta y por el contrario una baja ocupación de estos en horarios valle, características geográficas de la zona que generaban una gran cantidad de usuarios cautivos por estar entre el cerro del sector y la vía férrea que limita el traslado de las personas en búsqueda de más servicios de buses. Dentro de la conversación menciona que debido a las modificaciones de parte del regulador especialmente de la implementación del Perímetro de Exclusión, la empresa consideró que era necesario refinar su metodología de descripción de la demanda y sus necesidades. Con la aplicación de la encuesta, la percepción de los especialistas de la empresa finalmente fue fundamentada

por los resultados, ésta ahora tiene un sustento empírico de parte de la población, obteniendo un peso mayor a la hora de solicitar modificaciones frente al regulador.

Para darle una solución a esta problemática el equipo de investigadores de la Universidad de Concepción encabezados por los profesores Sebastián Astroza y Juan Antonio Carrasco, prepararon una encuesta abierta por medio de la plataforma Mo2, donde consultaban a los vecinos del sector sobre las características de su viaje más frecuente, entre las distintas reuniones de con los profesores daban cuenta de las dificultades con las que se encontraron a la hora de llegar a la solución que se pedía, como la inexistencia de un método estándar de evaluación de rutas, los plazos que se disponían eran acotados (alrededor de 4 semanas), como se llegaría a los vecinos, que preguntas eran realmente relevantes, que tan representativa sería la encuesta y como se harían los análisis. Algunas ideas de cómo abordar la evaluación de trazados es la implementación de servicio piloto de forma temporal, que entregaría datos concretos si los nuevos trazados son o no una buena opción para implementar.

Desde el sector público comentan que actualmente los procesos de evaluación de rutas empiezan cuando organizaciones de vecinos levantan peticiones de nuevos servicios, luego de recibir esta petición se ve que empresa operadora se encuentra prestando servicios en el sector y podría modificar su programa operacional o implementar un servicio variante, si no existe posibilidad de modificación bajo estas condiciones se realiza un concurso público para definir qué empresa operadora se adjudica un nuevo

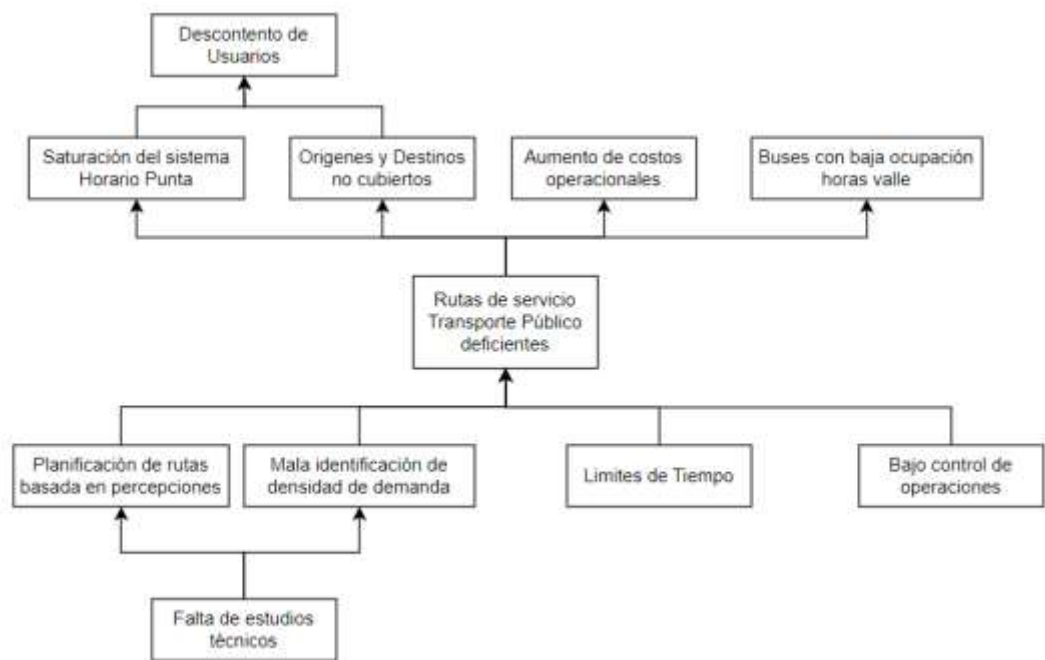
servicio. La percepción del sector con respecto a esta forma de evaluar los nuevos servicios muestra ser negativa dado que, estas peticiones no representan al total de la población si no a grupos que tienen capacidad de organización y provoca que a “los que gritan más fuerte” se les adapta el servicio. También comentan, al igual que el representante de la empresa operadora, que la opción de implementar un servicio piloto si bien replicaría las condiciones del sistema de buena forma, no es viable entre otras cosas por la posibilidad de no implementarse de forma definitiva afectará a la imagen y prestigio de la empresa y del regulador.

4.2. Árbol Problema, Objetivo y Matriz de Marco Lógico

4.2.1. Árbol Problema

Para conceptualizar los problemas tratados se realiza un análisis con un árbol identificando el problema central, sus causas y efectos en

Figura 4.1: Árbol del Problema Rutas de servicio de Transporte Público deficientes



Fuente: Elaboración propia

la población afectada.

Problema central: Rutas de servicio de Transporte Público deficientes

Causas: Falta de estudios técnicos en la planificación de rutas dejándo está a la percepción de especialistas, además de una mala identificación de la demanda, limites en el tiempo de los estudios

siendo estos muy acotados para realizar un estudio exhaustivo y un bajo control de las operaciones.

Efectos: Saturación de los buses del sistema en horario punta y una baja ocupación en horarios valle, deficiencia en el uso de los recursos y orígenes y destinos de usuarios no cubiertos provocando un descontento de los usuarios.

4.2.2. Árbol Objetivo

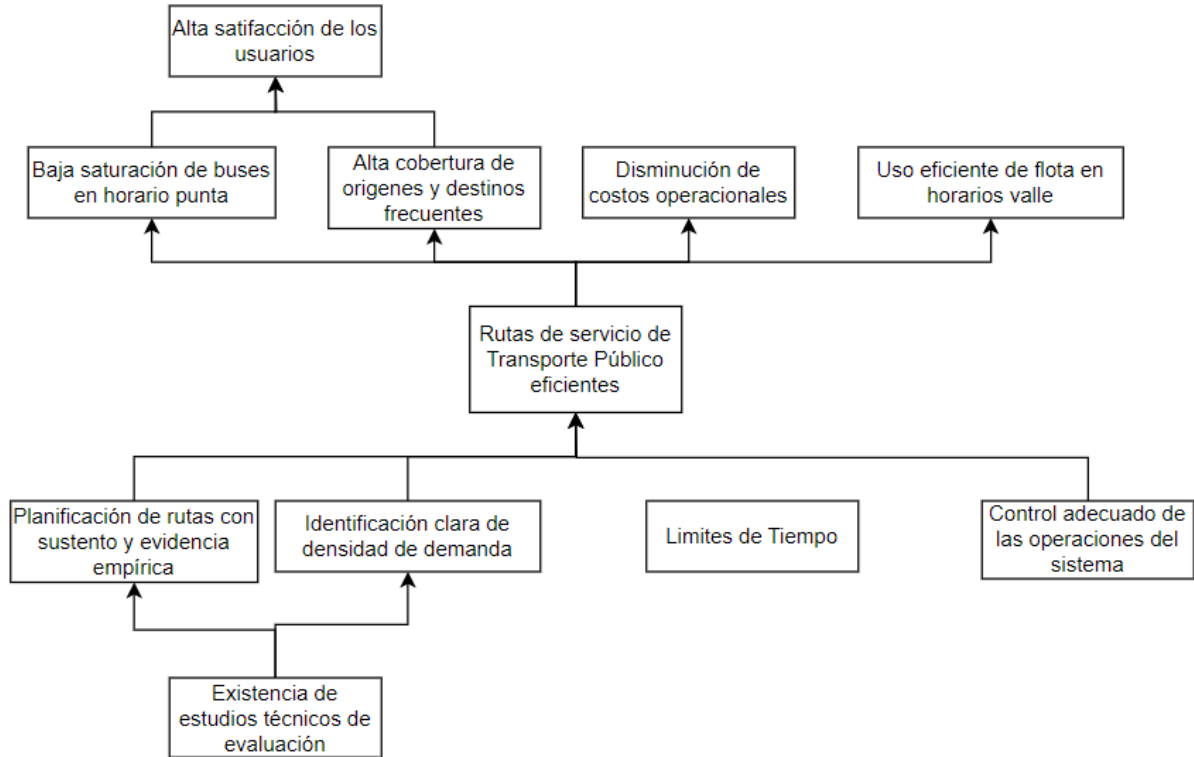
Objetivo Central: Que las Rutas de servicios de Transporte Público sean eficientes.

Medios: Existencia de un estudio técnico capaz de identificar la densidad de demanda y tener una planificación de rutas en base sustentos más allá de percepciones, tener un control adecuado de las operaciones.

Restricción Natural: Límites de tiempo, para la evaluación de las modificaciones de los servicios suelen ser de 2 meses a máximo un año.

Fines: Optimizar el uso de la flota, disminuyendo la saturación del sistema en horarios punta y aumentando la eficiencia de la flota en horarios valle; disminución de los costos operacionales y maximizando ingresos por tarifa; ampliación de cobertura a destinos frecuentes, aumentando de satisfacción de los usuarios con el servicio de transporte público.

Figura 4.2: Árbol objetivo Rutas de servicio de Transporte Público eficientes



Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Matriz de Marco Lógico

A partir de lo observado en las figuras: 4.1, 4.2, se elabora la Matriz de Marco Lógico (MML) (Tabla 3.1), donde se estructura el propósito y componentes del presente trabajo para orientar el desarrollo.

Tabla 4.1: Matriz de Marco Lógico de la Evaluación.

Nivel de Objetivo	Resumen Narrativo	Indicadores Verificables Objetivamente (IVO)	Medios de Verificación	Supuestos / Condiciones Externas

Fin (Impacto general)	Contribuir a la mejora de la eficiencia y sostenibilidad del transporte público mediante un instrumento técnico que permita evaluar y optimizar trazados de servicio.	• El instrumento es aplicado por operadores o autoridades en al menos una evaluación de trazados. • Se generan diagnósticos técnicos que sustentan decisiones de rediseño.	• Informes técnicos institucionales. • Registros de uso del instrumento en licitaciones o resoluciones. • Documentos de planificación del transporte.	• Existencia de interés institucional en mejorar trazados. • Disponibilidad de datos de transporte y demanda.
Propósito (Efecto directo del proyecto)	Desarrollar y validar un instrumento metodológico para la evaluación integral de trazados de transporte público, considerando dimensiones operacionales, sociales y económicas.	• Instrumento documentado y validado (manual o guía metodológica). • Metodología probada en caso de estudio piloto. • Incorporación de indicadores sociales, de servicio y operacionales.	• Documento final del instrumento. • Informe de caso piloto.	• Colaboración de instituciones o empresas para aplicar el piloto. • Tiempo suficiente para recolección y análisis de datos.
Componentes (Resultados esperados)	1. Diagnóstico de condiciones sociodemográficas y del servicio actual. 2. Encuesta representativa aplicada a	• Base de datos sociodemográfica y de operación validada. • Encuesta aplicada y analizada en ≤ 6 semanas.	• Bases de datos y encuestas. • Informes técnicos intermedios. • Documento del	• Recursos técnicos disponibles. • Acceso a datos abiertos y colaboración institucional.

	usuarios del sistema. 3. Metodología de modelación y diseño de trazados alternativos desarrollada. 4. Módulo de evaluación social y privada implementado. 5. Documento metodológico consolidado como instrumento de evaluación.	• Diseño de trazado alternativo. • Indicadores de evaluación definidos y calculados. • Documento final disponible.	instrumento final.	• Cumplimiento del plazo total del proyecto.
Actividades (Medios)	Paso 0: Recopilación de datos abiertos y caracterización de la zona de estudio. Paso 1: Diseño y aplicación de encuesta de usuarios con criterios estadísticos. Paso 2: Elaboración de trazados alternativos mediante	• Cronograma cumplido. • Encuesta validada y representativa. • Instrumento metodológico entregado.	• Informes técnicos y de avance. • Reportes de aplicación piloto. • Documento final del instrumento.	• Disponibilidad de tiempo (4–6 semanas para encuesta). • Acceso a información oficial y datos abiertos. • Apoyo técnico de actores clave.

	modelación de redes. Paso 3: Evaluación social y económica de los trazados propuestos. Paso 4: Consolidación del instrumento metodológico y validación técnica.			
--	---	--	--	--

Fuente: Elaboración Propia

4.3. Metodología de Evaluación de Trazados Alternativos

En la siguiente sección se considera un instrumento que permite el análisis del sistema actual, en específico trazados de buses del transporte público (TP) presentes en la zona de estudio (ZE) delimitada y considerando está como el origen de los viajes de la población objetivo definiendo características de sus viajes (por ejemplo: demanda, tipo de flota, destinos, tiempos, etc.), con el objetivo de generar una propuesta de mejora para la comunidad de la ZE y la evaluación de factibilidad contemplando tanto la perspectiva privada como social.

4.3.1. Análisis del sistema y encuesta Viaje más Frecuente

Este análisis comienza con la delimitación de la ZE, lo cual se hará según características mencionadas en el Informe 1 de la EOD Gran Concepción 2015 “*Las zonas deberán ser homogéneas en cuanto a acceso, uso de suelo, proyecciones de crecimiento y presencia de hitos (...) la necesidad de ser compatible con la división político-administrativa*”. Siendo

adaptable a las condiciones y contextos en la cual se aplique la metodología. Se asume que el nivel de agregación espacial adoptado, es suficiente para evaluar las alternativas en la etapa de estudio. Si bien el enfoque no captura la totalidad de variabilidad intrazona ni condiciones puntuales, se considera adecuado para identificar tendencias generales. Luego, los valores promedio y representativos usados para caracterizar el sistema de transporte y la demanda permiten describir de manera adecuada su desempeño general, entendiendo que estos valores no capturan la totalidad de la dispersión en casos extremos, se consideran suficientes.

Con la zona delimitada, se caracteriza la situación del sistema. Que servicios están presentes y sus atributos (Trazados, frecuencia de buses, tarifas, conexiones, tiempos de expedición, etc.), información que debiese estar contenida en los Programas Operacionales.

Junto con esto se realiza la una encuesta sobre el Viaje Más Frecuente de los usuarios de la zona, esto con el objetivo de que la participación ciudadana evidencie atributos del sistema que desde otras perspectivas no se consideran, además de identificar deficiencias de este que se deben mejorar. Esta encuesta busca eliminar sesgos de participación dado que según lo informado tanto por autoridades del sector público como privado reconocieron que hasta ahora las modificaciones de los trazados se han hecho de forma centrada en comunidades con gran capacidad de organización y no de manera equitativa con todos los usuarios. La encuesta se debe enfocar en aspectos como: hora de inicio del viaje, propósito, elección modal, ubicación

de los hogares y destino más frecuente, si su destino está o no cubierto por TP de la zona y que calificación de daría al sistema.

Además, se deben incluir preguntas orientadas a las características sociodemográficas de los encuestados, género, edad, situación laboral y académica, nivel de ingresos. Esto para tener en consideración que la muestra debe tener a todos los grupos debidamente representados, para garantizar esto se deben comparar con estudios y encuestas de base como el CENSO Población o EOD disponibles.

Se asume que los resultados de la encuesta levantada son representativos del comportamiento de la demanda de transporte público del área de estudio, permitiendo aproximar preferencias de viaje y patrones de uso relevantes para la evaluación de trazados alternativos. Este supuesto se justifica por el objetivo del presente trabajo es la identificación de tendencias, diferencias y potenciales mejoras entre alternativas evaluadas, enfoque consistente con la literatura internacional en planificación de transporte (OECD/ITF, 2017)

El uso de encuestas de movilidad para el análisis de viajes es una práctica ampliamente usada en la planificación de transporte en etapas exploratorias, donde no se dispone de información observada o modelos de demanda calibrados. Organismos internacionales y estudios académicos reconocen que las encuestas permiten aproximar las características fundamentales de la demanda, siendo particularmente útiles para la comparación relativa entre escenarios de diseño (Ortúzar & Willumsen, 2011; Stopher & Greaves, 2007; World Bank, 2019).

4.3.1.1. Preguntas

La selección de preguntas considera las características del viaje más frecuente, como:

- *Ubicación del Hogar u origen*
- *A cuanta distancia se encuentra tu hogar de la parada más cercana*
- *Ubicación Destino frecuente*
- *A cuanta distancia se encuentra tu destino frecuente de la parada más cercana*
- *Propósito del viaje*
- *Horario inicio de viaje*
- *Tiempo de viaje*
- *Modo de transporte*
- *Realizas transbordo*
- *Que nuevo sector le serviría que cubriera pensando en el viaje más frecuente*
- *Que nuevo sector le serviría que cubriera pensando en otros propósitos*

Además, esta encuesta debe tener componentes demográficos para establecer la representatividad de la muestra en la población, con preguntas como:

- *Género*
- *Edad*
- *Ocupación*
- *Último nivel educacional completado*

- *Ingreso total percibido*

Finalmente, se cierra la encuesta con preguntas con relación a la percepción del sistema de transporte actual en la zona:

- *Que aspectos le parecen positivos del sistema*
- *Que aspectos le parecen negativos del sistema*
- *Como mejoraría al sistema*
- *Cuál es la característica que considera más importante en el sistema*
- *Que calificación tendría el sistema*
- *Justificación a de la calificación*

4.3.1.2. *Canales de difusión*

Esta encuesta será aplicada a los usuarios en forma digital por medio de links a grupos de interés, en paraderos y buses por medio de QR. Intuyendo que esta forma de aplicar la encuesta puede tener un sesgo etario en paralelo se aplica la encuesta presencial a grupos menos representados por los encuestados en vías digitales.

4.3.1.3. *Análisis de respuestas*

En este punto se llevarán a cabo la limpieza y el análisis de las respuestas obtenidas de la encuesta, con tal quedarnos con las respuestas validadas y relevantes para el estudio. Se tendrán en cuenta aspectos como ubicación del hogar y del destino, franja horaria en que se realizan los viajes, quienes son los que realizan los viajes, etc.

4.3.1.4. *Representatividad de la muestra*

De esta encuesta se espera tener un alto porcentaje de representatividad en todos los grupos de la población, se establecerán

los métodos para evaluar tal representatividad y cuáles son los grupos de interés en los que se medirán.

Los grupos de interés serán divididos por género y rango de edad (ejemplo: Mujer de 25 a 40 años).

Mientras que la forma en que se evaluará la representatividad de estos grupos será junto con intervalos de confianza considerando como la población total de la ZE la entregada por los datos demográficos de encuestas de base más actualizados.

La fórmula para determinar este Intervalo de Confianza se desprende de la Teoría Central del Límite (Laplace, 1812), en la cual se ocupa el error estándar (SE) dado por:

$$SE = \sqrt{\frac{p(1 - p)}{n}}$$

Donde:

p: Proporción real de la población

n: Tamaño muestral

Y el intervalo de confianza (IC) al 95% estará dado por:

$$IC_{95\%} = p \pm 1,96 * SE$$

Una medida para mitigar el riesgo de no representatividad de alguno de los grupos será la aplicación de la encuesta de forma presencial a grupos relegados.

Junto con esta medida, en caso de no lograr la representatividad efectiva de alguno de los grupos o la muestra está desbalanceada, se optará por aplicar un proceso de ajuste de pesos basado en la técnica estándar de post-estratificación y calibración, que permite corregir la

sub o sobrerrepresentación de segmentos, mediante la incorporación de factores de expansión (Lohr, S. L., 2010) definidos como:

$$w_h = \frac{N_h}{n_h}$$

Esto se deberá complementar con un ajuste iterativo tipo ranking para garantizar que las distribuciones muestrales coincidieran con las distribuciones poblacionales. Finalmente, los pesos se calibran con el estimador de GREG (Deville & Särndal, 1992) asegurando coherencia con los totales poblacionales. Este es el procedimiento estándar recomendado por Eurostats (2018), ONU-UNECE (2010) y las oficinas nacionales de estadística para corregir problemas de no representatividad en encuestas de transporte y movilidad (Ortúzar & Willumsen, 2011).

Se asume que la muestra obtenida presenta una representatividad suficiente en términos demográficos y funcionales para los fines del análisis comparativo. Con esto se completará un análisis completo de las características de la demanda y del sistema, junto con las principales necesidades que serán consideradas en el siguiente punto.

4.3.2. Propuesta de trazado alternativo

La propuesta de trazado considera el diseño y planificación de una o más alternativas a los servicios actuales, presentes en la ZE. Las características de esta alternativa deben responder a las necesidades mencionadas en el levantamiento de información previo.

Para la definición y evaluación de las alternativas se consideran los siguientes criterios: Cobertura de nuevos destinos; Aumento de frecuencia de buses; Mejora de condiciones del servicio; Reducción de tiempos; Aumento de cobertura en el origen. Estos representan dimensiones del nivel de servicio del transporte público relevantes desde la perspectiva del usuario, particularmente en contextos de modificación de programas operacionales, y corresponden a atributos ampliamente usados en las evaluaciones del desempeño del transporte público y de la calidad del servicio (Eboli & Mazzulla, 2007; Transportation Research Board, 2013; UITP, 2019).

Se asume que estos criterios capturan los aspectos más relevantes del desempeño del sistema desde la perspectiva del usuario y de la gestión operativa, reconociendo que otros criterios podrían incorporarse en evaluaciones de mayor alcance. Este enfoque es consistente con prácticas internacionales de evaluación preliminar y ex-ante de proyectos de transporte, donde se privilegia indicadores controlables y directamente vinculados con la operación del sistema (OECD/ITF, 2017; World Bank, 2019)

Los criterios de evaluación se analizan de manera independiente en esta etapa, asumiendo que las interacciones no alteran la comparación preliminar entre alternativas. O sea, el análisis no establece una priorización explícita entre criterios. Este enfoque es habitual en el análisis multicriterio, que es aplicado en etapas tempranas del ciclo de evaluación de proyectos, donde los eventuales trade-offs entre criterios específicos se abordan en fases

posteriores mediante evaluaciones económicas y sociales más detalladas (Belton & Stewart, 2002; European Commission, 2014).

La forma de diseño y planificación será definida caso a caso, los factores a considerar son dados por el contexto donde se aplique, cantidad de recursos disponible y robustez. Se asume que las alternativas de trazado propuestas responden a un mismo problema del servicio y son comparables en términos de alcance funcional, permitiendo su evaluación bajo un conjunto común de criterios, condición fundamental para la comparación de opciones en procesos de planificación de transporte (World Bank, 2019; OECD/ITF, 2017).

Los criterios de calificación utilizados para interpretar los indicadores del sistema permiten distinguir desempeños relativos de las alternativas evaluadas. Dichos criterios se emplean con fines comparativos y no normativos, su definición podría refinarse en etapas posteriores.

Finalmente, el nivel de análisis desarrollado corresponde a una etapa de prefactibilidad a factibilidad, por lo que el estudio se centra en la definición general de trazados y su desempeño esperado, sin abordar el micro diseño operativo. Este nivel de análisis es coherente con los marcos metodológicos internacionales para el desarrollo y evaluación progresiva de proyectos (European Commission, 2014; World Bank, 2019)

4.3.3. Factibilidad

Considerando las características del trazado propuesto y las estimaciones tanto de demanda como de costos, se realiza una Evaluación económica, para la determinar la factibilidad del proyecto, junto con se realiza la evaluación social que significaría la implementación de este trazado.

4.3.3.1. Evaluación Privada

La evaluación económica se hará por medio de un análisis del Valor Actual Neto (VAN), dadas estimaciones de ingresos por demanda, estructura de costos, nivel de inversión, etc.

4.3.3.2. Evaluación Social

Se complementará el análisis con una evaluación social del trazado donde se considerarán, entre otros factores, los precios sociales y el valor del tiempo de los usuarios.

4.3.3.3. Análisis de sensibilidad

Ya hecho el análisis de factibilidad económica y social, determinará a que factores es más sensible la factibilidad de la implementación del trazado evaluado. Se medirá cuanto afecta variaciones en puntos porcentuales distintas variables.

4.3.4. Datos

4.3.4.1. Datos de entrada

Los datos requeridos para realizar una evaluación completa, considerando los niveles de información entre mayor precisión en los datos

el modelo se robustecerá, para efectos prácticos se puede realizar la evaluación con estimaciones.

Entre los datos sociodemográficos necesarios se encuentran:

- Zonificación definida
- Partición etaria de la población en la ZE
- Partición por ocupación
- Partición por genero

Datos sobre el sistema de TP:

- Trazado del servicio actual
- Volumen de usuarios
- Tiempos por expedición
- Flota Total
- Capacidad de los buses
- Velocidad promedio de buses
- Longitud de los recorridos
- División de tramos horarios

Datos económicos:

- Inversión
- Estructura de costos

- Administrativos
- Fijos
- Por servicio
- Por kilómetro recorrido
- Ingresos por tarifa
- Normal
- Adulto mayor
- Escolar
- Nivel de subsidio
- Subsidio a la tarifa
- Otros

Se asume que la información secundaria utilizada en el estudio, proveniente de fuentes oficiales y administrativas tales como: Programas Operacionales, encuestas de movilidad y registro demográficos, presentan un nivel de confiabilidad y consistencia adecuado para el análisis desarrollado. Dichos datos se consideran suficientes para caracterizar el sistema y realizar comparaciones preliminares. Junto con esto, se asume que las bases de datos reflejan adecuadamente las características estructurales del sistema y de la demanda en la ZE, aun cuando corresponden a distintos años de levantamiento. En conjunto, estos supuestos permiten usar información secundaria como insumo válido para la evaluación preliminar de alternativas,

sin sustituir la necesidad de estudios específicos en fases posteriores de planificación.

4.3.4.2. Datos de salida

De los encuestados se pueden obtener datos relevantes para el estudio como:

- Destinos frecuentes de los usuarios
- Horario de inicio de los viajes
- Nivel de saturación de buses
- Ubicación Hogar (lugar de origen)
- Cobertura

Luego, de la propuesta de trazado podemos obtener:

- Trazado de servicio alternativo
- Capacidad de buses
- Frecuencia de los buses según franja horaria
- Tiempos de viajes
- Destinos cubiertos
- Demanda proyectada

Finalmente, de las evaluaciones económicas se obtendrán el VAN privado y VAN social.

4.3.5. Resultados esperados

Se espera que, con los datos obtenidos, se puedan obtener variaciones en los siguientes estimadores relacionados a los usuarios de TP en la ZE:

- Reducción de los tiempos de viaje
- Aumento en la cantidad destinos cubiertos
- Disminución de la saturación
- VAN social positivo ($VAN > 0$)

El cumplimiento de los objetivos será determinado por la magnitud de estas variaciones de forma íntegra.

4.3.6. Matriz de Marco Lógico

A modo de resumen se elaboró esta MML con el fin de resumir y definir claramente el proceso de evaluación de Trazados de Transporte Público.

i. Fin:

Mejorar la accesibilidad, tiempos de viaje y calidad del TP en la ZE mediante la identificación y evaluación de trazados alternativos factibles económica y socialmente.

ii. Propósito:

Diseñar y evaluar un trazado para el TP que responda a necesidades detectadas en la ZE y sea sostenible de implementar.

iii. Componente / Productos:

Componente	Indicadores	Medios de Verificación	Supuestos
C1. Diagnóstico del Sistema Actual	Zona definida, datos PO recopilados, encuesta aplicada	Base de datos, informe diagnostico	Acceso a PO y disposición de usuarios
C2. Diseño del Trazado alternativo	Trazado, frecuencias y tiempos estimados	Tabla de frecuencias, itinerarios, recorrido	Datos suficientes
C3. Evaluación Económica y social	VAN privado, VAN social, costos, beneficios	Plantilla de Evaluación	Costos e ingresos correctamente estimados
C4. Análisis de sensibilidad	Variaciones X% de demanda, costos, frecuencia	Gráficos y tablas de sensibilidad	Variables con rangos razonables

iv. Actividades

Código	Actividad
A1.1	Delimitar ZE según criterios EOD

A1.2	Levantar PO y datos operacionales
A1.3	Aplicar encuesta Viaje más Frecuente
A1.4	Analizar problemas actuales (cobertura, tiempos, saturación)
A2.1	Diseñar el trazado alternativo
A2.2	Definir frecuencias, paradas, tiempos
A2.3	Estimar demanda proyectada
A3.1	Estimar costos e ingresos
A3.2	Calcular VAN privado y social
A4.1	Elaborar análisis de sensibilidad
A4.2	Generar informe final

5. Aplicación de Metodología Caso Borde Cerro comuna de Chiguayante.

En la comuna de Chiguayante, el sector Borde Cerro se encuentra ubicado en el sector nororiente de la comuna tiene características habitacionales y actualmente se encuentra limitado por la línea férrea y las condiciones naturales de la comuna, por lo que la población se encuentra mayormente aislada del resto de la comuna, imposibilitándola de optar a los servicios de transporte público fuera del sector o teniendo que arriesgarse pasando por la línea por pasos no habilitados. Por lo que es primordial que los servicios del sector cubran lo mayor posible las necesidades de los usuarios.

En este capítulo se aplica la metodología descrita anteriormente, delimitando la zona de estudio, caracterizando la población, se diseña un trazado variante al actual y finalmente se evalúa la sostenibilidad de este nuevo trazado con la evaluación económica privada y social.

5.1. Zona de Estudio:

Como se mencionó anteriormente la ZE será el sector Borde Cerro de la comuna de Chiguayante, que según la EOD del Gran Concepción del año 2015, esta codificada como zona 1550.

5.2. Datos demográficos:

Según el CENSO de Población y vivienda del año 2024, en la comuna de Chiguayante fueron censadas 85.822 personas, de las cuales 16.757 declaran usar el transporte público.

En la Tabla 5.1. se destaca la distribución de la población según género y edades, esto es importante ya que posteriormente se usará para evaluar la representatividad de la muestra de los encuestados.

Tabla 5.1: Distribución por género y edad población que usa TP

Genero	Edades	Personas CENSADAS	Porcentaje del Total (%)
Hombre	0-17	115	0.7%
Mujer	0-17	77	0.5%
Hombre	18-30	1618	9.7%
Mujer	18-30	1687	10.1%
Hombre	31-45	2702	16.1%
Mujer	31-45	3017	18.0%
Hombre	46-65	3232	19.3%
Mujer	46-65	3494	20.9%
Hombre	66+	497	3.0%
Mujer	66+	318	1.9%

Fuente: Elaboración propia a partir datos CENSO 2024 (INE)

5.3. Servicios Actuales:

La ZE actualmente cuenta con un solo servicio de buses el 80ZL, operado por la empresa de buses Ruta Las Galaxias, este servicio tiene como origen el Terminal Valle La Piedra con destino al San Vicente, comuna de Talcahuano, vía Paicaví. Este servicio consta de 34,8 km de ida y 34,4 km de retorno. El sentido IDA (80L) considera 121 salidas en día laboral, 77 sábados y domingo o festivos 50, su horario de operación va desde las 5:00hrs a 21:59hrs, en tramos de demanda alta el número de salidas alcanza los 12 buses/hr. En cuanto en el

sentido REGRESO (80Z), se realizan 124 salidas en día laboral. 78 días sábado y 49 días domingo y festivos, compartiendo horario de operación que el sentido contrario y las salidas en tramos de demanda alta llegan a 10 buses/hr. La capacidad de los buses en promedio es de 54 pasajeros.

Figura 5.1: Servicio Troncal 80ZL



Fuente: FICHA MODIFICACION PO UN80. (<https://www.dtp.cl/pe/concepcion/resolucionesgenerales>)

5.4. Aplicación de encuesta:

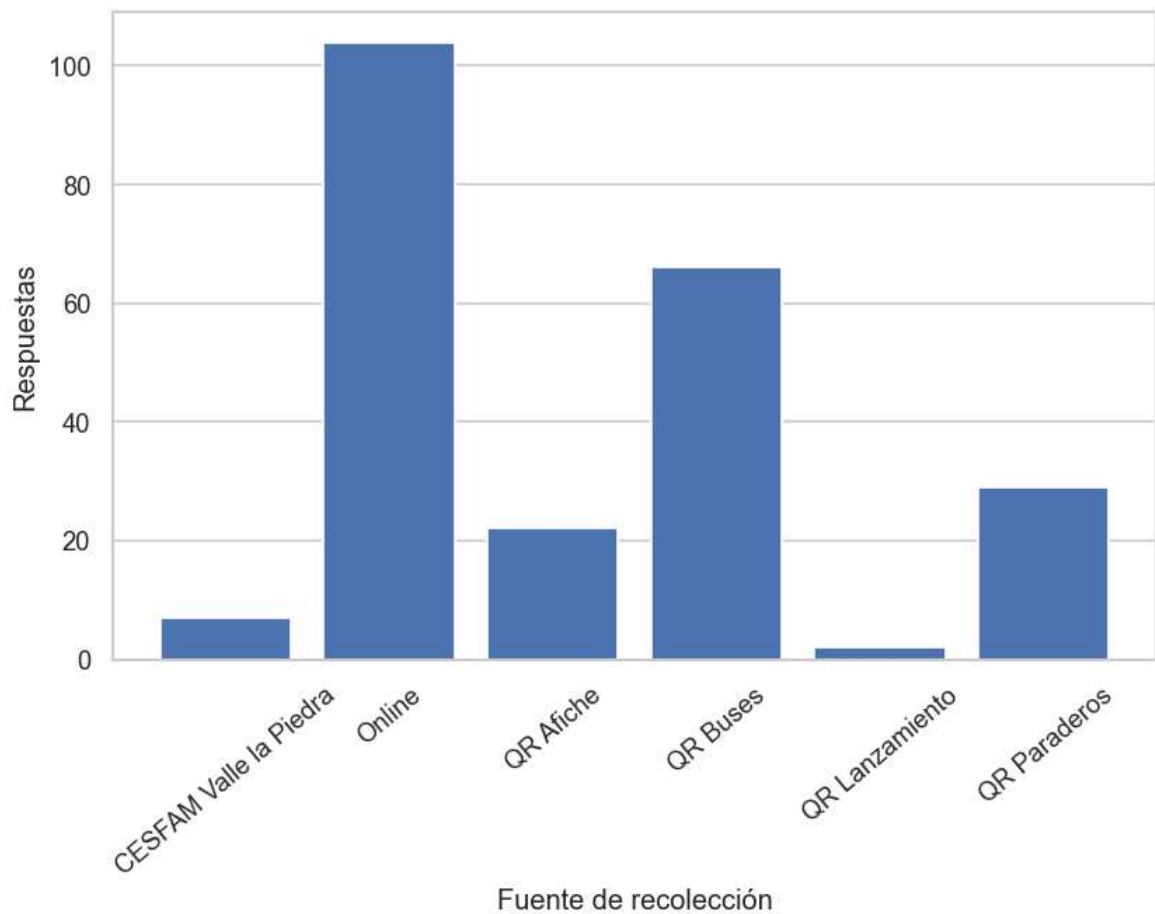
El equipo de MO2, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción fue el encargado de la aplicación de la encuesta a personas usuarias del TP en la comuna de Chiguayante, enfocándose vecinos del Valle la Piedra (Borde Cerro). Las preguntas de la encuesta se encuentran en el Anexo B.

Esta encuesta se aplicó por distintos canales, el principal fue digital por siendo difundida por links que llegaron, entre otros, a

grupos de WhatsApp de vecinos del sector, también se difundió a través de códigos QR ubicados en buses y en paraderos. Como medida extra se aplicó de forma presencial en el CESFAM de Valle la Piedra.

La aplicación de la encuesta tuvo como resultado, 228 respuestas validadas, los medios más efectivos en la recopilación de respuestas fueron el online, seguido por el QR en buses.

Figura 5.2: Cantidad de Respuestas por fuente de recolección.



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la ubicación de los hogares de los encuestados, podemos notar en la Figura 5.3. que la mayor densidad de estos se

encuentra en la ZE lo que corresponde a la población objetivo del estudio.

Las distribuciones de género y edad las podemos ver en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2: Distribución de Encuestados según género y edad

Genero	Edades	Personas Encuestadas	Porcentaje del Total (%)
Hombre	0-17	1	0.44%
Mujer	0-17	1	0.44%
Hombre	18-30	28	12.28%
Mujer	18-30	44	19.30%
Hombre	31-45	16	7.02%
Mujer	31-45	54	23.68%
Hombre	46-65	19	8.33%
Mujer	46-65	57	25.00%
Hombre	66+	3	1.32%
Mujer	66+	5	2.19%

Fuente: Elaboración propia

Figura 5.3: Distribución de los Hogares de los encuestados



Fuente: Elaboración Propia

Siguiendo con la metodología, se evalúa la representatividad de la muestra de encuestados, estimando los Intervalos de confianza de la forma que se vio en el punto 4.3.1. lo cual entrega los resultados de la Tabla 5.3. donde se muestra que 4 de los 10 segmentos poblacionales no están debidamente representados por la muestra.

Tabla 5.3: Estimación de IC y evaluación de Representatividad

Genero	Edades	Error Estándar (SE)	$ p'-p $	IC (95%) = 1.96*SE	$ p'-p \leq IC$
Hombre	0-17	0.55%	0.14%	1.07%	REP
Mujer	0-17	0.45%	0.01%	0.88%	REP
Hombre	18-30	1.96%	7.70%	3.83%	NO REP
Mujer	18-30	1.99%	8.08%	3.91%	NO REP
Hombre	31-45	2.44%	13.68%	4.77%	NO REP
Mujer	31-45	2.54%	15.46%	4.99%	NO REP
Hombre	46-65	2.61%	16.68%	5.12%	NO REP
Mujer	46-65	2.69%	18.16%	5.27%	NO REP
Hombre	66+	1.12%	1.85%	2.20%	REP
Mujer	66+	0.90%	1.00%	1.77%	REP

Fuente: Elaboración propia

Al no estar representados todos los segmentos de la población de interés para los análisis de los resultados a nivel poblacional, generarán factores de expansión que corregirá la representación de estos segmentos.

En cuanto al motivo del viaje más frecuente por los encuestados se encuentran ir al trabajo (54,35%) y al lugar de estudios (17,39%), el detalle completo está en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4: Propósitos viaje más frecuente de los encuestados

Propósito	Encuestados	Porcentaje (%)
Ir al trabajo	125	54.35%
Ir al lugar de estudio	40	17.39%
Trámites	29	12.61%

Otro	14	6.09%
Compras	9	3.91%
No responde	8	3.48%
Visitar a familiar	5	2.17%

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, solo el 20% de los encuestados, declaran que el destino de su viaje está actualmente cubierto.

Tabla 5.5: Destino viaje frecuente de los encuestados

Destino Frecuente	Total	Porcentaje (%)
Hospital Regional	42	13.38
Otro	34	10.83
Palomares	14	4.46
San Pedro de la Paz	48	15.29
Sectores ya cubiertos	48	15.29
Terminal de buses Collao	76	24.2
Universidad de Concepción	30	9.55
Universidad del Bío-Bío	22	7.01

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 5.5 se observa los principales destinos del viaje más frecuente por el sistema, entre los que destaca el terminal de buses Collao y San Pedro de la Paz.

Entre otras preguntas, se le consulto a los usuarios con que calificación evaluarías el sistema de TP, pregunta que contestaron 215 personas obteniendo una calificación promedio de 3.65. Cabe destacar que el 50% por ciento de los encuestaron calificaron al sistema con nota entre 3.0 y 4.5.

5.5. Diseño y planificación de Trazado alternativo.

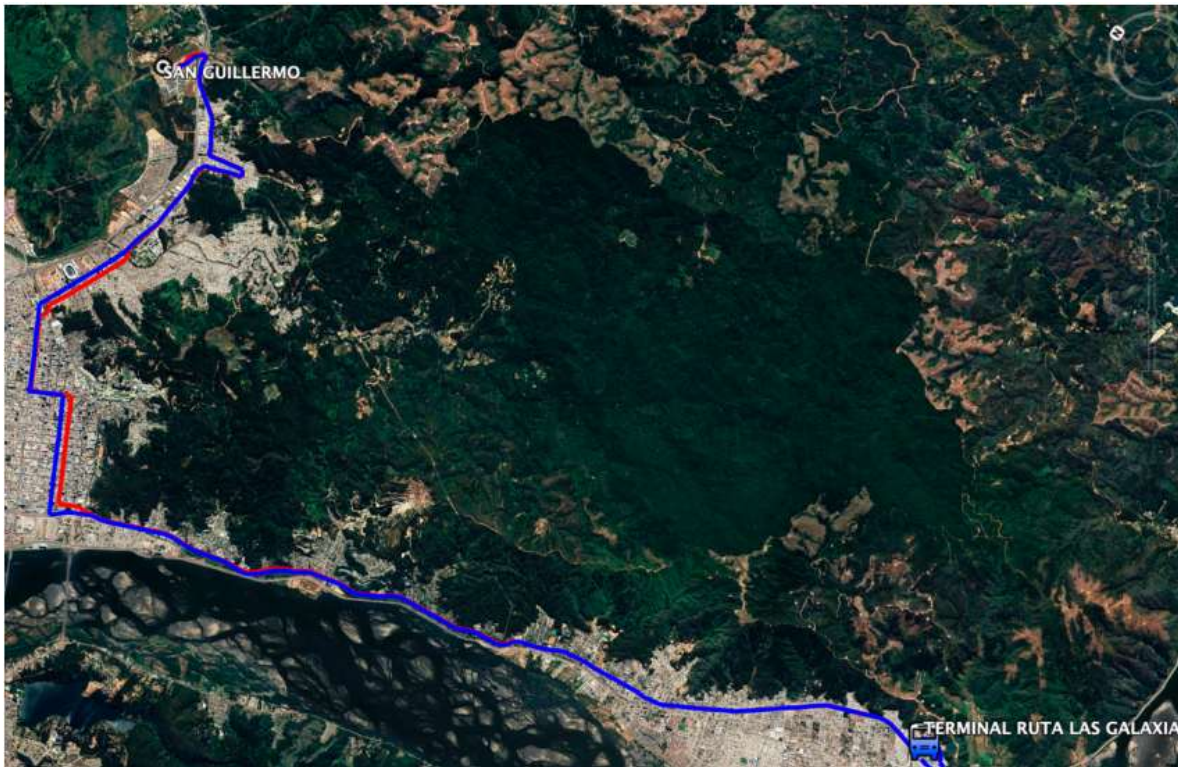
Considerando las respuestas de la encuesta, el objetivo inicial de diseño del trazado alternativo es cubrir los destinos frecuentes que actualmente no lo están. Como objetivos específicos es reducir la saturación del sistema y reducción de tiempos de viaje.

Los cinco principales destinos de la encuesta se pueden agrupar en una zona donde se puede cubrir con un solo servicio, estos son Universidad de Concepción, Hospital Regional, Terminal de Buses Collao, Universidad del BíoBío y el sector Palomares. Sumando la demanda que tienen estos puntos de interés concentrarían el 50%, aumentando considerablemente la cobertura general del servicio.

Actualmente, si se quiere realizar el viaje desde el Valle la Piedra a el sector Palomares, este tomaría 73 minutos en completarlo usando el transporte público, a esto se tiene que considera que se deberían tomar 2 buses y un tiempo de caminata de 12 minutos, este tiempo total de viaje podría ser mayor si el viaje se realiza en horario de alta demanda. Por lo que el servicio alternativo deberá tener características que disminuyan estos tiempos.

Además, se deben considerar un aumento de flota para este servicio, con el fin de no afectar al correcto funcionamiento actual y de disminuir la saturación del sistema, también es pertinente considerar buses nuevos de alto estándar con mayor capacidad por bus.

Figura 5.4: Trazado Propuesto servicio Variante



Fuente: Ficha Modificación PO UN80 (<https://www.dtrp.cl/pe/concepcion/resolucionesgenerales>)

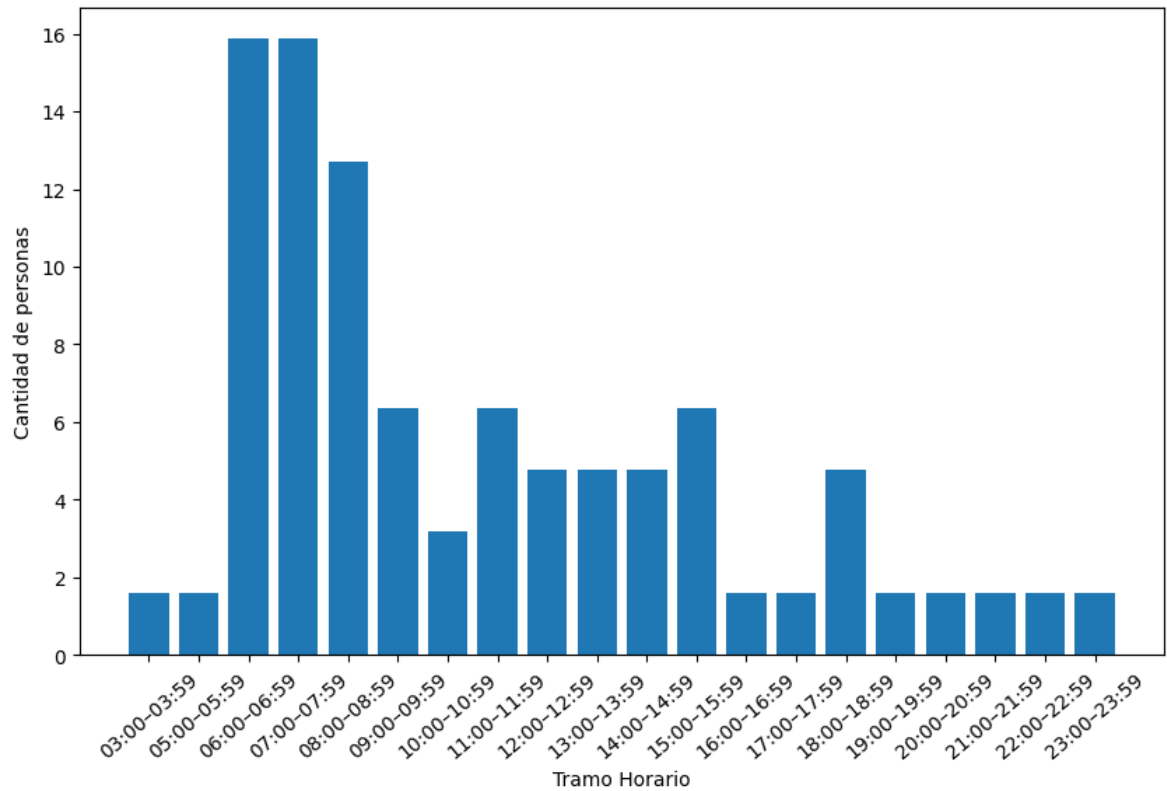
Con todas estas consideraciones se plantea una variante al servicio original (variante implica que el trazado del nuevo servicio tenga menos 50% de coincidencia al servicio troncal u original). Para lograr esta coincidencia se empezó el diseño desde el trazado del servicio troncal (801z), por lo que los primeros kilómetros de recorrido serán los mismos, es decir, que la cobertura del origen de las personas permanecerá igual. Luego, notamos que el servicio actual ya presenta un nivel de cobertura al primer origen, Hospital Regional, ya que, se encuentra a 250 metros del paradero más cercano del servicio, criterio

de cobertura es de máximo 400 metros de distancia, este criterio también nos entrega que el trazado actual con el segundo destino a evaluar, Universidad de Concepción, están a 400 metros, lo que lo hace estar en el límite de cobertura.

Finalmente, la variación que se hace aproximadamente en el kilómetro 19 del recorrido (esquina Paicaví y Carrera) donde se desvía por la Av. Los Carrera, comuna de Concepción, hacia av. Collao, donde el nuevo recorrido cubre, los dos siguientes destinos objetivos que son el Terminal de Buses Collao y la Universidad del Bío-Bío. Para completar el recorrido de 25.1 km, pasando por el sector Palomares.

La planificación también contempla la cantidad de salidas por día que deberán realizarse para satisfacer la demanda de transporte, por lo que en la Figura 5.5. se revisa a qué hora inician los viajes los encuestados.

Figura 5.5: Tramo por hora que inician los viajes los encuestados



Fuente: Elaboración Propia

Como se aprecia hay una amplia diferencia entre el flujo de usuarios que inicia sus viajes en los periodos de alta demanda como el tramo desde las 5:00am a 8:00 y los que realizan estos viajes durante otros periodos del día. Por lo que se proyectan salidas a una frecuencia máxima de 4 – 5 buses/hr y mínima de 1-2 buses/hr, tanto para las expediciones de ida y de regreso.

5.6. Factibilidad:

La evaluación de factibilidad del proyecto, en este caso la implementación del trazado se realiza para determinar si este proyecto puede ser sostenible en el tiempo, además de estimar el rendimiento de la inversión inicial. En cuanto a la evaluación social, permite cuantificar los beneficios sociales que este proyecto produce, reducción de emisiones, tiempos de viaje, desempleo, aumento de calidad de vida, ingresos, etc. en definitiva considera las externalidades que produce el proyecto, tanto positivas como negativas. Como tercer punto se hace realiza el análisis de sensibilidad para ver qué tan sensibles son los estimadores anteriores a las variaciones de distintos aspectos de la evaluación.

Para el caso no se tiene información detallada de cómo es la estructura de costos o de ingresos de la empresa lo que hace que la siguiente evaluación no sea tan precisa como para ser una ayuda a la decisión final de la empresa si implementar o no el nuevo servicio, por lo que se enmarca en un estudio de prefactibilidad. Los montos asociados a la inversión inicial y costos operacionales son estimados de acuerdo a valores de mercado en el momento de realizarse la estimación.

En esta sección, la estimación de la estructura de costos y del flujo de caja se obtuvo mediante consultas al modelo ChatGPT (OpenAI), utilizando el prompt incluido en el Anexo C. Los resultados fueron contrastados con criterios propios y ajustados cuando correspondió.

5.6.1. Evaluación económica privada

Para la evaluación privada se va a evaluar el proyecto con un horizonte de tiempo de 20 años considerando que la inversión en infraestructura y buses son de muy largo plazo, el procedimiento se basa en estimar la estructura de costos e ingresos por el proyecto y elaborar un flujo de caja, con el cuál podríamos realizar el cálculo del Valor Actual Neto del proyecto y determinar si el trazado es rentable ($VAN > 0$).

La estructura de costos se compone de 3 partes, el *Capital Expenditure (CAPEX)* que se refiere a los gastos de capital de una empresa o las inversiones a largo plazo, *Operating Expenses (OPEX)*, los gastos operativos del proyecto y los Ingresos que provienen de la actividad principal de la empresa.

i. CAPEX.

Se considerará como inversión inicial para el trazado la compra de la flota adicional necesaria para las operaciones servicio que constará de 10 buses, además de la inversión en el electro terminal que corresponde a 6 cargadores eléctricos, se considera una depreciación lineal a 16 años para buses y 20 para los cargadores.

Considerando que la renovación de baterías se realiza cada 8 años y cabe en el horizonte de evaluación se incluirá como en este segmento como reinversión de capital.

La Tabla 5.6. muestra los valores en millones de pesos para cada ítem, el detalle de la obtención de estos valores se encontrará en el Anexo D.

Tabla 5.6: Tabla Resumen CAPEX

CAPEX	(MCLP)
Buses estándar RED	\$2,000.00
Cargadores eléctricos	\$210.00
Baterías	\$700.00

Fuente: Elaboración Propia

ii. OPEX.

En los costos operacionales se considera el consumo de los buses, sueldo de conductores, mantenciones por kilómetro, seguros y gastos administrativos.

Datos relevantes para esta estimación son los 25 kilómetros por expedición y las 42 salidas al día, obteniendo un total de 766.500 kilómetros los 365 días en un año. Además, el precio de la energía por kilowatt hora (\$150(CLP/kWh)), el consumo por kilómetro 1.2 (kWh/km),

En cuanto a los costos por remuneraciones a conductores se considera en \$950.000/mes por conductor, donde son requeridos 2 conductores por bus. Las mantenciones por kilómetro estimada en \$30/km. Los seguros de los vehículos ascienden a M\$1,5/bus.

Finalmente, los gastos administrativos serán dependientes al resto de los costos operacionales este representara el 10%.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los costos totales por año.

Tabla 5.7: OPEX, costo anual total

OPEX	Costo Anual (MCLP)
Energía	\$137.97
Conductores	\$228.00
Mantenimiento	\$23.00
Seguros	\$15.00
= Bruto	\$403.97
Administración	\$40.40
= OPEX TOTAL	\$444.36

Fuente: Elaboración Propia

iii. Ingresos

El ingreso principal esta dado por la tarifa cobrada a los usuarios del sistema, por lo que se consideró una diferenciación por usuarios dado a la existencia de 3 tarifas distintas, estas junto a una estimación de la proporción (Tabla 5.8.) del total por usuario se obtuvo una tarifa ponderada de \$479.

Tabla 5.8: Precios por Tarifa y Porcentaje del Total

Tipo Tarifa	Tarifa	Porcentaje de usuario (%)
Estudiante	\$190	20%
Normal	\$590	70%
Adulto Mayor	\$280	10%

Fuente: Elaboración propia

También, se estimó la demanda del nuevo servicio considerando que la población total de la comuna de Chiguayante es de 85.822 personas divididos en 17 zonas y supuestos como la población se divide homogéneamente en las 17 zonas, solo el 51.06% de la población es usuaria del sistema

público y que el servicio nuevo logra una captación del 85% de los usuarios de TP en la zona de Borde Cerro lo que significa que los beneficiados por el servicio nuevo llegan a 2.578 personas, se asumen 2 viajes por día por persona con esto se logra un ingreso por tarifa anual de M\$766.23.

Para el escenario base no se considerará un ingreso por subsidio, este será evaluado en el próximo punto.

Con estos flujos se realizó el cálculo del VAN privado para este escenario inicial con la formula dada por:

$$VAN(10\%) = \sum_{n=0}^{20} \frac{FC}{(1+t)^n}$$

Para el cálculo se consideró una tasa de descuento (t) del 10%.

Además, se calculó de forma complementaria la Tasa Interna de Retorno del proyecto, que representa el valor de la tasa de descuento del proyecto cuando VAN = 0.

Se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 5.9. a continuación

Tabla 5.9: Resultados VAN y TIR escenario base

VAN (10%)	(\$436.99)
TIR	7%

Fuente: Elaboración Propia

Del cálculo del VAN se obtuvo que es negativo, esto muestra que la implementación del nuevo trazado no es rentable para el inversionista

privado y que la tasa de descuento debería bajar al menos a un 7% para que el proyecto sea rentable bajo las condiciones iniciales.

5.6.2. Evaluación social

La evaluación social considera los beneficios y precios sociales (PS) que genera el proyecto de acuerdo con el Reporte Anual de Precios Sociales (SIN, 2025).

i. Beneficios sociales (BS)

Entre los BS consideraremos el ahorro de tiempo principal beneficio del proyecto estimando que este es de 7 minutos por viajes y de 5 minutos de tiempo de espera o caminata. Al igual que en la evaluación privada la cantidad de personas beneficiadas es de 2578. El PS por ahorro de tiempo de viaje es de \$3.126/hr y por tiempo de espera de \$6.252/hr. Lo que finalmente se traduce en un BS anual por ahorro de tiempo de M\$941,27

Otro BS son la reducción de emisiones a la atmosfera al reemplazar buses diésel por buses eléctricos, principalmente CO₂ y material particulado. Las emisiones de un bus diésel se estiman en 1(kgCO₂/km) cuando el bus eléctrico no genera directamente y el PS CO₂ equivalente es de \$70.540/tCO₂eq), por lo que el BS por la reducción de CO₂ llega a los M\$54,07. Luego, por el material particulado el PM_{2,5} evitado es de 0,03(g/km) proporción RED y el PS es de \$10/ton. Lo que nos da un BS anual de M\$0,23.

Por lo que el BS anual Total es de M\$1.701,52. El detalle de los datos y cálculos se encuentra en el Anexo H.

ii. Costos Sociales (CS)

Los costos sociales corresponden a una corrección de los precios de mercado de acuerdo con las externalidades generadas dependiendo la naturaleza de estos.

Para el CAPEX no existe corrección se mantiene igual al privado.

Para el OPEX se detalla que los costos por energía no se modifican, los sueldos de conductores se corrigen con el Factor de Corrección Social (FCS) de 0,97, mano de obra calificada, lo que nos deja con un CS de un M\$221,16. El valor de las mantenciones se compone de 50% mano de obra (FCS=0,97) y 50% bienes transables (FCS=1), lo que el CS por mantenciones es de M\$22,65. Los gastos administrativos la mano de obra calificada es el 70% y otros bienes el 30% (FCS=1), lo que CS

en gastos administrativos es de M\$39,55. El detalle se encuentra en el Anexo I.

De acuerdo con estos nuevos valores sociales se realizó el Flujo Social (presente en el Anexo J) para el proyecto eliminando transferencias entre agentes como impuestos e ingresos por tarifa, se procedió también al cálculo del VAN social con una tasa de descuento social de 5,5% de acuerdo con el SIN.

Tabla 5.10: Resultados VAN social y TIR social

VAN social (5,5%)	\$12,224.84
TIR social	57%

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con los resultados (Tabla 5.10) demuestra que el proyecto es muy rentable socialmente, lo que es justificable que desde el sector público subvencioné la inversión.

5.6.3. Análisis de Sensibilidad

Se realizó un análisis de sensibilidad para evaluar el impacto de las principales variables en el cálculo del VAN privado. Además, añadir un ingreso por subsidio para determinar el nivel de este necesario para que la inversión sea rentable desde el punto de vista privado.

Las variables que se estudiaron fueron el CAPEX y el OPEX de manera agregada, el Ingreso por Tarifa y el nivel de Subsidio.

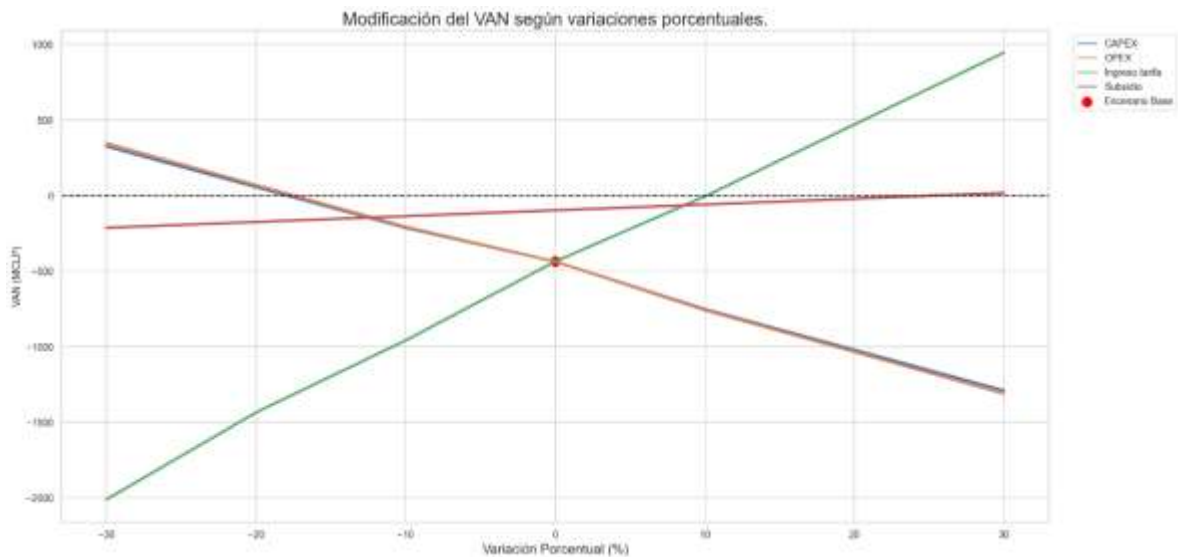
Cada una de las variables tuvo 6 modificaciones, que fueron de un aumento en 30% su valor a una disminución también del 30%, este

efecto se evaluó de manera aislada manteniendo las otras variables constantes siguiendo el criterio *ceteris paribus*. Para el caso del subsidio se consideró como punto de partida un subsidio de M\$384.62, el cual nos permite que el valor máximo de subsidio evaluado sea de M\$500.00.

La tabla con los valores del VAN por caso se encuentra en el Anexo K.

De forma gráfica podemos observar en la Figura 5.6. cómo varió el VAN de acuerdo con la variación porcentual de las variables de estudio.

Figura 5.6: Variación del VAN según escenario.



Fuente: Elaboración Propia

La visualización confirma lo que intuitivamente se esperaba que los valores del VAN aumentan directamente proporcional con el

aumento de los ingresos por tarifa y subsidio e inversamente proporcional con la variación del CAPEX y OPEX. Con la visualización se puede desprender que la variable que más influye en el valor del VAN es el Ingreso por tarifa, la cual tiene una pendiente más pronunciada que las otras variables y que la que menor influye es la variación del Ingreso por subsidio, sin embargo, la presencia de este aumenta en todos los casos el VAN del proyecto en al menos M\$223, pero para que la inversión privada sea rentable es necesario un nivel de inversión alrededor de los M\$500. Finalmente, hay que señalar que la inversión inicial (CAPEX) y los costos operacionales (OPEX) se comportan de forma similar lo que nos indica que es irrelevante las variaciones relativas entre ellos.

5.6.4. Análisis de resultados

La metodología aplicada entregó, un diagnóstico desde la perspectiva de los usuarios, que entre lo más destacado es la no cobertura del sector nororiente de la comuna de Concepción en el cual destacan puntos interés como el Terminal Collao, la Universidad del BíoBío y el sector Palomares, evidenciando deficiencias en el sistema además de que la población de la ZE se muestra cautiva a cualquier servicio que esté presente en él.

El diseño y planificación del trazado generó una alternativa viable operacionalmente, que se cubriría los destinos no cubiertos más frecuentes, este trazado pretende disminuir el tiempo total de viaje en 12 minutos, 7 de viaje y 5 de espera y/o caminata, esto en base a un aumento de frecuencia de salida de buses, un recorrido directo a los

destinos mencionados anteriormente y la reducción de transbordos con otros servicios de transporte público.

Finalmente, los resultados de la evaluación de la factibilidad del trazado indican que por si sola la inversión privada en este trazado es insuficiente para su sostenibilidad en el tiempo, sin embargo, la evaluación social muestra que los beneficios sociales son ampliamente superiores a los costos sociales lo que significa que el proyecto podría recibir ingresos por subsidios para lograr la rentabilidad privada.

El nivel de subsidio necesario fue evaluado en el análisis de sensibilidad, que junto otras variables se estimaron el impacto de su variación en el VAN. Este análisis arrojó como resultado que el nivel de subsidio necesario para lograr una rentabilidad privada bajo las condiciones base es de M\$500.00, además que el VAN es más sensible al Ingreso por Tarifa, por esto cobra relevancia una estimación precisa de esta, por lo que afinar los métodos de estimación de estas es fundamental.

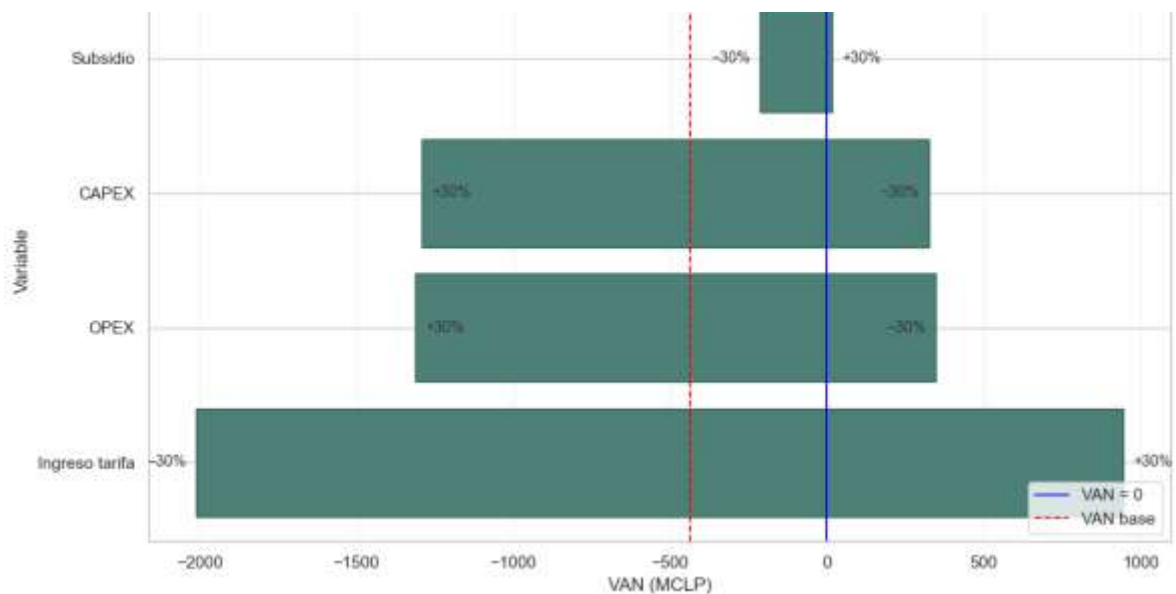
5.6.5. Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos, se tiene que el trazado variante cumple con el objetivo mejorando las deficiencias del sistema en el sector Borde Cerro, cubriendo 3 de los nuevos destinos, frecuentes por los usuarios con origen en la zona de estudio, como lo son el Sector Palomares, Universidad del Bío-Bío y el Terminal de Buses Collao, aumentando la frecuencia a destinos como la Universidad de Concepción y el Hospital Regional con el servicio variante. El PO nos muestra que el trazado podría ahorrar 5 minutos en

tiempos de espera, caminata o transbordo a los usuarios, además de 7 minutos de viaje en promedio, alcanzando un total de 12 minutos totales de ahorro. La incorporación de nuevas tecnologías como los buses eléctricos de estándar RED permitirán una reducción de la saturación de la flota dado al aumento de capacidad de 52 pasajeros a 62 en promedio, mejorando la experiencia de viaje de los usuarios.

El trazado mostró no ser sostenible considerando el escenario base, solo la inversión privada, con un Valor Actual Neto de -436.99 (*MCLP*), sin embargo, la evaluación social mostró que los beneficios

Figura 5.7: Grafico Tornado, impacto de variables con respecto al VAN



Fuente: Elaboración propia

sociales que produce la incorporación de este servicio variante al sistema permiten una subvención estatal, la cual se estima un monto de 500.00 (*MCLP*) para lograr la rentabilidad para el operador. El análisis de sostenibilidad mostró una gran sensibilidad del proyecto a los

ingresos por tarifa y que la sensibilidad del VAN con respecto a los costos operacionales y la inversión se comporta de forma similar.

6. Discusión y conclusiones.

En la presente memoria de titulación se presenta una metodología apropiada para la evaluación de trazados de rutas alternativas. Tomando en consideración contexto sociodemográfico y geográfico, la perspectiva del usuario, aspectos operacionales y económicos.

Se logró una propuesta metodología para eficiente en el uso de recursos, al requerir poco tiempo en su implementación, bajo riesgo y la baja inversión económica. Esto era fundamental para los interesados, dado que los métodos de evaluación, diseño y planificación requerían de largos periodos de aplicación y análisis o eran muy costosos lo que era un impedimento para las empresas a hora de definir si realizar o no una modificación a su Programa Operacional.

La metodología se centra en el “levantamiento rápido” de información desde los usuarios. Una encuesta breve (no toma más de 10 minutos en promedio para responder), con preguntas adaptadas al contexto del estudio y accesible para todos y todas. La difusión de esta encuesta demostró también ser eficiente llegando a gran número de usuarios por la difusión por medios digitales y también, por el alto grado de representación de las personas en la zona de estudio. Esta encuesta tiene aspectos a mejorar si centramos la atención en la percepción de los usuarios de la operación de los servicios, incluir preguntas que tengan más relación con los tiempos de viaje, frecuencia y calidad de los buses, etc.

Luego, en el diseño y planificación del trazado propuesto, se consideran todos los aspectos recopilados en la encuesta para mejorar. Se

consideraron métodos de diseño de estudios de redes y Hubs descritos por Daganzo, para la vinculación de rutas con puntos de interés. Se debió incluir metodologías más eficientes en éste aspecto ya que la iteración constante de que trazado requiere un mayor tiempo de evaluación que otras alternativas.

El último paso de la metodología, la evaluación de factibilidad es clave en el proceso ya que se cuantifican diversos aspectos operacionales y sociales y se definen los de mayor relevancia para determinar si el trazado sería sostenible.

La validación de la metodología, aplicación al caso particular de la comuna de Chiguayante, confirma la importancia de una estimación precisa de la demanda, mostrando que la sostenibilidad del trazado alternativo tiene una sensibilidad importante a los ingresos por tarifa vinculado a los usuarios del sistema.

Fuera de los alcances del presente trabajo se encuentra la estimación de costos que podría implicar la aplicación de la metodología, tomando en cuenta los costos de mantener una encuesta digital en línea, distribución, horas hombre, análisis, etc. Además, debe proponer una forma eficiente para el diseño y planificación de rutas para el trazado.

Como tercera limitación que tuvo el trabajo es el acceso a información detallada de la estructura de ingresos y costos de parte del operador para tener una estimación precisa de lo que implica la implementación del nuevo servicio variante.

Finalmente, el presente trabajo no incorpora los efectos de demanda inducida derivados de una mejora en el sistema de transporte público, no se estima la posible transferencia modal desde transporte privado hacia el transporte público. Este efecto podría ser abordado en futuros estudios mediante el uso de elasticidades de demanda.

El objetivo principal del estudio se logra, con la propuesta de una metodología de evaluación que consta de los pasos anteriormente señalados y siendo validada con la aplicación al caso real en la comuna de Chiguayante, esta contiene un método que permite la estimación de la demanda futura con la encuesta de viaje más frecuente, señala que datos son necesarios y los indicadores son relevantes en la evaluación e incorpora la evaluación económica y social con el enfoque costo-beneficio. La presente memoria de titulación, no desarrollo el modelo para la simulación de condiciones del servicio.

Referencias

- Banister, D. (2008). *The sustainable mobility paradigm*. *Transport Policy*, 15(2), 73–80. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2007.10.005>
- Belton, V., & Stewart, T. J. (2002). *Multiple criteria decision analysis: An integrated approach*. Kluwer Academic Publishers.
- Castillo, J. (2025). *Extensiones de servicios de transporte público en el Gran Concepción durante 2025*. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile.
- Ceder, A. (2007). *Public transit planning and operation: Theory, modeling and practice*. Elsevier.
- Daganzo, C. F. (2010). *Structure of competitive transit networks*. *Transportation Research Part B: Methodological*, 44(4), 434–446. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2009.11.001>
- Deville, J. C., & Särndal, C. E. (1992). *Calibration estimators in survey sampling*. *Journal of the American Statistical Association*, 87(418), 376–382. <https://doi.org/10.1080/01621459.1992.10475217>
- Directorio de Transporte Público Metropolitano (DTPM). (2024). *Informe de Electromovilidad: Sistema de Transporte Público de Santiago*. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. <https://www.dtpm.gob.cl/documentos/informe-electromovilidad-2024.pdf>
- Directorio de Transporte Público Metropolitano (DTPM). (2022). *Manual de eventos exógenos*. Ministerio de Transportes y

Telecomunicaciones.

<https://www.dtpm.cl/descargas/manuales/Manual%20de%20Eventos%20Exogenos%20dic22.pdf>

- Durán-Micco, J., & Vansteenwegen, P. (2022). *A survey on the transit network design and frequency setting problem*. *Public Transport*, 14(1), 155–190. <https://doi.org/10.1007/s12469-021-00284-y>
- Eboli, L., & Mazzulla, G. (2007). *Service quality attributes affecting customer satisfaction for bus transit*. *Journal of Public Transportation*, 10(3), 21–34.
- Estrada, M., Roca-Riu, M., Badia, H., Robusté, F., & Daganzo, C. F. (2016). *Design and implementation of efficient transit networks: Procedure, case study, and validity test*. *Transportation Research Part B: Methodological*, 84, 355–371. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2015.12.010>
- European Commission. (2014). *Guide to cost–benefit analysis of investment projects*. Directorate-General for Regional and Urban Policy.
- Eurostat. (2018). *Handbook on transport and mobility statistics*. Publications Office of the European Union.
- Eurostat. (2018). *Methodological manual on territorial typologies*. European Commission.
- Gehl, J. (2010). *Cities for people*. Island Press.

- Hensher, D. A., Stopher, P. R., & Bullock, P. (2003). *Service quality—Developing a service quality index in the provision of commercial bus contracts*. *Transportation Research Part A*, 37(6), 499–517.
- Hensher, D. A., Mulley, C., & Yahya, N. (2010). *Passenger experience with quality-enhanced bus service*. *Transportation Research Part A*, 44(10), 756–768.
- Jansson, J. O. (1980). *A simple bus line model for optimisation of service frequency and bus size*. *Journal of Transport Economics and Policy*, 14(1), 53–80.
- Kansas City Area Transportation Authority. (2025). *Blue Ridge Boulevard Transit-Oriented Development (TOD) and Transit Center Study: Public engagement survey*. PublicInput. <https://publicinput.com/blueridgeblvd>
- Litman, T. (2021a). *Evaluating public transportation health benefits*. Victoria Transport Policy Institute. <https://www.vtpi.org/health.pdf>
- Litman, T. (2021b). *Evaluating transportation equity*. Victoria Transport Policy Institute. <https://www.vtpi.org/equity.pdf>
- Lohr, S. L. (2010). *Sampling: Design and analysis* (2nd ed.). Brooks/Cole.
- Manheim, M. L. (1979). *Fundamentals of transportation systems analysis*. MIT Press.

- Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. (2023). *Perímetro de exclusión y condiciones operacionales del sistema de transporte público del Gran Concepción*. Gobierno de Chile.
- OECD / International Transport Forum. (2017). *Transport appraisal for decision making*. OECD Publishing.
- OECD / International Transport Forum. (2017). *Transport demand and modelling*. OECD Publishing.
- ONU-UNECE. (2010). *Guidelines on passenger transport statistics*. United Nations.
- Ortúzar, J. de D., & Willumsen, L. G. (2011). *Modelling transport* (4th ed.). Wiley.
- Stopher, P. R., & Greaves, S. (2007). *Household travel surveys: Where are we going? Transportation Research Part A*, 41(5), 367–381.
- Transportation Research Board. (2013). *Transit capacity and quality of service manual (3rd ed.)*. National Academies Press.
- UITP. (2019). *Public transport service quality*. International Association of Public Transport.
- United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). (2010). *Guidelines on statistical surveys*. United Nations.
- Vuchic, V. R. (2005). *Urban transit: Operations, planning, and economics*. Wiley.
- Vuchic, V. R. (2017). *Urban transit systems and technology*. Wiley.

- Wegener, M., & Fürst, F. (2004). *Land-use transport interaction: State of the art. Transport Reviews*, 24(1), 1–31.
- World Bank. (2019). *Urban transport and mobility*. World Bank Publications.

Anexo

A. Reuniones

Reunión 1:

Profesor titular, Departamento Ingeniería Civil, Universidad de Concepción.

Facultad de Ingeniería Universidad de Concepción, 8 septiembre 2025.

Reunión 2:

Representante Empresa operadora de Buses Ruta Las Galaxias

Terminal Las Galaxias, Hualqui s/n, 5 septiembre 2025

Reunión 3:

Analista Transporte Público Regional -

Oficinas SEREMITT Bio-bío, O'higgins poniente 77, Concepción, 11 septiembre 2025.

Reunión 4:

Coordinador de Planificación y diseño de Sistemas de Transporte, DTPR.

Vía Google Meet, 26 de septiembre 2025.

B. Encuesta de Uso de transporte público en el Gran Concepción

Origen: Plataforma MO2, [Encuesta de uso de transporte público en el Gran Concepción / mo2](#)

Fecha: 21 noviembre 2025

Para las siguientes preguntas, se le pedirá que tenga en mente el viaje que realiza más frecuente desde su hogar hacia cualquier otro lugar de la ciudad. Por ejemplo, viaje a su lugar de trabajo o estudio.

- ¿Cuál es el propósito de ese viaje?
 - Ir a mi lugar de estudio
 - Ir a mi lugar de trabajo
 - Compras
 - Trámites
 - Visitar a familiar o cercano
 - Otro propósito
- ¿Inicia este viaje en qué horario aproximadamente
- ¿Qué modo de transporte suele utilizar?
 - Auto particular (conductor)
 - Auto particular (pasajero)
 - Micro o bus (transporte público)
 - Biotren
 - Caminata
 - Bicicleta
 - Taxi
 - Uber o similar
 - Motocicleta
 - Otro
- Ubique en el mapa el lugar aproximado donde se encuentra su hogar

- Ubique en el mapa el lugar aproximado donde se encuentra el destino del viaje que realiza más frecuentemente

Considerando que se evalúa implementar nuevos servicios de transporte público en el futuro:

- ¿Cuáles nuevos sectores le serviría que cubriera estos servicios pensando en su viaje más frecuente? (Puede seleccionar más de una opción)
 - Palomares
 - Hospital Regional
 - Universidad de Concepción
 - Terminal de buses Collao
 - Universidad del Bío-Bío
 - San Pedro de la Paz
 - Otro
 - Ninguno, los sectores que frecuento ya están cubiertos
- ¿Cuáles nuevos sectores le serviría que cubrieran estos servicios pensando en otros propósitos que no sean su viaje más frecuente?
 - Palomares
 - Hospital Regional
 - Universidad de Concepción
 - Terminal de buses Collao
 - Universidad del Bío-Bío
 - San Pedro de la Paz
 - Otro

- Ninguno, los sectores que frecuento ya están cubiertos

Ayúdanos a conocerte mejor

Recopilamos datos sociodemográficos para comprender mejor las necesidades de transporte de diversos grupos de personas. Esta información nos ayuda a planificar servicios de transporte público más equitativos y eficientes para todos.

- Género
 - Mujer
 - Hombre
 - No binario
 - Prefiero no responder
- Edad
 - Menor a 18 años
 - De 18 a 30 años
 - De 31 a 45 años
 - De 46 a 65 años
 - Mayor a 65 años
 - Prefiero no responder
- Situación Laboral
 - Trabajo remunerado
 - Trabajo independiente
 - No trabajo
 - Prefiero no responder
- ¿Estudias?

- Sí
- No
- Prefiero no responder
- Último nivel de educación completado
 - Enseñanza básica
 - Enseñanza Media
 - Técnica de nivel superior
 - Universitaria Profesional
 - Postgrado
 - Prefiero no responder
- Durante el mes pasado, ¿Cuál fue el ingreso total percibido en su hogar? (considere todas las personas del hogar, incluido usted)
 - Mi hogar no tuvo ingresos
 - Menos de 500 mil pesos
 - De 500.000 a 750.000
 - De 750.001 a 1.250.000
 - De 1.250.001 a 1.750.000
 - De 1.750.001 a 2.500.000
 - De 2.500.001 a 3.500.000
 - Más de 3.500.000
 - No sé
 - Prefiero no responder

Preguntas opcionales

Las siguientes preguntas son opcionales de responder, pero nos ayudaría mucho tu opinión para poder mejorar la calidad del transporte público del Gran Concepción.

- Califique de 1 a 7 al sistema de transporte público en el Gran Concepción, considerando todas las dimensiones que usted considere relevantes
- Si lo desea, escriba en el siguiente espacio una justificación de su calificación
- Correo electrónico

C. Instrucción a ChatGPT, Estimación estructura de costos

Fecha: viernes 12 de dic. de 25

Autor: José Moyano Robles

Prompt:

“Necesito realizar una evaluación de factibilidad económica, del nuevo trazado de transporte público, pero no tengo los datos reales lo que tengo proviene de esta noticia (<https://www.diarioconcepcion.cl/ciudad/2025/10/11/incorporaran-10-buses-electricos-y-nuevo-recorrido-entre-chiguayante-y-concepcion.html>) que dice que la inversión privada consta de \$2.000 millones de pesos destinados a la compra de vehículos nuevos (10 eléctricos y estándar red) y la infraestructura para la carga de buses eléctricos que consta de 6 cargadores, el aporte estatal es de \$500 millones, que se ocuparan para los gastos operacionales. Las características del nuevo trazado aún son proyecciones, pero consta

de 25km tanto las expediciones de ida como de vuelta, se estiman salidas en horario punta de 4-5 buses/hr y en horarios valle o baja de 1-2 buses/hr. la flota mínima requerida es de 10 buses. Un estudio de viajes estimó que un 58% de los encuestados tiene como destino frecuente lugares que estarán cubiertos por el nuevo servicio, la muestra fue de 230 personas, y la zona de estudio es un sector de la comuna de Chiguayante que cuenta 85.000 habitantes y 17 zonas. La tarifa por usuario es de \$590 normal, \$190 estudiante y \$300 adulto mayor, tanto la tarifa de estudiante, como la de adulto mayor son subsidiadas por el estado de Chile aparte del subsidio mencionado anteriormente. El horizonte de evaluación es a 20 años y la regulación más estricta dicta que los buses se tienen que renovar cada 16 años. Necesito que, si puedes, me estimes la estructura de costos de la empresa para poder realizar los cálculos asociados de van, van social y un análisis de sensibilidad”

D. Detalle estimación Inversión (CAPEX)

Bus eléctrico	Cantidad	10
	Precio Mínimo (MCLP)	\$180.00
	Precio Máximo (MCLP)	\$220.00
	Capacidad (pasajeros)	65
	Vida útil	16
	Método	Lineal
	Depreciación anual (MCLP/bus)	\$12.50
	Costo total Buses (MCLP)	\$2,000.00
Cargadores	Cantidad	6
	Precio Mínimo (MCLP)	\$20.00
	Precio Máximo (MCLP)	\$50.00
	Capacidad batería mínima (kW)	60

Baterías	Capacidad batería máxima (kW)	150
	Costo total Cargadores (MCLP)	\$210.00
	Costo batería en relación al bus	35%
	Renovación por bus (MCLP/bus)	\$70.00
	Costo total batería cada 8 años	\$700.00

E. Detalle estimación Costos Operacionales.

Energía	Consumo por kilómetro (kWh/km)	1.2
	Precio por kW (CLP/kWh)	\$150.00
	Precio por kilómetro (CLP/km)	\$180.00
	Kilómetros recorridos por año	766500
	Total, Costo Energía por año (MCLP)	\$137.97
Conductores	Conductores requeridos por bus	2
	Sueldo mensual (CLP/mes)	\$950,000.00
	Total, costo sueldos por año (MCLP/año)	\$228.00
Mantenciones	Precio por km (CLP/km)	\$30.00
	Total, costo mantenciones por año (MCLP)	\$23.00
Seguros	Precio por bus (MCLP/bus-año)	\$1.50
	Total, costos seguros por año (MCLP/año)	\$15.00
Administrativos	10% Del Total de costos	\$40.40

F. Detalle estimación de Ingresos

Descripción población	- Población comuna	85822
	- Zonas de la comuna	17
	- Población por zona	5048
	- Porción de Población usuaria TP	0.5106
	- Demanda Estimada TP	2578
	- % Captación demanda total	85%
	Porción por tipo usuario	
	- Normal	70.00%
	- Estudiante	20.00%
	- Adulto mayor	10.00%
Ingreso por tarifa	Tarifa por tipo usuario (CLP/viaje)	
	- Normal	\$590.00
	- Estudiante	\$190.00

	- Adulto Mayor	\$280.00
	Tarifa ponderada por viaje (CLP)	\$479.00
	Viajes por día por persona	2
	Viajes por año por persona	730
	Viajes estimados por año	1599649
	Ingresos por tarifa (MCLP)	\$766.23
Ingreso por subsidio	(MCLP)	\$0.00

G. Flujo de Caja Privado escenario base

FLUJO DE CAJA Escenario Base (MCLP) Años

Ítem	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
= Ingreso		\$766.23	\$766.23	\$766.23	\$766.23	\$766.23	\$766.23	\$766.23	\$766.23	\$766.23	\$766.23	\$766.23	\$766.23	\$766.23	\$766.23	\$766.23	\$766.23	\$766.23	\$766.23	\$766.23	\$766.23
- Energía		(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)
- Sueldo		(\$228.00)	(\$228.00)	(\$228.00)	(\$228.00)	(\$228.00)	(\$228.00)	(\$228.00)	(\$228.00)	(\$228.00)	(\$228.00)	(\$228.00)	(\$228.00)	(\$228.00)	(\$228.00)	(\$228.00)	(\$228.00)	(\$228.00)	(\$228.00)	(\$228.00)	(\$228.00)
- Manteniones		(\$23.00)	(\$23.00)	(\$23.00)	(\$23.00)	(\$23.00)	(\$23.00)	(\$23.00)	(\$23.00)	(\$23.00)	(\$23.00)	(\$23.00)	(\$23.00)	(\$23.00)	(\$23.00)	(\$23.00)	(\$23.00)	(\$23.00)	(\$23.00)	(\$23.00)	(\$23.00)
- Seguros		(\$15.00)	(\$15.00)	(\$15.00)	(\$15.00)	(\$15.00)	(\$15.00)	(\$15.00)	(\$15.00)	(\$15.00)	(\$15.00)	(\$15.00)	(\$15.00)	(\$15.00)	(\$15.00)	(\$15.00)	(\$15.00)	(\$15.00)	(\$15.00)	(\$15.00)	(\$15.00)
= U. Bruta		\$362.27	\$362.27	\$362.27	\$362.27	\$362.27	\$362.27	\$362.27	\$362.27	\$362.27	\$362.27	\$362.27	\$362.27	\$362.27	\$362.27	\$362.27	\$362.27	\$362.27	\$362.27	\$362.27	\$362.27
- Gastos (10%)		(\$40.40)	(\$40.40)	(\$40.40)	(\$40.40)	(\$40.40)	(\$40.40)	(\$40.40)	(\$40.40)	(\$40.40)	(\$40.40)	(\$40.40)	(\$40.40)	(\$40.40)	(\$40.40)	(\$40.40)	(\$40.40)	(\$40.40)	(\$40.40)	(\$40.40)	(\$40.40)
- Depreciación		(\$135.50)	(\$135.50)	(\$135.50)	(\$135.50)	(\$135.50)	(\$135.50)	(\$135.50)	(\$135.50)	(\$135.50)	(\$135.50)	(\$135.50)	(\$135.50)	(\$135.50)	(\$135.50)	(\$135.50)	(\$135.50)	(\$135.50)	(\$135.50)	(\$135.50)	(\$135.50)
= U. Antes Impuesto		\$186.37	\$186.37	\$186.37	\$186.37	\$186.37	\$186.37	\$186.37	\$186.37	\$186.37	\$186.37	\$186.37	\$186.37	\$186.37	\$186.37	\$186.37	\$186.37	\$186.37	\$186.37	\$186.37	\$186.37
- Impuesto (27%)		(\$50.32)	(\$50.32)	(\$50.32)	(\$50.32)	(\$50.32)	(\$50.32)	(\$50.32)	(\$50.32)	(\$50.32)	(\$50.32)	(\$50.32)	(\$50.32)	(\$50.32)	(\$50.32)	(\$50.32)	(\$50.32)	(\$50.32)	(\$50.32)	(\$50.32)	(\$50.32)
= U. Neta		\$136.05	\$136.05	\$136.05	\$136.05	\$136.05	\$136.05	\$136.05	\$136.05	\$136.05	\$136.05	\$136.05	\$136.05	\$136.05	\$136.05	\$136.05	\$136.05	\$136.05	\$136.05	\$136.05	\$136.05
= Depreciación		\$135.50	\$135.50	\$135.50	\$135.50	\$135.50	\$135.50	\$135.50	\$135.50	\$135.50	\$135.50	\$135.50	\$135.50	\$135.50	\$135.50	\$135.50	\$135.50	\$135.50	\$135.50	\$135.50	\$135.50
= Inversión		(\$2,250.00)																			
= Reposición																					
= Flujo de Caja		(\$2,250.00)	\$271.55	\$271.55	\$271.55	\$271.55	\$271.55	\$271.55	\$271.55	(\$428.45)	\$271.55	\$271.55	\$271.55	\$271.55	\$271.55	\$271.55	\$271.55	(\$1,728.45)	\$271.55	\$271.55	\$1,771.55

H. Estimación Beneficios Sociales

BENEFICIOS SOCIALES

Ahorro tiempo	
Usuarios beneficiados por día	2578
Ahorro tiempo viaje	
Ahorro de tiempo por viaje (hr)	0.12
Ahorro tiempo por año-persona (hr)	87.6
PS Ahorro tiempo (CLP/h)	\$3,126.00
Beneficio anual Ahorro de tiempo (CLP)	\$705.95
Ahorro tiempo espera	
Ahorro tiempo espera por viaje (hr)	0.08
Ahorro de tiempo por año (hr)	150555.2
PS Tiempo de espera	\$6,252.00
Beneficio anual ahorro tiempo espera	\$941.27

Reducción Emisiones CO2

Emisión Bus diésel reemplazado (kgCO2/km)	1
Emisión Bus Electrico Directo (kgCO2/km)	0
Kilometros recorrido por año	766500
CO2 evitado (kgCO2)	766500
PS CO2 (equivalente) (CLP/tCO2eq)	\$70,540.00
Beneficio reducción CO2 (MCLP)	\$54.07

Reducción PM2.5	
PM2.5 evitado (Proporción RED) (g/km)	0.03
PM evitado (kg/año)	22.995
PS PM2.5(CLP/ton)	\$10.00
Beneficio anual (MCLP)	\$0.23

Beneficio Social Total (MCLP/año)	\$1,701.52
-----------------------------------	------------

I. Estimación Costos Sociales

Costos sociales

CAPEX	\$2,210.00
-------	------------

OPEX	
Energía	\$137.97
Conductores	
Sueldos privados	\$228.00
FCS Mano obra calificada	0.97
Costo Social	\$221.16
Mantenciones	
Mantenciones Privado	\$23.00
Mano obra calificada	50%
FCS	0.97
Bienes transables	50%
FCS	1
Mantenciones sociales	\$22.65
Administrativos	
Administrativos Privado	\$40.40

Mano obra calificada	70%
FCS	0.97
Otros bienes	30%
FCS	1
Administrativos sociales	\$39.55

J. Flujo Social del Proyecto

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
= Beneficios Sociales		\$1,701.52	\$1,701.52	\$1,701.52	\$1,701.52	\$1,701.52	\$1,701.52	\$1,701.52	\$1,701.52	\$1,701.52	\$1,701.52	\$1,701.52	\$1,701.52	\$1,701.52	\$1,701.52	\$1,701.52	\$1,701.52	\$1,701.52	\$1,701.52	\$1,701.52	\$1,701.52
- Energía		(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)	(\$137.97)
- Suelo C3		(\$271.16)	(\$271.16)	(\$271.16)	(\$271.16)	(\$271.16)	(\$271.16)	(\$271.16)	(\$271.16)	(\$271.16)	(\$271.16)	(\$271.16)	(\$271.16)	(\$271.16)	(\$271.16)	(\$271.16)	(\$271.16)	(\$271.16)	(\$271.16)	(\$271.16)	(\$271.16)
- Mantenciones C3		(\$22.65)	(\$22.65)	(\$22.65)	(\$22.65)	(\$22.65)	(\$22.65)	(\$22.65)	(\$22.65)	(\$22.65)	(\$22.65)	(\$22.65)	(\$22.65)	(\$22.65)	(\$22.65)	(\$22.65)	(\$22.65)	(\$22.65)	(\$22.65)	(\$22.65)	(\$22.65)
= U. Bruta		\$1,319.74	\$1,319.74	\$1,319.74	\$1,319.74	\$1,319.74	\$1,319.74	\$1,319.74	\$1,319.74	\$1,319.74	\$1,319.74	\$1,319.74	\$1,319.74	\$1,319.74	\$1,319.74	\$1,319.74	\$1,319.74	\$1,319.74	\$1,319.74	\$1,319.74	\$1,319.74
- Gastos (10%) CS		(\$36.18)	(\$36.18)	(\$36.18)	(\$36.18)	(\$36.18)	(\$36.18)	(\$36.18)	(\$36.18)	(\$36.18)	(\$36.18)	(\$36.18)	(\$36.18)	(\$36.18)	(\$36.18)	(\$36.18)	(\$36.18)	(\$36.18)	(\$36.18)	(\$36.18)	(\$36.18)
= U. Pura		\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57
- Inversión		(\$2,210.00)																			
= Reposición																					\$1,500.00
= Flujo de Caja		(\$2,210.00)	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$1,281.57	\$2,781.57

K. Resultados VAN por escenario

ESCENARIO			
MAGNITUD VARIACIÓN		VARIABLE	VAN
30%		CAPEX	(\$1,289.98)
20%		CAPEX	(\$1,020.88)
10%		CAPEX	(\$751.78)
-10%		CAPEX	(\$213.59)
-20%		CAPEX	\$55.50
-30%		CAPEX	\$324.60
30%		OPEX	(\$1,311.19)
20%		OPEX	(\$1,035.02)
10%		OPEX	(\$758.85)
-10%		OPEX	(\$206.52)
-20%		OPEX	\$69.64
-30%		OPEX	\$345.81
		Ingreso	
30%	tarifa		\$945.93
		Ingreso	
20%	tarifa		\$469.72

		Ingreso	
10%	tarifa		(\$6.48)
		Ingreso	
-10%	tarifa		(\$958.89)
		Ingreso	
-20%	tarifa		(\$1,435.10)
		Ingreso	
-30%	tarifa		(\$2,011.30)
30%		Subsidio	\$17.32
20%		Subsidio	(\$21.15)
10%		Subsidio	(\$59.61)
-10%		Subsidio	(\$136.53)
-20%		Subsidio	(\$174.99)
-30%		Subsidio	(\$213.46)

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN – FACULTAD DE
INGENIERIA**

RESUMEN DE MEMORIA DE TITULO

Departamento : Departamento de Ingeniería Civil Industrial
Carrera : Ingeniería Civil Industrial
Nombre del memorista : José Manuel Moyano Robles
Título de la memoria : UNA PROPUESTA DE EVALUACIÓN DE
TRAZADOS ALTERNATIVOS DE LÍNEAS DE
TRANSPORTE PÚBLICO
Fecha de la Presentación : 26 marzo, 2026
oral

Profesor (es) Guía : Sebastián Astroza Tagle, Juan Antonio Carrasco
Profesor(es) Revisor(es) : Lorena Del Carmen Pradenas Rojas
Concepto :
Calificación :

Resumen (máximo 200 palabras)