



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**ANÁLISIS DE SUBSIDIOS Y PROPUESTA DE UNA TARIFA ÓPTIMA
PARA EL TRANSPORTE PÚBLICO EN EL CASO DEL GRAN
CONCEPCIÓN**

POR

Samuel Ignacio Soto Contreras

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

Primer semestre 2023

Concepción, Chile

© 2023 Samuel Ignacio Soto Contreras. Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a cada una de las personas que fueron parte de este largo periodo de aprendizaje, en primer lugar a familia, ya que sin ellos no habría llegado donde estoy.

A mi mamá, por tu apoyo, en cada una de esas noches de estudio donde me llevabas cosas para comer o cada vez que me recordabas y me incentivabas a estudiar cuando a veces ganas faltaban.

A mi papá, por tanto esfuerzo para que yo no tuviera que preocuparme de nada más que de estudiar, esforzándote día tras día para que tuviera una buena vida.

A mi polola, ya que fuiste un pilar inmenso, haciéndome feliz día tras día, tirándome para arriba en momentos oscuros y acompañándome siempre, sin importar lo mal que estuviera todo.

A mis hermanos, por preocuparse de mi bienestar y siempre animarme a que podría con este proceso, siempre confiando en mí.

A mi abuela, que con cada ocurrencia me sacaba una sonrisa, siempre alegrando el hogar con tu presencia.

A cada uno de los profesores, que siempre tuvieron la mejor disposición para enseñarme, aunque a veces llegara tarde o estuviera esforzándome por estar despierto, ellos seguían ahí dándolo todo por hacer de mí una mejor persona y un gran profesional.

Al Estado de Chile, por el beneficio de gratuidad que me otorgaron, lo cual fue un gran alivio y estoy seguro de que habría sido mucho más difícil sin él.

A mis compañeros y compañeras que siempre tuvieron la buena disposición para ayudarme cuando lo necesite, y por la buena onda que hizo mucho más llevadero este proceso.

Y no puedo olvidarme de mis perrihijas, Luna y Nala, que desde que llegaron a mi vida me trajeron una felicidad inmensa, ya que muchas veces llegaba con tristeza o cansancio, pero era imposible no alegrarme cuando movían su cola con tanta felicidad por solo verme.

Gracias todos y cada uno de los que fueron parte de este hermoso proceso.

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo analizar el transporte público del Gran Concepción, el cual es supervisado y regulado por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones de Chile. El objetivo principal de este estudio es analizar el funcionamiento actual del sistema a nivel económico, fundamentalmente se analiza la tarifa cobrada a los usuarios y se estima cual es la tarifa óptima para las características actuales del sistema. En el marco de esta investigación se analiza la forma en que se calcula la tarifa en el sistema, tanto a nivel histórico como a nivel actual, para entender cuáles son las principales características que son relevantes para el cálculo de esta. Las subvenciones del sistema son una de las principales características que se analizan, ya que están directamente relacionadas con el cálculo de tarifa. Posteriormente, se estudian los modelos de optimización para la definición de una tarifa óptima, que tengan casos de estudio similares al seleccionado.

Finalmente, en base a lo estudiado se plantea y resuelve un modelo que permite calcular la tarifa óptima del sistema. Los resultados indican que el sistema actual no es rentable, por lo que es necesario un aumento de la tarifa o bien, un aumento de las subvenciones al sistema. Para el caso de las asignaciones en proyectos, se sugiere un cambio a nivel legislativo, que separe el actual Fondo de Apoyo Regional en 2 nuevos fondos, uno dedicado específicamente al transporte y otro fondo destinado a otro tipo de proyectos, lo que podría complementarse con un aumento de las asignaciones, en caso de ser necesario.

Abstract

The objective of this research is to analyze the public transportation system of Gran Concepción, which is supervised and regulated by the Ministry of Transportation and Communications of Chile. The main objective of this study is to analyze the current functioning of the system at an economic level, mainly by analyzing the fare charged to users and estimating the optimal fare for the current characteristics of the system. Within the framework of this research, the way in which the tariff is calculated in the system is analyzed, both at a historical and current level, in order to understand which are the main characteristics that are relevant for the calculation of the tariff. The system subsidies are one of the main characteristics that are analyzed, since they are directly related to the tariff calculation. Subsequently, optimization models for the definition of an optimal tariff are studied, which have case studies similar to the selected one.

Finally, based on what has been studied, a model that allows calculating the optimal tariff of the system is proposed and solved. The results indicate that the current system is not profitable, so it is necessary to increase the tariff or increase the subsidies to the system. In the case of project allocations, a legislative change is suggested, separating the current Regional Support Fund into two new funds, one specifically dedicated to transportation and another fund for other types of projects, which could be complemented with an increase in allocations, if necessary.

Contenido

1. Introducción.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.1.1. Limitaciones del estudio	2
1.2. Problemática	3
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos.....	4
1.5. Metodología	5
1.6. Estructura del documento	5
2. Revisión bibliográfica.....	7
2.1. Evolución de las tarifas en Chile y el Gran Concepción	7
2.1.1. Gran Santiago.....	7
2.1.2. Concepción	12
2.1.3. Gran Valparaíso.....	14
2.1.4. Valdivia.....	15
2.1.5. Tome	15
2.2. Evolución de la tarifa en el Gran Concepción	16
2.3. Metodologías existentes para definición de tarifa óptima	16
2.3.1. Formas de Cobro	17
2.3.2. Sistemas de tarificación.....	17
2.4. Estudios asociados a la definición de tarifa en el transporte público	19
2.4.1. Basnek y Guiesen (2023).....	19
2.4.2. Basso y Silva (2014).....	21
2.5. Revisión de las asignaciones al transporte (fondos espejos) y la distribución de estos fondos en el Gran Concepción	24

2.5.1.	Fondos asignados al MTT	25
2.5.2.	Fondos asignados al FAR	26
3.	Metodología.....	28
3.1.	Definición de la población objetivo	28
3.2.	Análisis de los modelos estudiados	30
3.2.1.	Modelo existente: Polinomio de ajuste.....	30
3.2.2.	Modelo de Basnak y Guiesen	31
3.2.3.	Modelo de Basso y Silva	32
3.3.	Modelo elegido: Minimización de costos.....	33
3.4.	Parámetros del problema.	35
3.5.	Escenarios	38
3.6.	Implementación.....	40
3.7.	Subvenciones al sistema de transporte	40
3.7.1.	Fondos del MTT.....	40
3.7.2.	Fondos del FAR.....	42
4.	Resultados	47
4.1.	Resolución del modelo	47
4.2.	Aumento o disminución de asignaciones	48
5.	Conclusiones	51
5.1.	Futuras líneas de investigación	52
6.	Glosario.....	53
7.	Referencias	54

Índice de Figuras

Figura 2.1: Evolución de la tarifa máxima en el GC.....	16
Figura 2.2: Árbol de decisión del modelo.....	21
Figura 2.3: Composición de aportes de la ley 20.378	25
Figura 3.1: Proporción de viajes en el Gran Concepción según Sectra.....	28
Figura 3.2: Proporción de viajes del Gran Concepción según encuesta EOD.....	29
Figura 3.3: Histograma de Flujo Vehicular Total para un Día Laboral	35
Figura 3.4: Histograma de viajes por propósito en día laboral.	36
Figura 3.5: Histograma de pasajeros en un día laboral luego del filtro.....	36
Figura 3.6: Porcentaje de usuarios para un día laboral.....	37
Figura 3.7: Código para resolver cada escenario.	40
Figura 3.9: Asignación al MTT por año para la región del Biobío	42
Figura 4.1: Resultados escenario 4.....	47
Figura 4.2: Propuesta de cambio para el fondos del FAR.	50

Índice de Tablas

Tabla 3.1: Diferencias entre EOD y Sectra.....	29
Tabla 3.2: Nuevos factores de ponderación para el polinomio en del GC.....	30
Tabla 3.3: Ponderadores actuales vs Ponderadores sugeridos 2019.....	31
Tabla 3.4: Sugerencia de horarios Peak y no Peak.....	35
Tabla 3.5: Definición de horarios peak y no peak.....	37
Tabla 3.6: Porcentaje de usuarios del TP del Gran Concepción	38
Tabla 3.7: Parámetros a usar para el modelo.	38
Tabla 3.8: Asignaciones según año y programa en la Región del Bio-Bio.....	41
Tabla 3.9: Porcentaje de los fondos asignados al FAR a la Región del Bio-Bio vs Porcentaje a nivel nacional.....	42
Tabla 3.10: Monto anual asignado al FAR vs Monto asignado a la Inversión Regional.....	43
Tabla 3.11: Gastos en proyectos de transporte en la región del Bio-Bio.....	44
Tabla 3.12: Montos FAR asignados al Gran Concepción vs Resto de la región.....	45
Tabla 3.13: Inversión en transporte por proyectos FAR en el GC	45
Tabla 3.14: Inversión en transporte por proyectos FAR en el resto de la región	45
Tabla 4.1: Resultados de cada escenario 1 al 3	47
Tabla 4.2: Resumen de gasto en proyectos de transporte con respecto a asignaciones del FAR...	49
Tabla 4.3: Resumen de gastos en proyectos de transporte con respecto a asignaciones del FAR .	49
Tabla 5.1: Posibles soluciones de tarifa óptima y aumentos de asignaciones al MTT.	51

1. Introducción

El transporte público (TP) es uno de los servicios fundamentales para casi todas las ciudades del mundo, ya que las distintas características que lo componen, como frecuencia, trayectos, comodidad, tarifas, entre otros, influyen directamente la calidad de vida de cada uno de los usuarios y de los habitantes de la zona. Debido a esto existen organismos gubernamentales que deben regular cada una de estas características para resguardar la calidad del servicio, como es el caso particular de las tarifas y las subvenciones al sistema.

La principal motivación de este estudio es la importancia que tiene el TP para gran parte de la población, ya que se estima que alrededor del 50% de la población a nivel mundial lo usa para movilizarse día a día (Statista, 2022). El caso particular de estudio es el Gran Concepción (GC), donde el TP también es fundamental, ya que más del 50% de los hogares no cuenta con un vehículo para movilizarse y aproximadamente un 40% de los viajes diarios utilizan el TP. Pero esto aumenta si se consideran exclusivamente los viajes largos, es decir, mayor a 10 km, donde el porcentaje de viajes correspondiente al TP aumenta al 66,6% (Sectra, 2017). Por ende, se puede inferir que el grado de importancia del TP en este caso en particular es fundamental para gran parte de la población.

Esta investigación tendrá como objetivo el área financiera del sistema del TP del GC, donde se buscará analizar dos aspectos principales, la tarifa y las subvenciones asociadas al sistema, cuyas características están directamente relacionadas.

1.1. Antecedentes

En el caso de Chile, el TP es regulado a nivel nacional por el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MTT), aunque existen distintas direcciones de transporte en las distintas regiones. En cuanto al GC es regulado y supervisado por la división de transporte público regional (DTPR). Respecto a las asignaciones gubernamentales, se cuenta con la Ley de Subsidio al TP (Ley 20.378), son fundamentales para los objetivos que busca la DTPR, puesto que permiten realizar inversiones concretas para avanzar en la modernización del TP regional (DTPR, 2011).

Durante el paso de los años han existido diversos proyectos, a través de los cuales se ha ido actualizando diversas características del transporte. Algunos tipos de proyectos son los siguientes:

- Licitaciones: La regla general en las compras públicas es la licitación pública. Se trata de un procedimiento administrativo abierto y participativo efectuado en forma autónoma por un organismo comprador. La entidad invita a través de www.mercadopublico.cl a todos los proveedores del rubro a proporcionar un bien o servicio y selecciona y acepta la oferta más conveniente según los criterios que se establezcan en las Bases de Licitación. (Chilecompra, 2023).
- Perímetros de exclusión: Consiste en la determinación de un área geográfica, en la que se exige a todos los servicios de TP que operen en dicha zona, y por un plazo determinado, el cumplimiento de ciertas condiciones de operación y de utilización de vías, y otras exigencias, restricciones, diferenciaciones o regulaciones específicas, tales como tarifas, estructuras tarifarias, programación vial, regularidad, frecuencia, antigüedad, requerimientos tecnológicos o administrativos, entre otras (MTT, 2019).

Como se señaló anteriormente, el MTT es el encargado de regular los diversas características del transporte a través de las distintas DTPR, entre los cuales se encuentra una de las más importantes para los usuarios, la tarifa. Por tanto, en esta Memoria de Título se analiza la forma en que se define esta tarifa actualmente en el GC y en otras partes del mundo, además de los distintos esquemas tarifarios y las distintas variables que puedan ser importantes para buscar una propuesta de tarifa óptima para tanto los usuarios como los operadores.

1.1.1. Limitaciones del estudio

Este estudio busca optimizar la tarifa del TP, por lo que otras características que lo componen como frecuencias, demanda, velocidad de viaje, tiempos de viaje, entre otras, no son modificadas para buscar un óptimo del sistema, solo se usa los datos existentes.

Además, se utilizan los datos más actualizados posibles, que si bien pueden no representar del todo la situación actual del transporte, debido a modificaciones a raíz del estallido social del 2019 o de la pandemia del COVID-19, se escapa de este estudio la posibilidad de actualizar estos datos, por lo que se asume que estos datos representan de forma aproximada a la situación actual.

En cuanto al periodo de estudio, se busca analizar principalmente el estado del transporte post efectos externos, pero un problema en este aspecto es que sería muy acotado, solo 2 años, entre 2021 a 2023. Debido a esto se seleccionó en un intervalo de tiempo más largo, de forma de tener un marco de referencia mayor. Finalmente, el periodo de estudio es 2018 al 2023.

1.2. Problemática

Actualmente, Chile se encuentra en momentos complejos a nivel económico, el 2022 se cerró con un 12,8% de inflación, por lo que una posible variación en el precio del pasaje es esperable. Se estima que en el gran Santiago, un hogar gasta aproximadamente \$155.000 en movilizarse solo al trabajo (CChC, 2019). Mientras que para el caso de Concepción, por persona adulta el valor podría variar entre \$25.000 a \$50.000 (solo considerando viajes para trabajar, con 2 o 4 pasajes al día dependiendo del trayecto recorrido). Pero, podría llegar a ser mucho mayor al considerar otros viajes personales que pudiera realizar el usuario, por lo que es un gasto importante para la mayoría de las personas.

Otro aspecto importante que también puede estar relacionado a la inflación, es el gasto público que realice el estado, tal como podría ser el caso de las asignaciones al TP. Además, estos fondos son dineros que pertenecen a todos los ciudadanos, así que es fundamental estudiar y supervisar por parte de la población en que, y como se están gastando estos. Debido a estos motivos se quiere estudiar en que se están usando actualmente los subsidios al transporte y que tan eficiente es ese gasto.

1.3. Justificación

El TP es uno de los servicios fundamentales para gran parte de la población, debido a que para muchos es el único medio que tienen disponible para llegar a trabajar o estudiar. Si bien el estado es el encargado de velar por mantención y mejoramiento del servicio, muchas veces no es suficiente, esto es debido a que existen múltiples agentes que tienen sus propios intereses, los cuales además pueden ir cambiando en el tiempo.

Según Šipuš y Aabramović, (2018), los tres principales agentes y sus correspondientes intereses son (1) las autoridades, los cuales buscan maximizar el beneficio social, (2) los operadores del transporte, los cuales buscan maximizar sus ganancias y (3) los usuarios, los cuales buscan minimizar el costo total del viaje. Ahora bien, todo esto viene condicionado por múltiples aspectos, como las características del transporte como por ejemplo frecuencias, cantidad de población, economía de la región, etc. Además, definen los cuatro principales aspectos de la calidad de prestación del servicio, en este caso son: (1) calidad esperada, (2) calidad objetivo, (3) calidad real, (4) calidad lograda. El primer aspecto hace referencia a las necesidades de los usuarios, el segundo es la relación entre las necesidades del usuario y lo que se puede ofrecer por el prestador, el tercero es el nivel de lo efectivamente se ofrece, mientras que el último hace referencia al nivel de satisfacción del usuario.

Debido a la importancia de este servicio, mediante esta memoria de título se busca dar propuestas de mejoras tanto para definir la tarifa óptima como para aumentar o disminuir las asignaciones para las distintas líneas de buses, o para los dineros asignados para proyectos de transporte, para buscar mejoras del servicio tanto para usuarios como para operadores.

1.4. Objetivos

Objetivos Generales:

OG1: Generar una propuesta de tarifa óptima para el GC en base a datos y modelos ya existentes.

Objetivos específicos:

OE1: Analizar cómo se ha definido históricamente la tarifa para Concepción y Chile.

OE2: Analizar los distintos esquemas tarifarios existentes en Chile y el Mundo.

OE3: Seleccionar las principales variables relevantes para definir una posible tarifa en Concepción.

OE4: Generar una o más propuestas de tarifas óptimas, según las implicancias e inversión asociadas.

OE5: Analizar el uso histórico de las asignaciones de la Ley 20.378 en el GC.

OE6: Generar una propuesta de aumento o disminución de subvención al sistema de TP.

1.5. Metodología

La metodología para la investigación se basa en principalmente cinco grandes pasos, que están relacionados con los objetivos planteados, los cuales se detallan a continuación:

- 1- Revisión bibliográfica: Este es uno de los pasos más extensos, puesto que se necesita tener todo el contexto del TP en general, además de estudiar las metodologías existentes para las tarifas óptimas. Entre las distintas etapas de esta revisión se encuentran:
 - Evolución de las tarifas del TP en Chile y particularmente en el GC.
 - Esquemas tarifarios usados en Chile y el mundo, para identificar las principales características, viabilidad y variables relevantes para el caso del GC.
 - Principales metodologías existentes para la determinación de las tarifas óptimas en el TP.
 - Asignaciones al transporte (fondos espejos) y la distribución de estos fondos en el GC.
- 2- Análisis de la data recopilada y de los modelos de esquemas tarifarios, para seleccionar los que más se puedan adaptar para el caso del GC: Se seleccionan modelos que puedan tener relación con el caso de estudio, para estudiarlos y definir los motivos por los que podrían ser beneficiosos de implementar en el caso de estudio, todo esto teniendo en consideración las características existentes del sistema.
- 3- Análisis del uso de los fondos para TP en el GC: Se analizan los proyectos y el gasto de los dineros entregados por el gobierno como subvención al TP, evaluando el impacto que han tenido estos gastos.
- 4- Generación de una propuesta de tarifa óptima: Se selecciona la metodología a implementar y en base a esta se calcula la tarifa óptima para el GC pudiendo evaluar varios escenarios.
- 5- Propuesta de aumento o disminución de fondos para el TP en el GC: En base a la eficiencia del uso de los fondos se estima si es necesario aumentar, disminuir o bien mantener la asignación de fondos.

1.6. Estructura del documento

Este estudio cuenta con 5 capítulos, siendo la introducción el primero de ellos. A continuación, se presenta una breve explicación de los siguientes capítulos:

- En el segundo capítulo se presenta la revisión bibliográfica. Este capítulo es el más extenso, ya que contiene la información histórica de la definición de tarifa, en distintas ciudades de Chile. Además, se presentan las distintas metodologías para la definición de una tarifa óptima y los estudios relevantes para este caso. Finalmente, se detallan los tipos de asignaciones al transporte público.
- En el capítulo 3 se presenta la Metodología, donde se detalla la población del caso de estudio, además se analiza el modelo actual y los modelos presentados en el capítulo 2. Luego, se presenta el modelo a usar para el cálculo de la tarifa óptima, con sus distintos parámetros, escenarios y su forma de implementación. Finalmente se analiza el uso de las asignaciones al transporte.
- En el capítulo 4 se presentan los resultados. Primero se presenta el resultado del modelo implementado y luego se presenta una propuesta para las asignaciones al transporte, en base a lo analizado en el capítulo 3.
- En el capítulo 5 se presentan las conclusiones de la investigación, además de las futuras líneas de investigación.

2. Revisión bibliográfica

El TP ha sido objeto de análisis tanto por profesionales como por organismos gubernamentales debido a su importancia, donde se han analizado múltiples casos y problemáticas que se presentan en diferentes ciudades del mundo. Por lo tanto, en esta sección se analizan datos históricos, modelos existentes, sistemas tarifarios, subsidios existentes y sus correspondientes repartos que existen hoy en día en Chile.

2.1. Evolución de las tarifas en Chile y el Gran Concepción

Las tarifas del TP han sido objeto de legislación por años por parte de los distintos gobiernos, donde han realizado múltiples modificaciones en el paso de los años. Se analiza cada uno de estos cambios en las principales ciudades de Chile con el fin de contar con datos históricos que puedan ser fundamentales para la definición de una nueva tarifa óptima.

2.1.1. Gran Santiago

En el caso de Santiago es donde más antecedentes se tienen de la evolución del transporte. Hasta el año 1975 el TP estaba completamente regulado. El Estado tenía un control total en la determinación de recorridos, tarifas, frecuencias y demás servicios. A partir de ese año comienza un proceso de liberalización del mercado, el que se caracterizaba por malos servicios, una red insuficiente y tarifas relativamente altas (Figueroa, 1990)

Hacia comienzos de los años 90, las condiciones de operación del sector se habían deteriorado considerablemente. El parque de vehículos de la locomoción colectiva se había duplicado durante la última década, los efectos externos asociados a la congestión de las vías y la contaminación se habían agudizado y, a pesar de que se había liberalizado la entrada a la industria, las tarifas se habían más que duplicado durante los últimos diez años. (Sanhueza & Castro, 1999).

Pasaron muchos años en la esa situación donde el mercado prácticamente se regulaba solo. Sin embargo en el año 1991 se comenzó a regular el sistema, con un llamado para Santiago por parte

del MTT. La reajustabilidad de tarifas tendrá relación directa con las variaciones que experimenten en el periodo los siguientes factores:

1. Precio del Diesel (Diesel)
2. Factor relacionado con la divisa (DIV)

Los valores bases para cada uno de estos factores serán los observados a la fecha de aprobación de la licitación y serán los mismos durante el periodo de dure la licitación.

Luego es posible definir un coeficiente de variación para cada uno de los factores mencionados, entre la fecha de inicio de la licitación y el día primero de cada mes, lo cual se calcula con la fórmula (2.1):

$$V(X_i) = \frac{X_i}{X} \quad (2.1)$$

Donde:

i : Mes en el que se realiza el cálculo tarifario.

X_i : Valor del factor X , en el primer día del mes i .

X : Valor base del factor X .

La variación del factor asociado a la divisa (DIV) depende de la variación del dólar, el arancel de importación y el IVA. El valor del factor que se asocia a la divisa en el inicio de cada mes i se calcula formula (2.2):

$$DIV_i = Dolar_i * \left(1 + \frac{\%AI_i}{100}\right) * \left(1 + \frac{\%IVA_i}{100}\right) \quad (2.2)$$

Donde:

AI_i : Arancel de importacion en el mes i .

IVA_i : Impuesto a las ventas y servicios en el mes i .

Inicialmente se consideran que los factores a y b, que representan el porcentaje de participación de cada ítem respectivamente en el costo total que incurren los vehículos de servicio tienen un valor igual a:

$$a = 0,4$$

$$b = 0,6$$

En cuanto a la tarifa inicial es la propuesta inicialmente por el concesionario. Para calcular el valor de la tarifa máxima correspondiente al inicio de cada mes, con la cual se obtiene la variación tarifaria que permite o no modificar los valores de tarifas, se deben corregir los factores que representan las proporciones actuales de cada ítem en el costo. Para ello se debe conocer la variación experimentada por los ítems, en el período sin reajuste, con lo cual, se calcula el valor de la variable "K", según:

$$K = a * V(Diesel_i) + b * V(DIV_i) \quad (2.3)$$

Donde a es el factor asociado al Diesel y b es el factor asociado a la divisa. Luego, es posible calcular los factores corregidos, dividiendo cada término de la ecuación anterior por el valor antes calculado para K :

$$a_{nuevo} = a \times \frac{V(Diesel_i)}{K} \quad (2.4)$$

$$b_{nuevo} = b \times \frac{V(DIV_i)}{K} \quad (2.5)$$

En cuanto a la variación de la tarifa se calcula con la formula (2.6).

$$V(Tarifa_i) = a_{nuevo} \times V(Diesel_i) + b_{nuevo} \times V(DIV_i) \quad (2.6)$$

Finalmente, es posible calcular el valor de la tarifa máxima para el mes i con la formula (2.7).

$$T_{nueva} = T \times V(Tarifa_i) \quad (2.7)$$

En 2005, se realiza una nueva licitación para el nuevo servicio a implementar, el Transantiago. Un aspecto importante a mencionar fue que se implementó el pago electrónico que incluía una tarifa integrada. Además para esta última se incluyeron muchos más factores en el cálculo de la tarifa, los que se detallan a continuación:

1. Índice precios al consumidor (IPC).

2. Valor patentes y seguros.
3. ICMO.
4. Diesel.
5. Precio Gas Natural (GNC).
6. Precio del Kilowatts-Hora
7. Lubricantes.
8. Neumáticos.
9. Dólar Observado (DO).

Lo anteriormente mencionado, se modificó el 2009 mediante el decreto 140 (MTT, 2009), donde se establecieron nuevos factores, con sus correspondientes pesos fueron los siguientes:

1. Diesel: 22%
2. Índice Costo Mano Obra Nominal (ICMO): 17,63%
3. Índice Precios Consumidor (IPC): 37,47%
4. Valor Lubricantes: 0,7%
5. Valor Neumáticos: 4,58%
6. Tipo Cambio dólar observado (DO): 12,33%
7. Tipo Cambio euro: 2,46%
8. Índice promedio productos importados del sector industrial (IIMI): 2,83%

Para cada uno de estos factores se calcularía mensualmente la variación, mediante la siguiente fórmula:

$$V(X)_i = \frac{X_i}{X_{i-1}} - 1 \quad (2.8)$$

Donde:

i : Mes en el que se realiza el cálculo tarifario.

X_i : Valor del factor X para el mes i .

Luego, se calcula la variación del índice tarifario del mes i , con la fórmula (2.9):

$$V(IT)_i = c \times V(Diesel)_i + d \times V(ICMO)_i + e \times V(IPC)_i + f \times V(Lucricantes)_i + g \times V(Neumáticos)_i + h \times V(DO)_i + i \times V(Euro)_i + j \times V(IIMI)_i \quad (2.9)$$

Donde c, d, e, f, g, h, i y j corresponden al peso de cada uno de estos factores.

Luego, las tarifas mensuales se calculan con la siguiente fórmula:

$$TC_{i,j} = TC_{i-1,j} \times (1 + V(IT)_{i-1}) \quad (2.10)$$

Donde:

i : Corresponde al mes en que se realiza el cálculo.

j : Corresponde al tipo de tarifa j según sean servicios puros, integrados y otros, excluyendo las tarifas escolares o de estudiantes.

$TC_{i,j}$: Corresponde a la tarifa de cálculo tipo j vigente el mes i .

$TC_{i-1,j}$: Corresponde a la tarifa de cálculo tipo j calculada para el mes $i - 1$.

Pero esto se modificó el año 2019 mediante el decreto N°16 del 2019 (MTT, 2019b), donde se eliminaron o se reemplazaron varios factores, de esta forma los nuevos factores fueron los siguientes:

1. Diesel: 18,35%
2. Índice Costo Mano Obra Nominal (ICMO): 15,43%
3. Índice Precios Consumidor (IPC): 48,69%
4. Tipo Cambio dólar observado (DO): 13,74%
5. Índice de Costos de Energía Eléctrica (IEE): 2,82%
6. Índice de Costos de Potencia Eléctrica (IPE): 0,97%

Además, se cambió el cálculo del coeficiente de variación por la siguiente forma:

$$V(X)_i = \left(\frac{\sum_{k=i-5}^i X_k}{\sum_{k=i-6}^{i-1} X_k} \right) - 1 \quad (2.11)$$

Mientras que la variación del índice tarifario se calcula como:

$$V(IT)_i = k \times V(Diesel)_i + l \times V(ICMO)_i + m \times V(IPC)_i + n \times V(DO)_i + o \times V(IEE)_i + p \times V(IPE)_i \quad (2.12)$$

Donde k , l , m , n , o y p corresponden al peso de cada uno de estos factores, anteriormente mencionados. Mientras que el polinomio para el cálculo de las tarifas mensuales no sufrió modificaciones.

2.1.2. Concepción

Para el caso de Concepción, se tomó más tiempo para que se regulara el sistema, debido a que no fue hasta 1995 donde se empezó a conversar sobre posibles licitaciones para el caso del GC. Pero, no fue hasta 1999 donde se realizó el llamado a licitación, la que fue declarada desierta ya que solo se recibieron cinco propuestas para un total de setenta servicios que existían de momento (MTT, 1999).

Posteriormente, en el año 2001, luego de conversaciones con los operadores, se avanzó en posibles nuevas condiciones para una licitación, la cual se realizó en el mismo año. Se establecieron algunos aspectos como recorridos, frecuencias y tarifa, donde en este último caso, se fijó el mínimo y el máximo, además de una forma de reajustabilidad.

Los principales aspectos de las Bases comprenden una tarifa mínima de postulación de 250 pesos y una máxima de \$300. Además, en la fórmula de reajustabilidad de las tarifas incidirán los siguientes factores (MTT, 2001):

1. Petróleo Diesel: 23%
2. Índice nominal de costo de mano de obra: 33%
3. Neumáticos: 6%
4. Índice de costo de reposición del Bus. (INVA) 38%

Esta licitación tendría en un principio un plazo de 30 meses prorrogables por 6 meses más. Pero una vez venció ese tiempo no se realizó otra licitación si no que mediante la resolución exenta 2246 se establecieron condiciones específicas para continuar con una operación similar a la anterior.

Donde se establecieron condiciones específicas de operación, como antigüedad de la flota, retiro de máquinas antiguas, trazados y tarifas. Para este caso se especifica que la tarifa a cobrar por los servicios corrientes será reajustada de acuerdo al procedimiento de reajustabilidad de tarifa, es decir, que se seguirá con el mismo reajuste tarifario especificado en la licitación del año 2001 (MTT, 2005).

En 2021 se anuncio que Concepción pasaría a regularse mediante un perímetro de exclusión, se aprobó la resolución con las distintas exigencias (DTPR, 2021). Si bien aún no entra en vigencia, recientemente el ministro de transporte, con fecha del 5 de mayo de 2023, anunció que próximamente lo haría (Castro, 2023). En las bases se detalla los factores y el polinomio de reajuste. Los factores incluidos en este caso son los siguientes:

1. Diesel (PD): 28,30%
2. Índice de Costos del Transporte (ICT) 11,71%
3. Índice Costo de Mano de Obra Nominal (ICMO): 50,27%
4. Dólar: 9,72 %

Mientras que la variación de cada uno de las formula se calcula con la siguiente fórmula:

$$\Delta V_{j,t} = \frac{V_{j,t} - V_{j,t-1}}{V_{j,t-1}} \quad (2.13)$$

$$j \in \{PD, ICMO, ICT, DOLAR\}$$

Donde:

$V_{t,j}$: Es el valor del factor j en el mes t correspondiente.

$\Delta V_{t,j}$: Es la variación porcentual del factor j en el mes t , cuyo valor se considera con aproximación a dos decimales.

En cuanto al polinomio de reajuste se detalla en la fórmula:

$$T_t = T_{t-1} \times (1 + (\Delta PD_t \times 28,3\% + \Delta ICMO_t \times 50,27\% + \Delta ICT_t \times 11,71\% + \Delta DOLAR_t \times 9,72\%)) \quad (2.14)$$

Donde:

T_t : Es la tarifa máxima adulta vigente a partir del mes t y resultante del proceso de reajustabilidad.

T_{t-1} : Es la tarifa máxima adulta en el periodo correspondiente al mes que antecede al periodo de cálculo mensual (t), donde $t \geq 1$.

2.1.3. Gran Valparaíso

Previo al año 2018 se operaba bajo algunas regulaciones del ministerio de transporte, pero en el año 2019 entro en vigencia el perímetro de exclusión mediante la resolución exenta 1745 (DTPR, 2019), el cual tendría una vigencia de 60 meses, el cual puede ser prorrogado por 24 meses como máximo. Entre las múltiples características a regular, definieron los factores a usar para el cálculo de la tarifa máxima, además del polinomio de reajustabilidad. Los factores por usar, con su correspondiente peso, fueron:

1. Precio Diesel (PD): 39%
2. Índice de precios del productor de la industria manufacturera (PN): 4%
3. Índice de costo de mano de obra (ICMO): 24%
4. Índice de costo de reposición de la maquina (INVA): 33%

Para el cálculo del polinomio de reajustabilidad, se calculan las variaciones de cada uno de los factores a considerar, en ese caso cada variabilidad se define como:

$$\Delta V_{j,t} = \frac{V_{j,t} - V_{j,t-2}}{V_{j,t-2}} \quad (2.15)$$

Siendo j alguno de los factores mencionados, mientras que t el periodo mensual correspondiente. Luego, es posible calcular la variación donde se calcula con el siguiente polinomio:

$$T_t = T_{t-2} \times \left(1 + \left(\begin{array}{l} \Delta PD_t \times 39\% + \Delta ICMO_t \times 24\% \\ + \Delta PN_t \times 4\% + \Delta INVA_t \times 33\% \end{array} \right) \right) \quad (2.16)$$

Donde:

T_t : Es la tarifa máxima adulta vigente a partir del mes t y resultante del proceso de reajustabilidad.

T_{t-2} : Es la tarifa máxima adulta en el periodo correspondiente al mes que antecede al periodo de cálculo mensual (t), donde $t \geq 2$.

2.1.4. Valdivia

En el año 2020 entro en vigencia el perímetro de exclusión para el caso de Valdivia, mediante la resolución 12 del año 2020 (DTPR, 2020), donde al igual que el caso de Valparaíso, se determinaron factores y polinomio de reajustabilidad. Se definió que en cada mes se realiza el cálculo del polinomio. En este caso los factores a considera fueron:

1. Precio Diesel (PD): 39%
2. Precio Neumáticos (PN): 3%
3. Índice de costo de mano de obra (ICMO): 48%
4. Dólar: 22%

Luego se calcula la variación para cada uno de los factores mencionados y el polinomio de ajuste, de forma análoga el caso del perímetro de exclusión de Concepción, solo cambiando los factores por los mencionados anteriormente y su peso correspondiente.

2.1.5. Tome

Entro en vigencia el año 2021 mediante la resolución afecta N°22 del 2021 (DTPR, 2021b). Donde los factores a considerar para el caso de la reajustabilidad fueron:

1. Precio Diesel (PD): 39%
2. Índice de costos del transporte (ICT): 3%
3. Índice de costo de mano de obra (ICMO): 48%
4. Dólar: 22%

Luego, el cálculo de la variación y el polinomio de ajuste es análogo al caso de del perímetro de exclusión de Concepción y de Valdivia, modificando los factores correspondientes y sus pesos asociados.

2.2. Evolución de la tarifa en el Gran Concepción

Es importante mencionar que estos polinomios y factores sirven para fijar la tarifa “real” que se debería cobrar. Pero, en muchos casos no es lo que se cobra al usuario, donde se entregan recursos a los operadores para subsanar esa diferencia tarifaria. En la Figura 2.1 se detalla cómo ha fluctuado la tarifa adulta para el GC entre 2009 a 2017:

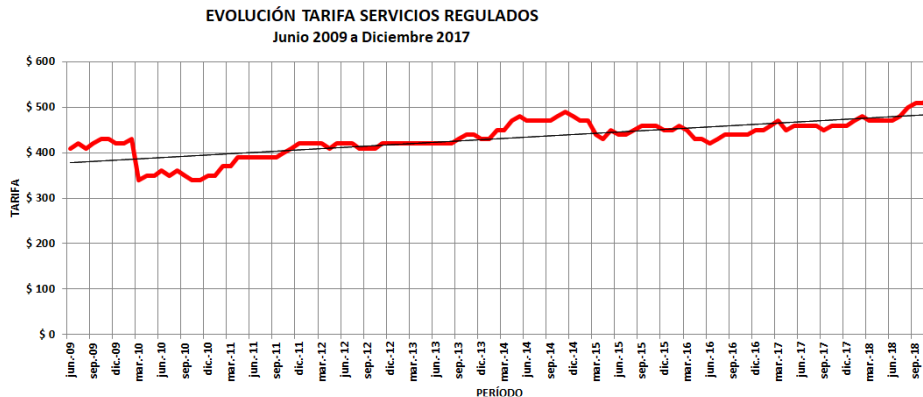


Figura 2.1: Evolución de la tarifa máxima en el GC.

Fuente: Radiografía del uso de fondos espejo y propuestas (Espacio Público, 2018).

Es posible apreciar un incremento relativamente constante con el paso de los años, con algunas fluctuaciones más marcadas como, por ejemplo, en el año 2010, donde entro en vigencia las primeras subvenciones al sistema. Cabe destacar que el gráfico solo cuenta con datos hasta 2018, lo cual no es un problema puesto que el último monto señalado en este gráfico es de más de aproximadamente \$510, cifra que es prácticamente la misma que se cobra en el presente año 2023, que es de \$530, valor que no ha cambiado desde el año 2019, originado por el estallido social el mismo año.

2.3. Metodologías existentes para definición de tarifa óptima

El sistema de transporte tiene variantes con respectos a las tarifas, con dos principales características: forma de cobro a los usuarios y sistema de operación, las cuales son importantes estudiar para tener puntos de referencias a la hora de sugerir variaciones con respecto al funcionamiento actual, por lo que se estudian las opciones existentes.

2.3.1. Formas de Cobro

Hace referencia a la forma en que los usuarios deben pagar por usar el servicio, los momentos en que se realizan estos cobros y los medios por los que pueden ser pagados.

- Libre o gratis: Una opción que podría aumentar en gran medida la demanda del TP y que por ende beneficiaría ampliamente a los usuarios del TP sería el transporte gratuito, el cual no es muy usual pero varias ciudades del mundo lo usan o lo han utilizado. Un caso particular que se ha estudiado es el de la ciudad de Tallin, Estonia, que cuenta con aproximadamente 450.000 habitantes y desde 2013 cuenta con transporte público gratuito, además de ser la primera capital de Europa en usar esta alternativa. Este caso en particular fue analizado por Baldwin (2017), pero no llegó a conclusiones que pudieran extenderse a otros casos. Esta opción existe en ciudades europeas como Stavanger, Noruega o Kelheim, Alemania, mientras que ejemplos en Sudamérica son en Maricá y Paulínia en Brasil.
- Tarjeta ilimitada: El usuario compra una tarjeta que le permite hacer viajes ilimitados por un periodo de tiempo. Es común en países de la unión europea, un ejemplo es el Eurail, el cual permite desplazarse por varios países.
- Prepago: El usuario cuenta con una tarjeta y se le cobra cada vez que la use, generalmente cuando sube al transporte, esta tarjeta se debe recargar en puntos específicos o bien por sistemas electrónicos. Un ejemplo de esto es la Red Metropolitana de Movilidad o los servicios de EFE Trenes, como el Biotren.
- Efectivo: Los usuarios pagan su pasaje en efectivo al subir al transporte, este es el modelo actualmente usado en Concepción.

2.3.2. Sistemas de tarificación

Corresponde a la forma en que se calcula la tarifa a pagar por los usuarios del TP, que se define en base a las características del sistema y las políticas públicas realizadas por los organismos gubernamentales que regulen el sistema.

- Transporte integrado: Según Šipuš y Aabramović (2018), este sistema se caracteriza por la integración de diversos medios de transporte en un sistema tarifario unificado, un horario de esfera de reloj integrado unificado y un boleto unificado, otras características del sistema son:
 - Requisitos de implementación: Requiere un cierto nivel de demanda de transporte en el área objetivo. Es importante formar la matriz origen-destino (OD) para observar los posibles viajes de los pasajeros. Existe la necesidad de sincronizar los horarios y tarifas para que sean adecuados para los operadores y usuarios del TP. Además, requiere buenas conexiones con los usuarios de vehículos privados, lo que se puede lograr mediante la construcción de sistemas de estacionamiento y estacionamiento para bicicletas.
 - Beneficios: Los pasajeros que viajan distancias más largas pagarán menos por kilómetro recorrido que los que viajan distancias más cortas o cruzan menos zonas tarifarias. Puede ser una estrategia para incentivar la demanda y, por ende, traer los beneficios ya mencionados que trae el aumento del TP y la disminución del uso del automóvil.

Algunos ejemplos de este tipo de tarificación es la RED de transporte del Gran Santiago o el TP de Paris, Francia.

- Transporte totalmente integrado: El usuario paga solo una vez al subir pudiendo tomar todas las conexiones que requiera sin tener cobros extras. Usado principalmente en Norteamérica.
- Por zonas: Similar al coste por distancia, según Kohani (2013) consiste en dividir la región en zonas tarifarias y cobrar en base a las zonas recorridas por el usuario, algo que es relativamente similar al costo por distancia. Existen dos tipos de tarifas por zonas:
 - Tarifa zonal con precios arbitrarios: El precio se fija de forma arbitraria en base a la zona donde comienza y en donde finaliza el viaje y por cada par de zonas existe un cobro asociado.
 - Sistema de tarifas por zonas de conteo: El precio del viaje en este sistema se calcula en función del número de zonas atravesadas en el viaje.

Algunos ejemplos de este caso son Zurich, Suiza o Munich, Alemania.

- No integrado: Los usuarios deben pagar una nueva tarifa al tomar una conexión. Es el caso actual de Concepción.

2.4. Estudios asociados a la definición de tarifa en el transporte público

Como ya se ha mencionado anteriormente, el TP ya ha sido estudiado por muchos autores, específicamente la tarifa óptima es un tema bastante recurrente según Šipuš y Aabramović (2018). Múltiples autores ya han propuesto un enfoque de optimización no lineal para resolver este problema y otros relacionados al transporte, por lo que es clave para este estudio analizar algunos trabajos que hacen referencia a la tarifa óptima. Se analizaron estudios de tarifa óptima que son aplicados a casos de ciudades chilenas o bien latinoamericanas, donde se encontraron dos estudios relevantes para estas características.

2.4.1. Basnek y Guiesen (2023)

Este estudio plantea un modelo de minimización de costes para 33 ciudades chilenas que cuentan con TP. Luego, en base a estos resultados, evalúan mediante un modelo de regresión lineal cuales son más adecuadas para posibles implementaciones de transporte gratuito, en este caso lo fundamental para esta memoria, es el modelo de minimización de costos, que plantea la siguiente función objetivo con su correspondiente restricción:

$$\min_{b,bv,n,s,\tau} CT = \sum_m [C_c + C_o + C_{ext} + \sum_i ((n_{i,m} * (C_{a,m} + C_{e,m} + C_{v,m})))] \quad (2.17)$$
$$s. t \cdot Cap_{i,bus} \geq Dem_{i,bus}, i \in (P, O)$$

Donde CT son los costes totales para las m modalidades (Bus, Auto, Bicicleta y Caminar) en los i periodos de viaje (Peak o Valle). El primer término representa los costes sociales relacionados con el operador o costes externos, mientras que el segundo término está relacionado a costes relacionados con el usuario.

Las variables del modelo de optimización son las siguientes:

- b es la flota total de buses (se incluye en C_o y C_c).
- bv es la cantidad de vehículos de la flota que operan en horario valle (se incluye en C_o y C_c).
- n es el número de líneas de buses (se incluye en la variables C_c).
- s , el número de paradas por línea buses (se incluye en la variables C_c).

- Finalmente τ , que representa la tarifa en múltiplos de \$100 (se incluye en la variable $C_{v,m}$).

En cuanto al detalle de los costos que componen la función objetivo son las siguientes:

- $n_{i,m}$ es la cantidad de viajes por periodo i para cada modo m de viaje.
- $C_{a,m}$, $C_{e,m}$, $C_{v,m}$ son el coste medio por usuario correspondiente a las etapas de acceso, espera y viaje en el vehículo respectivamente para cada modo.
- C_c es el coste de construcción y mantenimiento de la infraestructura.
- C_o el coste de explotación y compra de flota.
- C_{ext} el coste de las externalidades.

Finalmente, se aplica una restricción de capacidad para el modo de viaje en autobús en ambos periodos, donde la capacidad máxima del bus ($Cap_{i,bus}$) debe a la demanda por cada bus ($Dem_{i,bus}$), que en este caso se definió como cinco pasajeros por metro cuadrado. La población se divide en tres tipos de usuarios: estudiantes, adultos y adultos mayores.

En cuanto a los resultados o aspectos importantes a mencionar están:

- Existen beneficios de un mayor uso de TP como son la reducción de externalidades tales como la congestión, la cual se cumple siempre, independiente del tamaño de la ciudad. Además, es posible la reducción contaminación y de accidentes, aunque esto solo sucede en ciudades con población mayor a 100.000 habitantes.
- Las subvenciones al TP no se incluyen en el modelo, las cuales traen beneficios sociales tales como reducción de desigualdad de ingresos y la reducción de propiedad de automóviles.
- Las tarifas óptimas disminuyen para ciudades con mayor población, menor ingreso promedio, mayor proporción de estudiantes y cuando las ciudades están rodeadas por barreras naturales, debido a que tienden a tener formas más alargadas. Además, ciudades con pendientes más pronunciadas deberían tener tarifas más bajas.
- La legislación vigente no permite subsidiar otros modos de transporte como el taxi colectivo el cual está presente en muchas ciudades de Chile.
- Ninguna de las ciudades contaba con una tarifa óptima 0, pero si se recomendaban algunas de las cuales, contaban con tarifas más bajas (según su modelo), las cuales podrían ser planes

piloto para implementar estas políticas. Estas ciudades son: Valdivia, Quellón, Chillan y Osorno.

2.4.2. Basso y Silva (2014)

En este trabajo se presenta un modelo de optimización para para dos casos particulares, el de Santiago de Chile y de Londres de Inglaterra, donde cada caso será evaluado en seis escenarios distintos. El modelo plantea posibles cambios al sistema, tales como, creación de carriles exclusivos para el TP, subvenciones monetarias al sistema y finalmente la tarificación de la congestión. Esta última hace referencia a que los usuarios que viajen en ciertos puntos de la ciudad o en ciertos horarios, en los cuales generan una gran congestión, paguen debido a las externalidades negativas que generan al viajar, este pago se asemeja a lo que ocurre con los cobros extras a los autos que son más contaminantes.

En base a esto se genera un modelo donde los usuarios eligen de manera secuencial el periodo (Peak, No Peak o No viajar) y la forma de viaje (Bus o Auto), tal como se aprecia en la Figura 2.2. Además, los usuarios estarán divididos en distintos grupos de ingresos según el caso de estudio son 5 grupos.

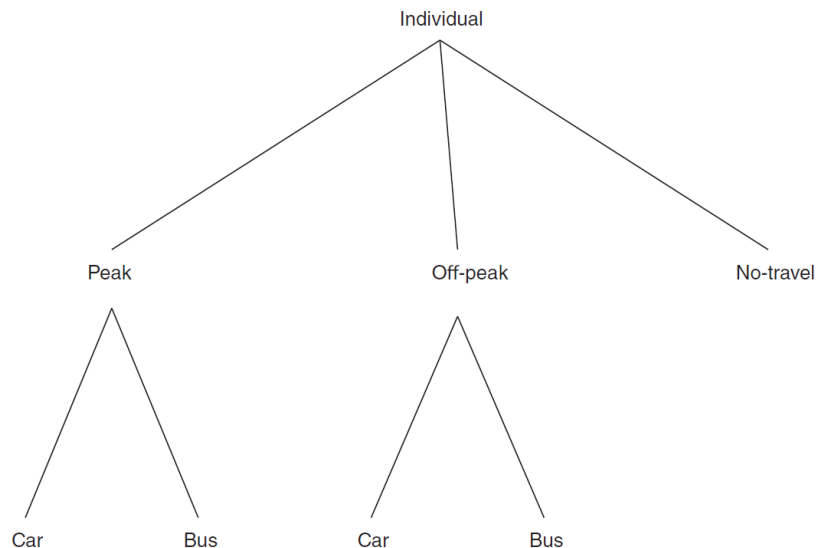


Figura 2.2: Árbol de decisión del modelo.

Fuente: Basso & Silva (2014)

Luego es posible definir la utilidad que obtiene un individuo del grupo monetario i si utiliza el modo m en el periodo q , la cual se detalla en la ecuación (2.18).

$$U_{qm}^i = \theta_{qm}^i + \lambda^i * cost_{qm} + \beta_{qm}^i * gt_{qm} \quad (2.18)$$

$$q \in \{Peak, Off - Peak\} \quad m \in M_q = \{Car, Bus\}$$

Donde:

- θ_{qm}^i es la constante específica de la alternativa.
- λ^i es el parámetro de coste.
- $cost_{qm}$ es el coste monetario del viaje.
- β_{qm}^i es la utilidad del tiempo.
- gt_{qm} es el tiempo de viaje generalizado.

En base a esto, es posible definir la utilidad para cada nido según grupo económico, se define como:

$$A_q^i = \ln \left(\sum_{r \in M_q} \exp (U_{qr}^i) \right) \quad (2.19)$$

$$q \in \{Peak, Off - peak\}$$

Las demás variables también vienen definidas en el modelo, pero para más detalles puede revisarse en el estudio original. Antes de definir la función objetivo el estudio plantea una definición para el costo social, el cual incluye las utilidades para cada grupo económico. Se define en la ecuación (2.20), la cual es conocida como logsum.

$$Cs = \sum_i \left(\frac{1}{\mu} \times \frac{Y^i}{(-\lambda)^i} \times \ln \left[\sum_n \exp (\mu \times A_n^i) \right] \right) \quad (2.20)$$

Donde:

- μ es el grado de sustituibilidad entre periodos.
- $(-\lambda)^i$ es el parámetro de coste para cada grupo monetario.
- Y^i es el número de personas por kilómetro que pertenecen al grupo de renta i .

Finalmente, es posible definir el costo social kilométrico, que viene definido por la ecuación (2.21):

$$SW = CS + \left[\left(\sum_q Y_{qb} \times P_{qb} \times l \right) - OC_b + \left(\sum_q Y_{qc} \times P_{qc} \times \frac{l}{a} \right) \times (1 - \eta) - OC_{dl} \right] \times mcpf \quad (2.21)$$

$q \in \{Peak, Off - peak\}$

Donde:

- Y_{qb} son los pasajeros de bus por periodo.
- Y_{qc} son los viajes de auto por periodo.
- P_{qb} es el valor de la tarifa por periodo por kilómetro.
- P_{qc} es el costo operativo de auto por periodo por kilómetro.
- l es el tiempo medio de viaje.
- OC_{cb} es el costo de explotación por día y kilómetro del sistema de autobuses.
- OC_{dl} es el costo adicional de implementar vías exclusivas de buses.
- η es el porcentaje de asignación de vías exclusivas a buses.
- $mcpf$ es el costo social de las subvenciones estatales.

En base a este modelo, se generan cuatro escenarios a evaluar:

1. Escenario de referencia: En nuestro escenario de referencia no hay peaje de congestión, el sistema de autobuses se autofinancia y la carretera es compartida por autobuses y autos, además de que la tarifa sea igual en ambos periodos.
2. Diferenciación de tarifas: Este escenario permite que las tarifas de autobús se diferencien según la hora del día.
3. Subvención al transporte: Este escenario permite una subvención de un porcentaje del sistema de autobuses, lo que se traduce en un cambio de la restricción presupuestaria.
4. Carriles exclusivos para autobuses (DL): Este escenario analiza la política de carriles exclusivos para autobuses. Es muy similar al escenario de referencia: el sistema de autobuses se autofinancia y no hay tarificación de la congestión. La diferencia, sin embargo, es que la capacidad de la carretera ya no es compartida por autos y autobuses. Por tanto, ya no se da el caso de que los autos congestionen los autobuses o que las operaciones de los autobuses perturben el flujo de los autos.

Además, existen varios escenarios más que resultan de la combinación de los escenarios 2,3 y 4.

Algunos aspectos que destacar sobre este estudio son:

- Los principales resultados de este estudio sugieren que existe una gran sustituibilidad de eficiencia entre políticas. Esto implica que en ausencia de otras políticas, las subvenciones al transporte pueden ser una medida muy buena para reducir las externalidades negativas del transporte y aumentar el bienestar social, al menos, si el coste marginal de los fondos públicos y las ineficiencias de costes inducidas no son muy grandes. No obstante, su contribución podría verse muy mermada si antes se aplican otras políticas, como la tarificación de la congestión y los carriles bus exclusivos.
- El sistema se analiza de forma homogénea, es decir, no considera por ejemplo que hay zonas en que se genera congestión en cierto rango de horario y otras zonas donde no es así.

El posible uso de estos modelos para el caso del GC se analiza en el Capítulo 3.

2.5. Revisión de las asignaciones al transporte (fondos espejos) y la distribución de estos fondos en el Gran Concepción

Para el correcto funcionamiento del TP se deben financiar muchos aspectos de este, tales como: mantención, mejoramientos, infraestructura, entre otros. En cuanto a la legislación que entrega fondos como concepto de subvención, una de las primeras leyes que incluía fondos a regiones fue la ley 20.206 que se creó en el año 2007 y destinaba fondos para el Transantiago y para el TP de regiones, donde se buscaba “compensar” a las regiones (MTT, 2007). El uso que se le podría dar a estos dineros sería “... iniciativas de inversión, incluidos estudios de factibilidad y de diseño, en infraestructura vial, de riego, de servicios básicos de agua potable y saneamiento rural, de transportes y telecomunicaciones, por sobre los niveles autorizados en la Ley de Presupuestos del año 2007, hasta por el monto que se les determine por aplicación de este artículo”.

Más tarde en el año 2009, se creó la ley 20.378, la cual sigue vigente y mediante la cual se crea un subsidio para el TP en Chile. Estos subsidios entregan fondos a Santiago y a regiones para el funcionamiento del transporte, para el caso de estas últimas, los fondos que se reciben son llamados

informalmente “fondos espejos”. Estos buscaban eliminar la inequidad que existía en las regiones con respecto a la capital del país, así estos subsidios al día de hoy forman parte importante del total de fondos asignados al MTT (2009b).

Los fondos espejos reciben ese nombre puesto que son (o deberían) ser equivalentes al subsidio permanente que recibe el Transantiago, pero además tanto Santiago como regiones reciben otro tipo de asignaciones, transitorias o especiales y que se asignan según lo que se decida ese año en el parlamento. Para el caso de regiones estos fondos extras reciben el nombre de FAR (Fondo de apoyo regional), donde estos dineros son asignados al tesoro público para diversas iniciativas de desarrollo regional, que en teoría deberían estar relacionadas al transporte. Un resumen de estos se puede apreciar en la Figura 2.3.

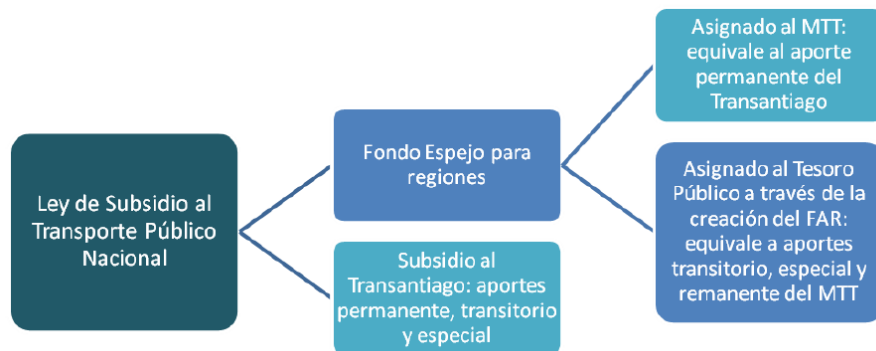


Figura 2.3: Composición de aportes de la ley 20.378

Fuente: Radiografía del uso de fondos espejo y propuestas (Espacio Público., 2018).

Al existir dos tipos de fondos para las regiones, se analizarán por separado según los usos y asignaciones que se han realizado.

2.5.1. Fondos asignados al MTT

A partir de la entrada en vigencia de la ley del subsidio al transporte, se fortaleció el MTT, debido a que a partir de ese momento se entregaban los montos al ministerio para que ellos se hicieran cargo de asignarlos. Además, surgió la creación de las distintas direcciones de transporte público regional (DTPR), lo que ayudó a las regiones, desconcentrando el funcionamiento del ministerio.

En cuanto a los usos que se tienen de estos dineros, están asociados principalmente a la mantención del TP, entregando subsidios a los distintos operadores, ya sea para cubrir la diferencia tarifaria entre el pasaje actual cobrado por persona (valor que se debería cobrar según polinomios de ajuste vs tarifa real), tanto como a las asignaciones por los beneficios de la Tarjeta Nacional Estudiantil (TNE) y de adulto mayor.

En cuanto a los montos asignados al MTT, estos se reportan de forma trimestral y tienen programas específicos en los cuales gastar las asignaciones, principalmente son:

- Conectividad rural y zonas aisladas: Principalmente orientado a el transporte a hacia o desde pueblos pequeños.
- Transporte en Zonas No Reguladas: Orientado a asignaciones para el transporte en ciudades donde no existe regulación por ley, en el caso de la Región del Biobío corresponde a las comunas fuera del GC.
- Transporte Escolar: Asignado para el funcionamiento de furgones escolares.
- Transporte en Zonas Reguladas: Orientado al transporte regulado por ley y para este estudio estos son uno de los montos principales de análisis.
- TNE: Asignaciones al transporte regulado para cubrir la diferencia tarifaria entre la tarifa adulta y la tarifa escolar.
- Varios: Rebaja adulto mayor, asignaciones por casos particulares como elecciones, entre otros.

2.5.2. Fondos asignados al FAR

El FAR es asignado al Tesoro público, donde es utilizado en cada región como parte de los dineros asignados a la inversión regional, así, el FAR es una de las asignaciones más importantes, junto con el Fondo de Desarrollo Regional (FNDR),

El FAR se creó en el año 2009, a partir de la promulgación de la ley del subsidio al transporte, donde se buscaba financiar iniciativas relacionadas al transporte y al desarrollo regional. Pero ¿cuáles son los proyectos o iniciativas que se pueden realizar según lo descrito en la ley? Esto se

puede responder con el artículo cuarto transitorio de la misma ley 20.378, que señala los posibles usos de estos dineros:

1. Grandes Proyectos de desarrollo, de infraestructura general, transporte público, modernización, y otros; los que podrán involucrar más de una región y más de un período presupuestario. Entre estos proyectos podrán incluirse:
 - a) Ejecución de un programa especial mediante el cual los Gobiernos Regionales están facultados para convocar a un **proceso de renovación de buses, minibuses, trolebuses y taxi buses**.
 - b) **Infraestructura para el transporte público y su modernización**, tales como diseño e implementación de planes de mejora del transporte público, de inversión en infraestructura para el transporte o la modernización de la gestión de los sistemas.
 - c) **Cualquier otro proyecto de inversión, distinto de los señalados anteriormente, los que se deberán fundar en la relevancia de dichas inversiones para la región o regiones.**
2. Un programa de apoyo a los servicios de transporte público remunerado de pasajeros prestados mediante ferrocarriles, destinado a financiar su sustentabilidad económica a través del financiamiento de mejoras realizadas en las condiciones técnicas y de calidad de prestación de los servicios, entre otros. Las normas necesarias para su implementación y operación se establecerán en un decreto dictado por el ministro de Transportes y Telecomunicaciones y suscrito, además, por el ministro de Hacienda (MTT, 2009b).

En general, se debe gastar en proyectos ligados al transporte, pero como señala la sección c del inciso 1, es posible usar estos dineros en otro tipo de proyectos siempre y cuando se justifique que sean proyectos beneficiosos para la región. Esta es una de las principales problemáticas que ya otros autores han señalado que en otras regiones, como para el caso de la Región de Valparaíso donde, durante el periodo 2013-2017, solo 55% de los proyectos financiados con el FAR eran relacionados al transporte (Espacio Público., 2018).

3. Metodología

En este capítulo, en primer lugar, se define la población objetivo para el caso del estudio. Luego, se analiza cómo se define la tarifa actualmente, en base a la información y modelos descritos en el capítulo 2. Finalmente se determina cuál modelo usar y se profundiza en el análisis del gasto de las asignaciones, fundamentalmente se detalla los proyectos en los cuales se gastan estas subvenciones del TP.

3.1. Definición de la población objetivo

En primer lugar, se definen todas las comunas que pertenecen al GC. Con excepción de Lota, Coronel y Tomé, ya que estas cuentan con TP que no es parte de los buses licitados del GC y por ende, operan bajo otras características. Así, las comunas que se consideran son: Concepción, Talcahuano, Chiguayante, Hualpén, San Pedro de la Paz, Hualqui y Penco. Además, por temas de comprensión se seguirá usando el término el GC pero solo para referirse a estas siete comunas.

El GC cuenta con una población de casi 1 millón de personas, según datos del último Censo (INE, 2017). Además, cuenta con aproximadamente 1.789.000 viajes diarios, donde el 40% corresponde a viajes usando TP (Sectra, 2017), el detalle del resto de los viajes se detalla en la Figura 3.1.

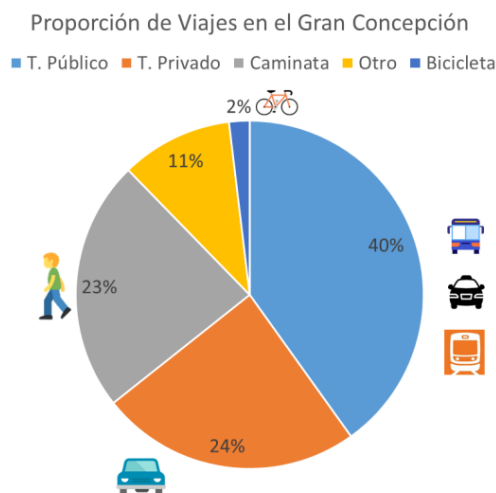


Figura 3.1: Proporción de viajes en el Gran Concepción según Sectra

Fuente: Plan de Movilidad Gran Concepción 2050 (Sectra, 2017)

Otro estudio relacionado a la movilidad de la población es la Encuesta Origen-Destino (Sectra, 2017) que en base a una muestra de aproximadamente 26 mil personas, estima los modos de viaje y los principales flujos entre comunas del GC. Los resultados de esta encuesta son similares a los realizados por la Sectra, pero con algunas diferencias porcentuales. En primer lugar, estima que se realizan 1.881.000 viajes diarios, cerca de 100.000 viajes más que anterior encuesta, en cuanto a la proporción de los viajes se detalla en la Figura 3.2.

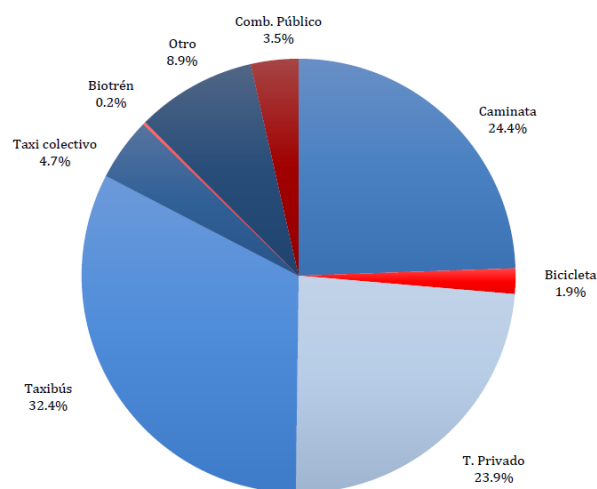


Figura 3.2: Proporción de viajes del Gran Concepción según encuesta EOD.

Fuente: Encuesta Origen-Destino (2017)

Las diferencias porcentuales en base a los distintos modos de viaje se detallan en la Tabla 3.1, donde es posible apreciar diferencias mínimas en cuanto a TP y privado, por lo tanto, ambas son encuestas son válidas para ser usadas en este estudio.

Tabla 3.1: Diferencias entre EOD y Sectra

Modo de Viaje	Sectra	EOD	Diferencia %
T. Privado	24%	23,9%	0,1%
T. Publico	40%	40,8%	0,8%
Caminata	23%	24,4%	1,4%
Bicicleta	2%	1,9%	0,1%
Otros	11%	8,9%	2,1%

Fuente: Elaboración propia en base a encuestas EOD y Sectra

En cuanto al GC, el TP debe cubrir nueve comunas, debido a esto cuenta con una flota muy grande, de aproximadamente 1900 buses repartidos entre las 36 líneas y 85 recorridos. Además del Biotren, el cual cuenta con 25 estaciones en siete comunas del GC, sumado a dos servicios de transporte de buses, con una flota de 16 buses, que conectan la estación de Concepción con otros puntos de la comuna.

3.2. Análisis de los modelos estudiados

En base a la información presentada en el Capítulo 2, se analiza las cualidades de cada uno de los modelos presentados y del modelo actual existente, de manera de seleccionar el modelo (o partes de estos) que pudieran ser una posible solución al caso de estudio en particular.

3.2.1. Modelo existente: Polinomio de ajuste

El actual modelo que existe en el GC, que es bastante similar al resto de las regiones del país es basado en un polinomio de ajuste. Este no ha sido modificado hace más de 20 años y recién podría verse modificado cuando entre en vigencia el nuevo perímetro de exclusión. Ahora bien, este polinomio actual ya ha sido estudiado con anterioridad, por la DTPR (2019b), donde se concluyó que, debido a las condiciones de esos momentos, los factores de ponderación no representaban la situación actual del sistema, y plantean nuevas posibles ponderaciones, que se detallan en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2: Nuevos factores de ponderación para el polinomio en del GC.

Polinomio	Dólar	Mantenimiento y Repuestos del vehículo	Diésel	ICMO	Monto anual subsidio por bus
Urbano	12,45%	15,01%	36,26%	64,40%	-28,12%
Urbano - Km bajo	16,73%	17,97%	25,57%	74,73%	-35,00%
Urbano - Km medio	12,43%	15,03%	35,37%	64,69%	-27,52%
Urbano - Km alto	10,86%	13,87%	41,32%	60,19%	-26,24%
Rural	12,02%	12,40%	33,36%	50,14%	-7,91%

Fuente: DTPR (2019b)

Dos aspectos son importantes a mencionar. La inclusión de los montos de subsidios como parte del polinomio de ajuste, tiene un peso bastante grande, siendo el tercer ponderador más grande. Respecto al resto de los ponderadores tienen bastantes diferencias, y se modifican varios. Por ejemplo, el INVA es reemplazado por el dólar, y los neumáticos son reemplazos por el índice de costos de transporte (ICT), donde se incluyen las cuales se resumen en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3: Ponderadores actuales vs Ponderadores sugeridos 2019

Ponderador	Peso actual	Peso estudio 2019	Diferencia (%)
Petróleo Diesel	23%	36,26%	13,26%
Índice nominal de costo de mano de obra	33%	64,4%	31,4%
INVA (Luego Dólar)	38 %	12,45%	-25,55%
Neumáticos (Luego ICT)	6%	15,01%	9,01%
Subsidio anual	-	-28,12%	NUEVO

Fuente: Elaboración propia en base a legislación y a estudio de tarifas (DTPR, 2019b)

Con esto como base ya se sugiere que el modelo actual no es óptimo para el sistema porque estos factores de ajuste y sus pesos no son los ideales. Ahora bien, este mismo tipo de modelos son los que se usan en las otras regiones del país, esto se puede generar debido al fácil entendimiento para la mayoría de las personas y que relativamente fácil de calcular y/o actualizar periódicamente. Pero, al tratarse de un sistema que cambia continuamente, la fijación de polinomios podría no ser la opción óptima para la definición de una tarifa, por lo que indagar en otras alternativas podría ser una opción interesante para este caso.

3.2.2. Modelo de Basnak y Guiesen

Este modelo tiene características bastante interesantes para su posible aplicación en el caso del GC, que se detallan a continuación.

- Este modelo ya se aplicó a ciudades chilenas, las cuales podrían llegar a tener características similares al GC. Ahora bien, algo a mencionar que solo fue aplicado a ciudades de máximo 150 mil habitantes, que es bastante lejano al caso de Concepción ya que es prácticamente siete veces menos habitantes.

- Contempla tarifas reducidas a estudiantes y adultos mayores.
- Incluye características de la geografía del sector, lo que para el caso de Concepción es una desventaja ya que al tener tantas comunas su geografía es muy variada y dispar.
- El estudio no detalla a fondo el modelo de minimización de costos, pues sus resultados se centran en la inclusión de tarifas gratis en algunas ciudades, lo cual no permite aplicarlo completamente.

En base a estos motivos, se elige no aplicar este modelo, pero el modelo de minimización de costos puede ser una alternativa a implementar.

3.2.3. Modelo de Basso y Silva

Este modelo tiene muchas características interesantes, ya que busca lograr un bienestar social óptimo para un sistema de transporte para dos casos en particular, uno de los cuales es Santiago de Chile, los detalles de los pro y contras de este modelo se señalan a continuación:

- Al tener como referencia la aplicación de este estudio en Santiago, puede ser un antecedente interesante para su aplicación ya que tiene características de transporte más masivo.
- El modelo busca optimizar el beneficio social del sistema, pero dentro del mismo hay muchas variables de optimización, tales como las frecuencias, tiempos de desplazamiento y, lo fundamental para este estudio, la tarifa óptima. Ahora bien, esta memoria de título tiene como objetivo buscar la tarifa óptima, pero sin modificar las otras características del transporte, es por eso por lo que para aplicar este modelo se deberían realizar muchas modificaciones ya que solo se usaría una variable de optimización.
- Al implementarlo se debería reemplazar variables del modelo por datos, es decir, modificar e incluso eliminar partes del modelo, las cuales no afecten directamente a la tarifa en el sistema.

En conclusión, este modelo como tal tampoco es posible implementarlo, pero si define los costos por pasajero y por viajes en auto. Además, identifica los costos del sistema de autobuses, características que podrían incluirse en el modelo de minimización de costos.

3.3. Modelo elegido: Minimización de costos

Se usa un modelo de minimización de costos totales tal como el modelo de Basnak y Gansen, donde se considera dos periodos, un periodo peak y uno valle. Además dos modos de viaje, en auto y en TP en bus y tres tipos de usuarios, adulto, adulto mayor y estudiante de educación (de media y/o superior). Ahora bien, solo se consideran costos de desplazamiento en bus y en auto, costos de operación del sistema y se considera las subvenciones existentes al sistema.

Otros costos no se consideran, como externalidades, mantención de las calles o construcción de paradas, ya que no vienen relacionados con el sistema de operación del transporte para el caso del GC, puesto que estos no son pagados por los operadores del sistema, además estos costos tampoco están relacionado al coste de la tarifa.

Luego es posible definir los costos asociados a los usuarios por el uso del transporte, para el caso de los costos de los usuarios del transporte se definen en la ecuación (3.1).

$$CB_{ta} = Y_{tba} \times P_{tb} \times \alpha_a \quad (3.1)$$

$$t \in \{peak, valle\}$$

$$a \in \{Adulto, Adulto Mayor, Estudiante\}$$

Donde Y_{tba} corresponde a la cantidad de viajes realizados en el periodo t de los usuarios de tipo a en bus, mientras que P_{tb} es la variable de optimización, es decir la tarifa del sistema y α_a es el porcentaje de tarifa pagado según el tipo de usuario. Luego, se define el coste de viaje por automóvil según la ecuación (3.2).

$$CA_t = Y_{tc} \times P_{tc} \quad (3.2)$$

$$t \in \{peak, valle\}$$

Donde Y_{tc} corresponde a la cantidad de viajes realizados en el periodo t en auto, P_{tc} es el coste medio de un viaje en auto en el periodo t .

El costo diario de operación del sistema es definido en la ecuación (3.3):

$$CO = CA + CM + CC + CSF + CB \quad (3.3)$$

CA corresponde a los costos administrativos, CM a los costos de mantención, CC son los costos de combustible y CSF es el costo de los sueldo fijo de los choferes a choferes, esto debido a que en el caso de estudio los operadores reciben un porcentaje de sueldo fijo pero tienen gran parte del sueldo variable en base a la venta de boletos, que se incluye en la restricción presupuestaria. Finalmente, CB corresponde al costo de adquisición de cada bus, el cual incluye el costo de depreciación del vehículo.

Por último, se define la función objetivo, con una restricción. Que es el total de los costos de transporte asumidos tanto por los usuarios tanto en auto como en bus, sumado al costo operativo del sistema, lo cual representa la ecuación (3.4).

$$\begin{aligned} \min_{P_{tb}} CT &= [(\sum_t \sum_a CB_{ta}) + (\sum_t CA_t) + CO] \quad (3.4) \\ s.a. \cdot (\sum_t \sum_a CB_{ta}) \cdot (1 - CSV) &\geq (CO - SUB + MO) \end{aligned}$$

La única restricción del problema general son los ingresos del sistema, los cuales deben ser igual a los costos operativos del sistema, pero además se añaden algunos detalles. En primer lugar, existe la posibilidad que a los costos del sistema se le reste el monto asignado por el gobierno como subvención (SUB). Además, se puede incorporar un margen operativo (MO). Ya que al tratarse de una empresa privada con fines de lucro buscan tener ingresos para que les sea lucrativo seguir operando. Otras restricciones se generan en base a cada escenario, que se detalla en la sección de escenarios.

Un aspecto importante que mencionar es que el problema se calcula con los costos e ingresos de un día, por lo tanto los costos a usar son diarios.

3.4. Parámetros del problema.

Para los datos de movilidad se usan principalmente tres estudios: la encuesta Origen-Destino del año 2015 (Sectra, 2017) o bien simplemente EOD, un estudio de demanda del transporte urbano de Concepción (MSTD Ingeniería, 2015), que llamaremos EDD, también del año 2015 y el estudio de tarifas de la DTPR (2019b), que se abrevia como EDT. Además, se usan otras fuentes que se detallan más adelante.

En primer lugar, se definen los horarios peak y valle, esto se realiza con la EOD puesto que considera tanto viajes de transporte privado como de TP. Dentro de la misma EOD plantean horarios peak, los cuales se detallan en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4: Sugerencia de horarios Peak y no Peak.

Período	Horario	Horario Representativo
Punta Mañana	07:30 - 08:30	07:30 - 08:30
Punta Mediodía	12:00 - 13:45	12:30 - 13:30
Punta Tarde	17:30 - 19:45	18:00 - 19:00
Fuera de Punta	08:30 - 12:00 13:45 - 17:30 19:45 - 21:45	10:45 - 11:45

Fuente: Encuesta Origen-Destino (2017)

Ahora bien, esta sugerencia de horarios lo hacen en base al flujo vehicular, el cual se detalla en la Figura 3.3, donde los horarios en rojo son los que proponen como horarios peak.

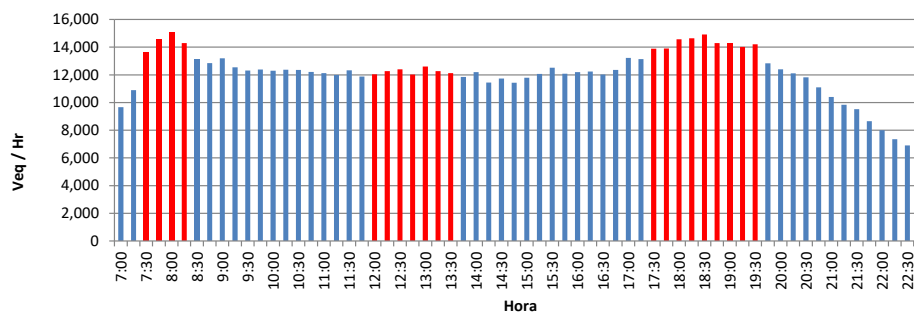


Figura 3.3: Histograma de Flujo Vehicular Total para un Día Laboral

Fuente: Encuesta Origen-Destino (2017)

Ahora bien, esto solo considera el flujo vehicular pero no la cantidad de pasajeros por vehículo. Pero, la misma EOD también evalúa datos de movilidad en base a encuestas realizadas a una

muestra de la población y es ajustada por proporción de población por comuna, como se muestra en la Figura 3.4.

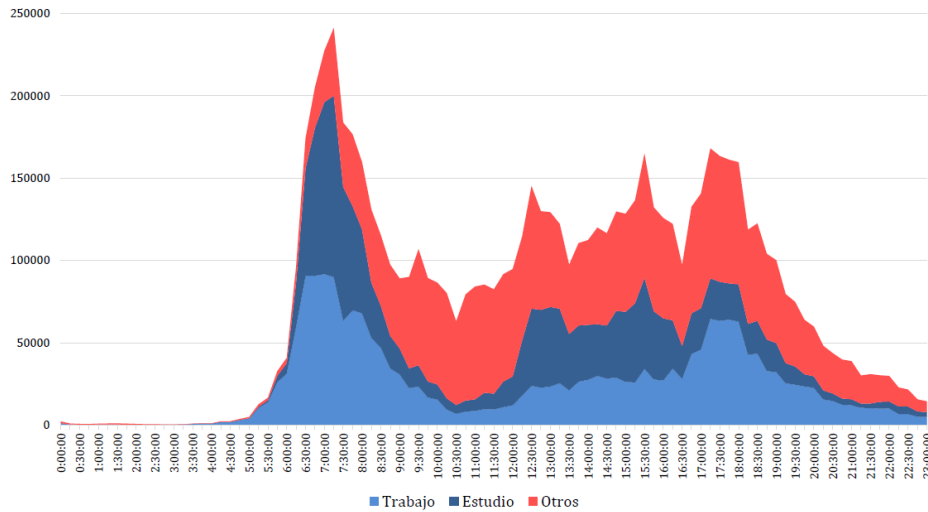


Figura 3.4: Histograma de viajes por propósito en día laboral.

Fuente: Encuesta Origen-Destino (2017).

Por otra parte, hay que hacer la salvedad que esta encuesta considera también los desplazamientos a pie o en bicicleta, los cuales no son parte de este estudio. Por lo que, al filtrar estos datos se obtiene lo detallado en la Figura 3.5.

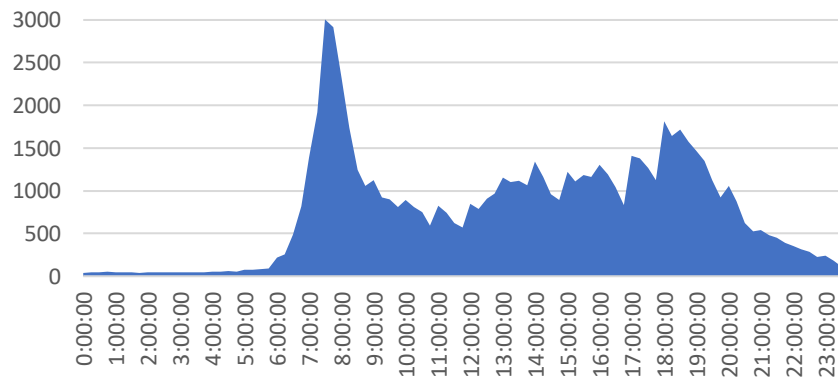


Figura 3.5: Histograma de pasajeros en un día laboral luego del filtro.

Fuente: Elaboración propia en base a la EOD.

Nota: Los datos no están ajustados por población.

Donde podemos apreciar que siguen apareciendo dos periodos en particular que concentran más población, el primer comprendido entre las 7:00 y 8:30, mientras que el segundo es entre las 17:00 y las 19:30. Por lo tanto, se descarta el periodo sugerido como peak por la EOD entre las 12:00 y las 13:45. Esto porque, en caso de una posible implementación, tener tres periodos peak en el día crearía seis subperiodos, por lo que sería muy confuso para los pasajeros. Ahora bien, para la implementación del modelo como se mencionó anteriormente, es fundamental que los datos sean los más cercanos a la realidad, es por esto que los datos de usuarios por hora se usa la EDD. Esta entrega de forma detallada y con más exactitud la cantidad de usuarios del transporte, los cuales los define por horario, es por esto, que por comodidad se usan horarios en punto para la definición de horarios peak, así que se aproximan los horarios a la siguiente hora en ambos casos. Es importante mencionar que el horario comprendido entre las 00:00 a las 5:00 no se definen dentro del horario, puesto que en ese horario no se realizan viajes de TP. La Tabla 3.5 sintetiza los horarios Peak y No Peak.

Tabla 3.5: Definición de horarios peak y no peak.

Período	Horario
Punta Mañana	07:00 - 09:00
Punta Tarde	17:00 - 20:00
Fuera de Punta	05:00 - 7:00
	9:00 - 17:00
	20:00 - 00:00

Fuente: Elaboración propia en base a la EOD (2017).

Ahora bien, se deben caracterizar los usuarios, ya que según la normativa actual existen cobros reducidos a estudiantes y adultos mayores, estos datos se obtienen de la EDD. Donde se detalla el porcentaje de usuarios en día laboral, se presenta en la Figura 3.6 y Tabla 3.6.

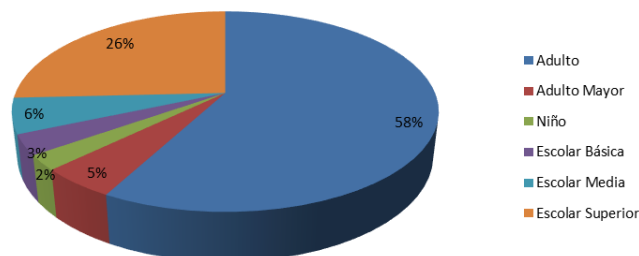


Figura 3.6: Porcentaje de usuarios para un día laboral.

Fuente: EDD (2015).

Tabla 3.6: Porcentaje de usuarios del TP del Gran Concepción

Tipo de usuario	Porcentaje del total de viajes	Porcentaje de pago
Adulto	58%	100%
Adulto Mayor	5%	50%
Estudiantes Superior y Media	32%	33%
Estudiantes Básica y Niños	5%	0%

Fuente: Elaboración propia en base a EDD (2015)

El resto de los parámetros a usar con su correspondiente origen se detallan en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7: Parámetros a usar para el modelo.

Parámetro	Valores	Fuente	Año del dato
Coste operativo autos (P_{tc})	\$1.600 y \$2.000	Estimación propia	2023
Coste diario de explotación del sistema de autobuses (CO)	\$260.000.000*	Estimación en base de EDT	2019****
Cantidad de usuarios según horario	255.000 para el horario peak y 340.000 para el horario valle	EDD**	2015
Viajes de auto por periodo (Y_{tc})	176.051 para el horario peak y 470.451 para el horario valle	EOD***	2015
Margen Operativo (MO)	\$19.084.977*	Estimación propia en base a EDT	2019****
Subvención del sistema diaria (SUB)	\$80.942.003*	Estimación propia en base a DTPR y EDT	2019****

Fuente: Elaboración propia.

Notas: *Se consideran costos diarios. **Originalmente estos valores eran 300.000 y 400.000 pero se le aplico un aumento de un 2,4% en base a la proyección de aumento de población del Censo. Además, se le aplica una penalización del 15%, puesto que según TVU (2022) hubo un aumento de 15% de tránsito vehicular. ***Se aplica aumento por proyección de población del 2,4% y un aumento del 15% por aumento de tránsito vehicular. **** Los valores fueron actualizados por inflación a pesos del 2023.

3.5. Escenarios

Se generan varios escenarios con distintas variaciones para determinar la importancia de cada uno de los parámetros incluidos en el sistema.

- Escenario 1: Este escenario cuenta con tarifa fija, es decir, que la tarifa sea igual en ambos periodos, además, no tiene subvención estatal y tiene margen operativo. Es decir, matemáticamente se impone las siguientes restricciones:

$$P_{pb} = P_{vb} \quad (3.5)$$

$$SUB = 0 \quad (3.6)$$

Donde:

- P_{pb} es la tarifa de bus en horario peak.
- P_{vb} es la tarifa de bus en horario valle.
- Escenario 2: Este escenario cuenta con tarifa fija, si tiene subvención estatal y tiene margen operativo. Es decir, matemáticamente se impondrá la misma restricción del escenario 1, es decir la ecuación (3.5).
- Escenario 3: Este escenario cuenta con tarifa por periodo, si tiene subvención estatal y tiene margen operativo. En este caso, se plantea una tarifa valle y una tarifa peak, por lo tanto tiene una restricción asociada.

$$P_{pb} \geq P_{vb} \quad (3.7)$$

- Escenario 4: En este escenario hay dos restricciones, la primera es la misma restricción de horarios peak y valle, Mientras que la segunda busca que la diferencia entre la tarifa peak y la tarifa valle este acotada a una diferencia porcentual, se evalúa este escenario con diferencias entre el 1% al 25%, la cual se denominara *dif*.

$$P_{pb} \geq P_{vb}$$

$$P_{pb} * dif \leq P_{vb}$$

3.6. Implementación

El modelo es implementado y resuelto mediante programación con Python 3, usando la biblioteca Docplex (2.25.236) y Cplex (22.1.1.1). El código con el cual se resolvió el problema se detalla en la Figura 3.7.

```
1 from docplex.mp.model import Model
2 import docplex.mp.solution as Solucion
3 import math
4 T = 2; #Periodos
5 Viajes2015 = [257929,442660];
6 Proyeccion=[Viajes2015[0]*1.024,Viajes2015[1]*1.024] #Proyeccion de aumento de poblacion
7 Aumento=[Proyeccion[0]*0.85,Proyeccion[1]*0.85] #-15% por aumento de autos
8 Yb=[Aumento[0]*0.58,Aumento[0]*0.05,Aumento[0]*0.32] #Viajes horario valle por tipo de pasajero
9 Yp=[Aumento[1]*0.58,Aumento[1]*0.05,Aumento[1]*0.32] #Viajes horario peak por tipo de pasajero
10 Ytc = [149500*1.15,399500*1.15]; #Autos por periodo
11 CosteOperativo = [200,250]; #Coste operativo por km de auto por periodo
12 Ptc= [CosteOperativo[0]*8,CosteOperativo[1]*8]
13 CO=260000272
14 SUB=80942003
15 Ren=19000000

1 mdl = Model('Modelo de optimización2');
2 #Variable
3 Pp =mdl.continuous_var(name='Pp',lb=0) #Tarifa de buses
4 Pb=mdl.continuous_var(name='Pb',lb=0) #Tarifa de buses
5 #Restricciones
6 mdl.add_constraint((Pp*(Yp[0]+Yp[1]*0.5+Yp[2]*0.333)+Pb*(Yb[0]+Yb[1]*0.5+Yb[2]*0.333))*0.8>=(CO-SUB+Ren))
7 mdl.add_constraint(Pp==Pb)
8 obj=(Pp*(Yp[0]+Yp[1]*0.5+Yp[2]*0.333)+Pb*(Yb[0]+Yb[1]*0.5+Yb[2]*0.333))+CO+Ptc[0]*Ytc[0]+Ptc[1]*Ytc[1]
9 mdl.set_objective("min",obj)
10 mdl.solve()
11 mdl.print_solution()
```

Figura 3.7: Código para resolver cada escenario.

Fuente: Elaboración propia.

3.7. Subvenciones al sistema de transporte

Las subvenciones al sistema público vienen divididas de forma regional, y como se señaló anteriormente, se dividen tanto en asignaciones MTT como en asignaciones al FAR, por lo tanto se analizan por separado debido a sus características.

3.7.1. Fondos del MTT.

Se analizarán la entrega de fondos desde el año 2018 al 2022, puesto que estos son los años donde se detallan los fondos en la página web de la DTPR (2023). Los fondos por cada año del periodo mencionado se detallan en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8: Asignaciones según año y programa en la Región del Bio-Bio

Programas	2018	2019	2020	2021	2022
Conectividad rural y zonas aisladas	\$4.519.875	\$5.080.060	\$4.000.812	\$4.296.745	\$2.696.639
Transporte en Zonas No Reguladas + TNE Extendido	\$6.250.767	\$5.860.733	\$5.651.798	\$5.639.564	\$7.355.685
Transporte Escolar	\$2.123.615	\$1.119.551	\$3.547.088	\$712.024	\$772.276
Transporte en Zonas Reguladas + TNE	\$16.719.348	\$18.198.283	\$24.318.858	\$35.820.570	\$26.446.589
TNE extendida	\$3.661.393	\$1.462.194	-	-	\$1.361.157
TNE ZR	-	\$258.000	-	-	-
Rebaja Adulto Mayor	-	-	-	-	\$2.016.138
Otros	\$36.991	\$2.301.711	-	\$94.800	-
Total Gran Concepción	\$20.380.740	\$21.962.188	\$24.318.858	\$35.581.860	\$29.139.121
Total	\$33.311.987	\$34.022.534	\$37.518.556	\$46.563.703	\$40.648.481

Fuente: Elaboración propia en base a la información de la DTFR.

Nota: Montos en M\$ del 2023.

Los datos de 2023 no se consideran debido a que solo se cuenta con los datos de los dos primeros trimestres. Es importante mencionar que solo estos dos periodos suman un total de M\$30.722.042. Esto significa un aumento muy importante de los fondos ya que representa el 80,87% de lo asignado en el año 2022, pero habrá que ver que ocurre en los 2 trimestres restantes para poder sacar conclusiones más precisas.

La distribución de los fondos es mayoritariamente para comunas del GC ya que en todos los años cuenta con alrededor de un tercio de los fondos anuales, los cuales principalmente se gastan en la subvención del TP.

En cuanto a las variaciones que se han presentado en el periodo, es posible apreciar un aumento sustancial en los últimos años. Para el GC entre 2018 y 2020 se registraron aumentos anuales de un 7,7% y 10,7%, respectivamente. Mientras que entre el año 2020 al 2021 se registró un aumento sustancial con respecto a los años anteriores, llegando 46%, mientras que para el año 2022 se registró una baja de aproximadamente un 18% con respecto al año anterior. Si bien los datos son dispares, en promedio en este periodo se registró un aumento del 18%. Gráficamente es posible apreciar el incremento en la Figura 3.8.

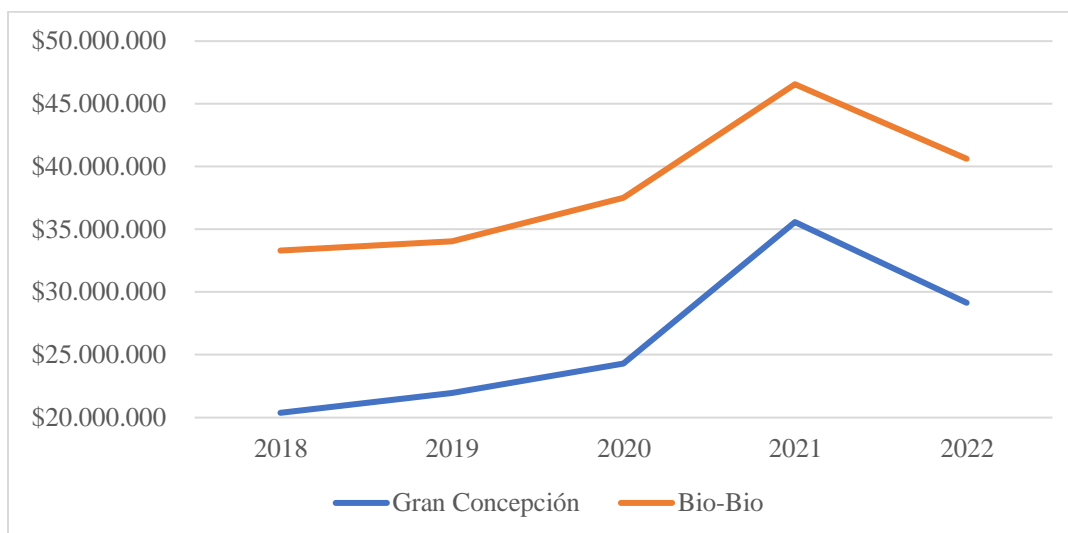


Figura 3.8: Asignación al MTT por año para le región del Biobío

Fuente: Elaboración propia en base a la información del DTPR.

Nota: Montos en M\$ del 2023.

3.7.2. Fondos del FAR

Los fondos del FAR se reportan anualmente en la ley de presupuestos y son distribuidos por el Gobierno regional (GORE) para diversos proyectos, en el marco de la inversión regional. Es importante dimensionar que porcentaje de la inversión regional corresponde a los fondos del FAR, lo cual se detalla en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9: Porcentaje de los fondos asignados al FAR a la Región del Bio-Bio vs Porcentaje a nivel nacional.

Año	%FAR Bio-Bio	% FAR Nacional
2022	49,36%	39,63%
2021	52,93%	48,19%
2020	33,64%	36,12%
2019	21,10%	29,63%
2018	28,36%	29,37%

Fuente: Elaboración propia en base a la información de la Ley de presupuesto de cada año.

En cuanto a los fondos asignados anualmente se detallan en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10: Monto anual asignado al FAR vs Monto asignado a la Inversión Regional

Año	FAR	Total
2022	\$49.701.841	\$100.700.368
2021	\$52.033.516	\$98.312.402
2020	\$34.659.840	\$ 108.190.121
2019	\$26.093.883	\$123.677.112
2018	\$40.770.150	\$143.777.920
Total	\$227.857.868	\$678.730.186

Fuente: Elaboración propia en base a la información de la ley de presupuesto de cada año

Nota: Montos en M\$ del 2023.

En cuanto al gasto de estos dineros, se debe analizar los proyectos realizados. Debido a esto se analiza que tan ligados al transporte están siendo asignados los dineros entregados al FAR. Debido a que como se señaló anteriormente, estos proyectos deberían estar relacionados al transporte, pero debido a que la ley deja la posibilidad de gastar en iniciativas de desarrollo regional, las cuales podrían no estar del todo relacionados al transporte. La forma en que se analiza el uso de los fondos consta en identificar los proyectos realizados que sean directamente relacionados al transporte, mediante el uso del Banco Integrado de Proyectos, al que llamamos BIP.

El BIP es un sistema de Información administrado por el Ministerio de Desarrollo Social, que contiene las iniciativas de inversión que postulan a financiamiento del Estado. Es decir todas las iniciativas que se pretenden realizar, en teoría, se deberían ingresar a esta plataforma, la cual permite descargar el detalle de los proyectos realizados. Se filtró por año, comuna y sector del proyecto, en este caso se analiza el periodo de 2018 al 2023 para las comunas del GC que sean parte del sector del transporte. Estos proyectos se dividieron en cuatro tipos de proyectos: administración de transporte, transporte camionero, transporte ferroviario y por último, transporte urbano y vialidad.

El detalle de los gastos en proyectos en la región durante el periodo se resume en la Tabla 3.11. Donde es posible apreciar que el gasto es mucho mayor a lo asignado al FAR o al total iniciativas de desarrollo regional esto podría deberse a que iniciativas se financian con otros asignaciones.

Tabla 3.11: Gastos en proyectos de transporte en la región del Bio-Bio.

Año postulación	Tipo proyecto	Total
2018	Administración transporte	\$ 3.575.207
	Transporte caminero	\$ 155.526.087
	Transporte ferroviario	\$ 27.699.711
	Transporte urbano, vialidad peatonal	\$ 75.152.605
Total 2018		\$ 261.953.610
2019	Administración transporte	\$ 4.588.896
	Transporte caminero	\$ 131.279.060
	Transporte ferroviario	\$ 39.482.794
	Transporte urbano, vialidad peatonal	\$ 70.592.018
Total 2019		\$ 245.942.768
2020	Transporte caminero	\$ 167.974.612
	Transporte ferroviario	\$ 40.389.881
	Transporte urbano, vialidad peatonal	\$ 59.275.666
Total 2020		\$ 267.640.159
2021	Administración transporte	\$ 4.970.966
	Transporte caminero	\$ 158.454.683
	Transporte ferroviario	\$ 68.454.258
	Transporte urbano, vialidad peatonal	\$ 95.224.937
Total 2021		\$ 327.104.844
2022	Administración transporte	\$ 747.586
	Transporte caminero	\$ 206.436.360
	Transporte ferroviario	\$ 70.406.994
	Transporte urbano, vialidad peatonal	\$ 98.286.219
Total 2022		\$ 375.877.159
2023	Administración transporte	\$ 748.348
	Transporte caminero	\$ 309.223.376
	Transporte ferroviario	\$ 66.273.394
	Transporte urbano, vialidad peatonal	\$ 122.448.889
Total 2023		\$ 498.694.007
Total general		\$ 1.977.212.547

Fuente: Elaboración propia en base a información del BIP.

Nota: Montos en miles de pesos.

Si nos centramos en los proyectos de transporte urbano y vialidad el monto llega a los M\$520.980.334. Lo que sigue siendo bastante mayor a lo asignado al FAR, esto se puede deber a que los proyectos no sean todos financiados por este medio. Para solucionar este problema e identificar los proyectos financiados efectivamente con el FAR, se solicita al GORE del Biobío mediante ley de transparencia, información del gasto de estos dineros (GORE, 2022). La

información se resume en la Tabla 3.12. Un hecho importante a destacar es que los dineros asignados durante el periodo son invertidos mucho más en comunas externas al GC.

Tabla 3.12: Montos FAR asignados al Gran Concepción vs Resto de la región

Año	Monto Total	Gran Concepción	Resto de la región
2018	\$ 30.633.888	\$ 10.103.251	\$ 20.530.637
2019	\$ 20.786.583	\$ 7.821.454	\$ 12.965.128
2020	\$ 28.883.200	\$ 11.081.090	\$ 17.802.110
2021	\$ 43.366.992	\$ 15.264.229	\$ 28.102.763
2022	\$ 46.536.544	\$ 21.089.446	\$ 25.447.098
Total	\$170.207.206	\$ 65.359.470	\$104.847.736

Fuente: Elaboración propia en base a información del GORE.

Nota: Montos en miles de pesos.

En cuanto a los dineros que fueron efectivamente invertidos en proyectos de transporte, ya sea mejoramientos, construcción y/o mantención de calles e infraestructura, se resumen en la Tabla 3.13 para el GC y Tabla 3.14 para proyectos del resto de la región.

Tabla 3.13: Inversión en transporte por proyectos FAR en el GC

Año	Gran Concepción	Transporte	Otros
2018	\$ 10.103.251	\$ 7.635.844	\$ 2.467.406
2019	\$ 7.821.454	\$ 7.821.454	-
2020	\$ 11.081.090	\$ 9.346.805	\$ 1.734.285
2021	\$ 15.264.229	\$ 5.370.727	\$ 9.893.502
2022	\$ 21.089.446	\$ 12.847.869	\$ 8.241.577
Total	\$65.359.470	\$43.022.700	\$22.336.770

Fuente: Elaboración propia en base a información del GORE

Nota: Montos en miles de pesos.

Tabla 3.14: Inversión en transporte por proyectos FAR en el resto de la región

Año	Resto de la región	Transporte	Otros
2018	\$ 20.530.637	\$ 13.900.333	\$ 6.630.304
2019	\$ 12.965.128	\$ 10.605.169	\$ 2.359.960
2020	\$ 17.802.110	\$ 9.413.036	\$ 8.389.074
2021	\$ 28.102.763	\$ 8.502.993	\$ 19.599.770
2022	\$ 25.447.098	\$ 3.832.162	\$ 21.614.936
Total	\$104.847.736	\$46.253.692	\$58.594.044

Fuente: Elaboración propia en base a información del GORE

Nota: Montos en miles de pesos.

Es posible ver que en el GC hay un gasto mayoritario de proyectos de transporte, de más de dos tercios. Caso contrario al resto de la región, donde más de la mitad de los gastos corresponden a otro tipo de proyectos, los cuales se dividen principalmente en proyectos sociales o de salud.

A pesar de que se puede ver que gran parte de los montos a nivel regional no son usados para transporte, esto no sugiere que se perjudique el sistema de transporte, puesto que se realizan otros proyectos relacionados al transporte con otras fuentes de financiamiento.

4. Resultados

Una vez el modelo ha sido definido con sus correspondientes escenarios y el posterior análisis de las asignaciones al TP del GC, tanto al MTT como por medio del FAR, es posible abordar los resultados de esta investigación.

4.1. Resolución del modelo

Se resolvió cada uno de los escenarios planteados, con los parámetros y restricciones anteriormente descritos, los resultados de los escenarios 1 al 3 se detallan en la Tabla 4.1. En cuanto al escenario 4, los resultados se detallan en la Figura 4.1.

Tabla 4.1: Resultados de cada escenario 1 al 3

Variable o Parámetro	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
P_{pb}	\$803,75	\$570,57	\$903,030
P_{vb}	\$803,75	\$570,57	\$0
SUB	\$0	\$80.942.003	\$80.942.003
CT	\$1.802.680.612	\$1.701.503.108	\$1.701.503.108

Fuente: Elaboración propia.

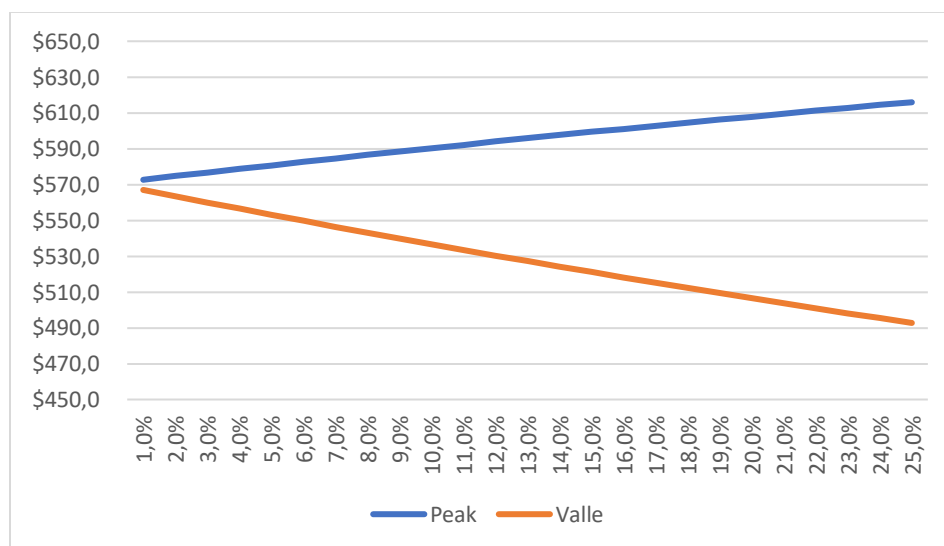


Figura 4.1: Resultados escenario 4.

Fuente: Elaboración propia

Es posible observar que en los tres primeros escenarios, ninguno de estos tiene tarifas inferiores a las actuales (\$530). Lo que indica que al menos la situación actual del sistema no es sostenible económicamente al menos con las condiciones actuales del sistema. Por ello, un aumento de la tarifa es necesario o bien, un aumento a las subvenciones al sistema.

Es posible apreciar en el escenario 3 que al tratarse de un problema lineal la solución simplemente entrega una tarifa máxima en horario peak pero una tarifa \$0 en horario valle. Debido a esto se planteó el escenario 4, donde se definió cuál es la diferencia tarifaria óptima, ahora bien, la diferencia que existe entre ambos periodos no puede ser definida empíricamente, aunque diversos trabajos la han estudiado (Hickey, 2005; Wen et. al. 2010). Estos señalan que no hay una respuesta definitiva, dado que modificaciones en la tarifa podrían tener modificaciones en los horarios de viajes de algunos usuarios, es decir se modificaría la demanda horaria. Por tanto, para este caso se considerará un sistema de referencia, en este caso, el sistema de transporte del Gran Santiago, que define una diferencia tarifaria de 10% del horario peak con respecto al horario valle.

En términos monetarios, lo señalado anteriormente indicaría que es necesario un aumento de tarifa al menos a \$570 en caso de mantener solo un horario y las mismas asignaciones, o bien un aumento parcial de ambos. Por otra parte, si se consideran horarios peak y valle y no se aumentan las subvenciones las tarifas serían de \$590,3 para el horario peak y \$536.7 para el horario valle, que para efectos prácticos se aproximara a \$590 y \$540, respectivamente. Además una solución con un punto medio entre ambas situaciones podría ser un aumento tanto de las tarifas como un aumento de las asignaciones, llegando a una tarifa de \$550 para un horario único y \$570 y \$520 para los horarios peak y valle. Esto implicaría un aumento de las subvenciones actuales al MTT que se detallaran en la sección 4.2.

4.2. Aumento o disminución de asignaciones

Como se acaba de señalar, un aumento de tarifa acompañado de un aumento en las asignaciones podría ser una estrategia que permita equilibrar el sistema donde tanto el MTT como los usuarios se harían cargo de esta diferencia actual que tiene el sistema. Para el caso denominado como punto

medio se deberían aumentar en aproximadamente \$3.801.272.920, pero como se señaló anteriormente, este monto variaría en base los cambios que se planteen realmente en la tarifa.

En cuanto a las asignaciones del FAR, si bien se señaló que una parte importante total de los proyectos no se relacionan al transporte. También, se pudo ver que existen muchos proyectos financiados por otros medios, un resumen de lo asignado por año a proyectos de transporte vs los que en realidad se financiaron con el FAR se detalla en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2: Resumen de gasto en proyectos de transporte con respecto a asignaciones del FAR

Año	Gasto en Proyectos	Fondos FAR
2018	\$ 261.953.610	\$30.654.248
2019	\$ 245.942.768	\$20.227.816
2020	\$ 267.640.159	\$28.883.200
2021	\$ 327.104.844	\$43.361.263
2022	\$ 375.877.159	\$46.450.319
Total	\$ 1.478.518.540	\$169.576.846

Fuente: Elaboración propia en base a información del BIP y del GORE.

Los montos asignados a transporte en general son mucho mayores a los del FAR, esto se puede deber a que proyectos de TP y vialidad son más a lo que se apunte con el FAR, el resumen de este contraste se presenta en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3: Resumen de gastos en proyectos de transporte con respecto a asignaciones del FAR

Año	Gasto en Proyectos de vialidad	Fondos FAR
2018	\$ 75.152.605	\$ 30.654.248
2019	\$ 70.592.018	\$ 20.227.816
2020	\$ 59.275.666	\$ 28.883.200
2021	\$ 95.224.937	\$ 43.361.263
2022	\$ 98.286.219	\$ 46.450.319
Total	\$398.531.445	\$ 169.576.846

Fuente: Elaboración propia en base a información del BIP y del GORE.

Aun con esta consideración, las asignaciones a proyectos de vialidad son mucho mayores a los asignados al FAR. Debido a todo, lo mencionado anteriormente se concluye que un aumento en las asignaciones del FAR con las características actuales que posee no traería un impacto importante a la región, puesto que ya se invierte al transporte con otras asignaciones, pero no hay muchos proyectos que ayuden a mejorar el TP en sí.

Los montos que son utilizados en otros proyectos son una parte importante de la inversión regional y una disminución afectaría otros aspectos de la sociedad de principalmente comunas rurales que usan estos fondos para proyectos sociales, mejoramiento de centros comunitarios o de salud. Por tanto se recomienda crear otro tipo de asignaciones para estos efectos o bien, asignarlas a un fondo ya existente como el FNDR u otro.

En cuanto a los fondos del FAR que resten de esta división, no se debieran reducir, incluso se deberían aumentar para desarrollar más infraestructura de transporte o mejoras a los buses que ya se encuentran operando o bien tecnologías como pago electrónico o implementación de buses eléctricos, entre otras. Estas posibles iniciativas serian fundamentales para modernizar el transporte, ya que actualmente los dineros se destinan principalmente a gastos de mantención o construcción de nuevas calles.

Pero para que lo anteriormente descrito resulte eficiente debería legislarse cambios al FAR de manera de acotar los posibles gastos exclusivamente a transporte. El resumen de lo anteriormente planteado se detalla en la Figura 4.2.

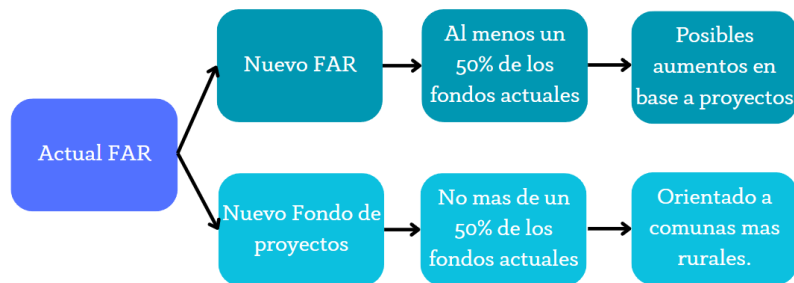


Figura 4.2: Propuesta de cambio para el fondos del FAR.

Fuente: Elaboración propia

Un aspecto que destacar es que el estudio de demanda no cuenta con el efecto post pandemia, ya que es previo al 2020. Por tanto, esto podría afectar en cierto punto la representatividad del sistema, ya que tanto el total de viajes diarios como también la proporción de viajes por hora, pudo haberse modificado. Además, los costos del sistema de autobuses pueden haber fluctuado, ya que, se redujo la cantidad de buses en circulación, pero la cantidad de viajes, a priori no se ha modificado en gran medida, por lo que los buses podrían estar realizando más viajes diarios. Pero como se mencionó, al no existir datos más actuales del sistema se asumirán que siguen representando al sistema.

5. Conclusiones

La definición de una tarifa óptima es un problema complejo, ya que, si bien existen múltiples maneras de definirlo, cada sistema podría verse beneficiado por una u otra manera de definirlo, debido a que muchas variables se deben tener en consideración. En el caso particular de estudio, se identifica que la situación actual del sistema no cuenta con un polinomio que realmente represente bien al sistema.

En cuanto a la tarifa también se probó que no es la óptima para el estado actual. Por tanto, se generaron varias propuestas de mejora o posibles soluciones. El detalle de estas propuestas más el sistema actual (incluyendo las tarifas rebajadas) se detalla en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1: Posibles soluciones de tarifa óptima y aumentos de asignaciones al MTT.

Tipo de tarifa	Situación actual	Tarifa óptima sin subvenciones	Óptimo actual en horario único	Óptimo solo aumentando subvenciones	Óptimo con horarios peak y valle		Óptimo con punto medio	
					Peak	Valle	Peak	Valle
Tarifa adulto	\$530	\$800	\$570	\$530	\$590	\$540	\$570	\$520
Tarifa adulto mayor	\$260	\$400	\$290	\$260	\$300	\$270	\$290	\$260
Tarifa escolar	\$170	\$270	\$190	\$170	\$200	\$180	\$190	\$170
Aumento de subvenciones	-	-100%	-	22,73%	-		13,64%	

Fuente: Elaboración propia

Donde cualquiera de las soluciones (a excepción de la eliminación del subsidio) podrían ser viables económicamente para una implementación en el caso de estudio. Pero se sugiere la opción de punto medio, puesto que la tarifa ha estado congelada durante mucho tiempo, por lo que un cambio muy brusco podría repercutir en una disconformidad de los usuarios. A pesar, estos aumentos son necesarios para que las subvenciones estatales no sigan aumentando año tras año y de esta forma destinar estos dineros a proyectos que mejoren el transporte. Un apoyo importante para la implementación sería el pago electrónico, que es beneficioso tanto para el usuario como para el conductor. Se requeriría la incorporación en todos los buses y además definir quién será el encargado de administrar y efectuar el pago a los operadores (Hurtado, 2022).

En cuanto a los dineros otorgados al FAR, se comprobó que realmente existe una parte importante de los fondos que terminan siendo invertidas a otras iniciativas, lo que de cierta manera desvirtúa su origen, ya que el fondo fue creado para completar las asignaciones al TP.

Una legislación es necesaria para mejorar la situación actual, ya que con la legislación vigente estos fondos podrían seguirse usando en otras iniciativas ya que la ley así lo permite. Una vez se realicen estas reformas podría avanzarse hacia mejoras al TP, tanto en comunas del GC como comunas externas.

5.1. Futuras líneas de investigación

Existen varias líneas de investigación con respecto a lo ya planteado en esta memoria de título, fundamentalmente se identificaron tres, pudiendo existir muchas más.

- Sistema integrado de transporte, con los servicios operados por EFE, ya sea el Biobus o Biotren, tal como el sistema de transporte del Gran Santiago.
- Pago electrónico, lo cual incluye inversiones para puntos de recarga, mantención y creación de los servidores, modernización de los buses para el pago con tarjeta. Esta incorporación ayudaría a manejar de mejor manera el cobro por horarios peak o valle.
- Inclusión de costos sociales asociados a la operación del sistema o externalidades que pudieran influir específicamente a los operadores y por ende, a los usuarios.

6. Glosario.

DTPR: Dirección de Transporte Público Regional. Planifica y supervisa los sistemas de transporte público en las distintas regiones de Chile.

EDD: Encuesta de demanda de transporte para el Gran Concepción realizada el año 2015.

EDT: Estudio de tarifas realizado por la DTPR en el año 2019.

EOD: Encuesta Origen-Destino. Estudio realizado en 2015 que buscaba analizar la movilidad de los habitantes de la región del Bio-Bio.

GC: Gran Concepción (Excluyendo a Tome, Lota y Coronel).

GORE: Gobierno Regional.

ICT: Índice de costo de transporte.

INVA: Índice de costo de reposición del Bus.

FNDR: Fondo Nacional de Desarrollo Regional. Es uno de los dos fondos más importantes de inversión regional en Chile y es distribuido por los diversos GORE.

FAR: Fondo de Apoyo Regional. Es uno de los dos fondos más importantes de inversión regional en Chile y es distribuido por los diversos GORE.

MTT: Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones de Chile, es el encargado de supervisar y regular el transporte y telecomunicaciones a nivel nacional.

TP: Transporte Público.

7. Referencias

- Baldwin D. (2017) Decrypting fare-free public transport in Tallinn, Estonia. Case Studies on Transport Policy, Volume 5, Issue 4, 2017, Pages 690-698.
<https://doi.org/10.1016/j.cstp.2017.10.002>
- Basnak P & Giesen R. (2023) Assessing free-fare public transport in Chilean cities through optimization models. Research in Transportation Economics, Volume 98.
<https://doi.org/10.1016/j.retrec.2023.101277>
- Basso L. & Silva (2014) Efficiency and Substitutability of Transit Subsidies and Other Urban Transport Policies. American Economic Journal: Economic Policy, vol. 6, no. 4, 2014, pp. 1–33. <https://www.jstor.org/stable/43189403>
- Borndörfer R. & Karbstein M & Pfetsch M. (2012) Models for fare planning in public transport. Discrete Applied Mathematics, Volume 160, Issue 18.
<https://doi.org/10.1016/j.dam.2012.02.027>
- Castro, M. (2023). Transporte público de Concepción ya cuenta con nuevo perímetro de exclusión: Autoridad confirma mejoras al sistema. Sabes.cl.
<https://sabes.cl/2023/05/05/transporte-publico-de-concepcion-ya-cuenta-con-nuevo-perimetro-de-exclusion-autoridad-confirma-mejoras-al-sistema/>
- Chilecompra (2023) Tipos de Licitación. Chilecompra. <https://www.chilecompra.cl/licitacion-proveedor/>
- CChC. (2019). Hogares del Gran Santiago gastan, en promedio, \$155.000 mensuales en movilizarse al trabajo. Cámara Chilena de la Construcción.
<https://cchc.cl/comunicaciones/noticias/hogares-del-gran-santiago-gastan-en-promedio-155.000-mensuales-en-movilizar>
- DTPR. (2011). División de Transporte Público Regional. <http://www.dtpr.gob.cl/ley-20-378-y-marco-legal>
- DTPR. (2019). Resoluciones Generales Sistema Transporte Público Valparaíso.
https://www.dtpr.cl/pe/valparaiso/resoluciones_generales

- DTPR (2019b) Estudio de costos y polinomio de reajustabilidad tarifaria de operadores de transporte público mayor con base en la ciudad de Concepción urbano y las zonas rurales de Lota-Concepción y Tomé-Concepción.
- DTPR. (2020). Resoluciones Generales Valdivia.
<https://www.dtp.cl/pe/valdivia/resolucionesgenerales>
- DTPR. (2021). Aprueba Condiciones de Operación, requisitos y otras exigencias que expone de Perímetro de Exclusión de la Ley N° 18.696, establecido en las comunas del Gran Concepción: Penco, Concepción, Chiguayante, Hualqui, Hualpén, San Pedro de la paz y Talcahuano, Región del Biobío. Solicitado mediante Ley de Transparencia
- DTPR. (2021b). Resoluciones Generales Tomé.
<https://www.dtp.cl/pe/tome/resolucionesgenerales>
- DTPR. (2023). Página Web Dirección de Transporte Publico Regional.
<https://www.dtp.cl/am/2023/inicio>
- Figueroa, O. (1990). Diagnóstico del sector transporte colectivo en Santiago de Chile: los efectos de la desreglamentación.
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/29623/S9060822_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Espacio Público (2018). Informe de políticas públicas: Desarrollo del transporte en regiones: Radiografía del uso de fondos espejo y propuestas. https://espaciopublico.cl/wp-content/uploads/2021/05/IPP-Transporte-Regional_-julio.pdf
- GORE (2022) Gastos en proyectos efectuados por el FAR. Solicitado mediante ley de transparencia.
- Hickey, R. L. (2005) Impact of transit fare increase on ridership and revenue. Metropolitan Transportation Authority, New York City. Transportation Research Record, 1927(1), pp. 239–248. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0361198105192700127>

- Hurtado C. (2022) Identificación de brechas del transporte público regulado en el Gran Concepción para propuestas de mejora. <https://sites.google.com/view/resultados-mt>
- INE (2017) XIX Censo Nacional de Población y VIII de Vivienda. Instituto Nacional de Estadística. <http://www.censo2017.cl>
- Kohani M. (2013). Designing of Zone Tariff in Integrated Transport Systems. Communications - Scientific letters of the University of Zilina. 15. 29-33.
https://www.researchgate.net/publication/291155574_Designing_of_Zone_Tariff_in_Integrated_Transport_Systems
- MSTD Ingeniería (2015) Gran Concepción, Mediciones de Demanda de Pasajeros en Servicios de Buses y Taxi buses Urbanos.
- MTT. (1999). Resolución 1803 Exenta (20-oct-1999) M. de Transportes y Telecomunicaciones; Subsecretaría de Transportes | Ley Chile. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Biblioteca del Congreso Nacional. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=147265>
- MTT. (2001). Inician proceso de licitación de vías en Concepción. Recuperado de https://www.cec.uchile.cl/~tranvivo/tranvia/tv14/conce_tv14_10.htm
- MTT. (2005). Resolución 2246 Exenta (17-oct-2005) M. de Transportes y Telecomunicaciones; Subsecretaría de Transportes | Ley Chile. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=242851&idVersion=2020-06-06&idParte=7323949>
- MTT. (2007). Ley 20.206 | Ley Chile. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=262431&idParte=0>
- MTT. (2009). Decreto 140. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1011591>
- MTT. (2009b). Ley 20.378 | Ley Chile. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=30078>

- MTT. (2019). Modifica disposiciones sobre subsidio nacional al transporte público remunerado de pasajeros.
<https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmID=12417&prmTIPO=INICIATIVA>
- MTT. (2019b). Decreto 16. <https://bcn.cl/3d2xv>
- Sanhueza R. & Castro R. (1999). Licitación del transporte público de Santiago.
<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/146039/Licitacion-del-transporte.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sectra. (2017). Plan de Movilidad Gran Concepción 2050.
https://movilidadgranconce2050.cl/file/11_Viajes_GC.pdf
- Sectra. (2017). Encuesta Origen Destino 2015-2016.
https://drive.google.com/drive/folders/1VDAXzceFaIx0uzyKp0wE8HH-_tEzkmQj
- Šipuš, D & Abramović, B. (2018). Tariffing in Integrated Passenger Transport Systems: A Literature Review. PROMET – Traffic & Transportation. 30. Pp. 745-751.
<https://doi.org/10.7307/ptt.v30i6.2948>
- Statista. (2022) Transporte público: tasa de penetración 2017-2026.
<https://es.statista.com/estadisticas/1012265/tasa-de-penetracion-del-transporte-publico-en-el-mundo/>
- TVU (2022) Tránsito vehicular del Gran Concepción aumentó un 15% más de lo normal en dos años. <https://www.tvu.cl/la-comunidad-del-contenido/2022/03/15/transito-vehicular-del-gran-concepcion-aumento-un-15-mas-de-lo-normal-en-dos-anos.html>
- Wen C. & Lan L. & Lee H. (2010) Effects of Temporally Differential Fares on Taipei Metro RIDERS' Mode and Time-of-day Choices. International Journal of Transport Economics, Vol. 37, No. 1, pp. 97–118.
https://www.researchgate.net/publication/266141225_Effects_of_Temporally_Differential_Fares_on_Taipei_Metro_Travelers%27_Mode_and_Time-of-day_Choices

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCION – FACULTAD DE INGENIERIA
RESUMEN DE MEMORIA DE TITULO**

Departamento de Ingeniería		Ingeniería Industrial	
Título		Análisis de subsidios y propuesta de tarifa optima para el transporte publico en el caso del Gran Concepción	
Nombre Memorista		Samuel Ignacio Soto Contreras	
Modalidad	Investigación	Profesor(es) Patrocinante	
Concepto		Sebastián Astroza Tagle	
Calificación			
Fecha		Ingeniero Supervisor	Institución
Comisión (Nombre y Firma)			
Carlos Contreras Bolton			
Resumen			
<p>El objetivo principal de este estudio es analizar el funcionamiento del transporte público del Gran Concepción a nivel económico. Fundamentalmente se analiza la tarifa cobrada a los usuarios y se estima cual es la tarifa óptima para las características actuales del sistema. En esta investigación se analiza la forma en que se calcula la tarifa, para entender cuáles son las principales características relevantes para el cálculo de esta. Las subvenciones del sistema son una de las principales características que se analizan, ya que están directamente relacionadas con el cálculo de tarifa. Posteriormente, se estudian modelos de optimización para la definición de una tarifa óptima, con casos de estudio similares.</p> <p>Finalmente, se plantea y resuelve un modelo que permite calcular la tarifa óptima del sistema. Los resultados indican que el sistema no es rentable, por lo que es necesario un aumento de la tarifa o un aumento de las subvenciones al sistema. Para el caso de las asignaciones en proyectos, se sugiere un cambio a nivel legislativo, que separe el actual Fondo de Apoyo Regional en dos nuevos fondos, uno dedicado al transporte y otro destinado a otro tipo de proyectos, con un posible aumento de las asignaciones, de ser justificado.</p>			

