



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**RECOMENDACIONES DE TARIFA POR USO EFECTIVO EN  
RUTAS CONCESIONADAS DEL BIOBÍO**

POR

**Matías Felipe Cuevas Torres**

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

**Profesores Guía**

Dra. Marcela Parada Contzen

Dr. Tomás Echaveguren Navarro

20 de agosto de 2023

Concepción (Chile)

©2023 Matías Felipe Cuevas Torres

© 2023 Matías Felipe Cuevas Torres

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

## Resumen

En las rutas concesionadas de la Región del Biobío no se suele cobrar por uso efectivo. En esta Memoria de Título, se estudió el comportamiento de la tarifa considerando un cobro por uso efectivo en las rutas concesionadas de la Región del Biobío, es decir cobro por kilómetro recorrido. Esto haciendo que el valor actual neto (VAN) de la concesión vial sea cero bajo una tasa de descuento determinada e identificando las principales variables que afectan a la tarifa.

En esta Memoria de Título se consideran 3 modelos. (1) Modelo base que calcula la tarifa haciendo que el VAN de la concesión sea cero bajo una tasa de descuento determinada, (2) modelo de subsidios cruzados que calcula una tarifa única para todas las concesiones viales de la Región del Biobío y (3) modelo con variabilidad que mantiene el supuesto del modelo base, pero calculando la tarifa a través de una simulación de Monte Carlo.

Para el cálculo de la tarifa se utilizó el modelo propuesto por Echaveguren et al. (2020) de cobro por uso efectivo. A partir de esto fue necesario recopilar y estimar información sobre las siguientes variables: (1) Flujo vehicular, (2) costos, (3) inversión, (4) valor residual y (5) tasa de descuento. Los datos obtenidos para los modelos fueron recopilados desde la página web de cada concesión.

Al comparar los resultados, se ve una clara tendencia que la tarifa disminuye al existir un escenario económico más optimista. Esto debido a la correlación existente con el aumento del flujo vehicular. Por otra parte, el modelo de subsidios cruzados indica que es posible obtener una tarifa aún menor aplicando una tarifa única. De la simulación de Monte Carlo se obtiene que la tarifa es menor que en el escenario base con una certeza de un 95%.

## **Abstract**

There is no usual charge for effective use on the concessioned routes of the Biobío region. In this thesis, I analyze the behavior of price mechanisms that changes users' per effective use of the road (i.e., kilometers). The computations assume that each firm has a net present value (NPV) of zero, given a discount rate. I identify the main variables that affect the tariff and study different scenarios and cases.

I consider three models: (1) a baseline model that calculates the tariff by considering the net present value of the concession zero given a discount rate, (2) a model with subsidies across firms (i.e., cross-subsidization) that proposes a unique price per effective use for all the concessions roads and (3) a model that incorporates uncertainties among relevant variables which allows variability by calculating the price through a Monte Carlo simulation.

The primary foundational model for the analysis comes from the model proposed by Echaveguren et al. (2020), where charges for effective use are considered. For the execution of this thesis, I collect information on the following variables: (1) Vehicle flow, (2) costs, (3) investment, (4) residual value, and (5) IRR. The data was collected from the website of each concession firm.

The results indicate a clear trend for the tariff to decrease when there are more optimistic economic scenarios. This trend is due to the existing correlation between economic activity and the increase in vehicular flow. The cross-subsidization model results indicate that it is possible to propose a lower price by applying a single tariff to all the concessions considered. From the Monte Carlo simulation, the main takeaway is that the tariff is lower than the base scenario with 95% accuracy.

# Índice

1. Introducción .....	9
1.1. Objetivo .....	10
1.1.1. Objetivo general .....	10
1.1.2. Objetivos específicos .....	10
1.2. Alcance y limitaciones .....	10
1.3. Organización del documento .....	11
2. Estado del arte .....	12
2.1. Concesiones viales en Chile y en la Región del Biobío .....	12
2.2. La Política tarifaria y tarificación por peaje en Chile .....	13
2.3. Cálculo de la tarifa de concesión y factores de riesgo asociados .....	15
2.4. Cobro por uso efectivo.....	17
3. Modelo .....	18
3.1. Modelo de cálculo.....	18
3.2. Subsidios cruzados.....	21
4. Datos.....	23
4.1. Fuente de datos y consideraciones de modelación .....	23
4.2. Conformación de la base de datos .....	24
5. Resultados .....	26
5.1. Escenario base.....	26
5.1.1. Consideraciones escenario base .....	26
5.1.2. Resultados escenario base .....	26

5.1.3.	Análisis de sensibilidad .....	28
5.2.	Modelo con variabilidad .....	32
5.3.	Subsidios cruzados.....	37
5.4.	Comparativa de resultados.....	39
6.	Conclusiones .....	40
7.	Bibliografía.....	43
8.	Anexos.....	45
8.1.	Anexo 1. Cálculo de flujo vehicular .....	45
8.2.	Anexo 2. Cálculo nivel de servicio GESITRAN .....	50
8.3.	Anexo 3. Cálculo de tarifa .....	52
8.4.	Anexo 4. Datos modelo con variabilidad.....	60
8.5.	Anexo 5. Cálculo de tarifa mínima.....	61

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Concesiones viales de la Región Biobío.....	13
<b>Tabla 2.</b> Factores de pago a utilizar .....	15
<b>Tabla 3.</b> Tarifa por categoría de vehículo .....	20
<b>Tabla 4.</b> Factores de costos y valor residual .....	24
<b>Tabla 5.</b> Resumen resultados tarifa escenario base .....	27
<b>Tabla 6.</b> Valores totales de flujo vehicular, inversión y costos de concesión vial AN (\$) ..	33
<b>Tabla 7.</b> Comparación resultados tarifa simulación y tarifa mínima (\$/km).....	33
<b>Tabla 8.</b> Intervalos de confianza por concesión (\$/km).....	37
<b>Tabla 9.</b> Comparación tarifa escenario base con subsidios cruzados (\$/km) .....	39
<b>Tabla 10.</b> Comparación de resultados.....	39
<b>Tabla 11.</b> Flujo vehicular CC según tipo de vehículo y PIB (mUF) .....	45
<b>Tabla 12.</b> Coeficientes de regresión lineal para CC .....	45
<b>Tabla 13.</b> Estimación variación PIB .....	46
<b>Tabla 14.</b> Flujo vehicular ruta CC según tipo de vehículo y TMDA para un escenario económico optimista.....	47
<b>Tabla 15.</b> Flujo vehicular ruta CC según tipo de vehículo y TMDA para un escenario económico tendencial .....	48
<b>Tabla 16.</b> Flujo vehicular ruta CC según tipo de vehículo y TMDA para un escenario económico pesimista .....	49
<b>Tabla 17.</b> Flujo vehicular ruta CC según tipo de vehículo y TMDA para un escenario económico pesimista .....	51
<b>Tabla 18.</b> Valores flujo vehicular y TMDA según escenario económico ruta 3P .....	52
<b>Tabla 19.</b> Valores flujo vehicular y TMDA según escenario económico ruta AN .....	53
<b>Tabla 20.</b> Valores flujo vehicular y TMDA según escenario económico ruta CHCO .....	54
<b>Tabla 21.</b> Valores flujo vehicular y TMDA según escenario económico ruta CC .....	55
<b>Tabla 22.</b> Valores flujo vehicular (UF) y TMDA según escenario económico ruta RI.....	56
<b>Tabla 23.</b> Valores de inversión (UF) por concesión y escenario económico .....	57
<b>Tabla 24.</b> Valores de costos (UF) por concesión y escenario económico .....	58
<b>Tabla 25.</b> Valores de residuales (UF) por concesión.....	59
<b>Tabla 26.</b> Valores para simulación según ruta concesionada .....	60

## **Índice de gráficos**

<b>Gráfico 1.</b> Comparación de tarifa mínima, promedio y máxima por concesión.....	28
<b>Gráfico 2.</b> Densidad de flujo ruta CC escenario económico optimista.....	50

## **Índice de ilustraciones**

<b>Ilustración 1.</b> Variación de tarifa con tasa de descuento fija al 4%, 5% y 6%.....	29
<b>Ilustración 2.</b> Variación de tarifa con duración de la concesión fija en 25, 30 y 35 años...	30
<b>Ilustración 3.</b> Variación de tarifa con escenario económico fijo.....	31
<b>Ilustración 4.</b> Variación de parámetros cálculo de tarifa mínima para AN.....	61
<b>Ilustración 5.</b> Resultados obtenidos ruta AN .....	61



## 1. Introducción

Las concesiones viales en Chile son una forma de administración de infraestructura vial en la que el gobierno otorga a una empresa privada el derecho a construir, mantener y operar una carretera por un período determinado de tiempo (Dirección General de Concesiones, s.f.). La sustentabilidad económica y financiera del sistema de concesiones se obtiene a través de una política tarifaria (Echaveguren et al., 2020).

En este contexto, la política tarifaria se establece a través de los contratos de concesión y tiene como objetivo garantizar la sustentabilidad económica y financiera de las concesiones viales, la eficiencia, la calidad del servicio y la equidad en la distribución de los costos entre los usuarios (Lizana, 2002). El sistema de cobro de todas las concesiones viales en Chile es el peaje, donde comúnmente se cobra por el derecho a paso o accesos a la vía concesionada y no al uso efectivo dentro de la ruta (Echaveguren et al., 2020).

A partir de lo anterior, en esta Memoria de Título se calculó las tarifas para las concesiones viales de la Región del Biobío que hagan el valor actual neto (VAN) de la concesión igual a cero bajo una tasa de descuento determinada. Se consideró para el cálculo de la tarifa, el sistema de cobro por uso efectivo, calculando la tarifa por kilómetro recorrido. Además, se evaluó la factibilidad de subsidios cruzados para la obtención de un precio único para todas las rutas concesionadas de la Región del Biobío. Para el cálculo de tarifa con variabilidad, se consideraron incertidumbres asociadas a la operación de rutas concesionadas, es decir variaciones en costos, flujos vehiculares e inversiones.

El objetivo general de esta Memoria de Título es calcular las tarifas de las concesiones viales de la Región del Biobío haciendo el VAN cero bajo una tasa de descuento determinada. Luego calcular una tarifa única para las concesiones. Finalmente realizar una estimación de tarifa con una sensibilización de variables.

Para el desarrollo de la Memoria de título, se necesitó la aplicación de un método para el cálculo de la tarifa según variables y parámetros establecidos, tales como número de vehículos por ruta, costos de operación e inversión, tráfico, composición vehicular, entre otros. Luego, generar una base de datos sobre las características técnicas, financieras y

operativas de las concesiones de la Región del Biobío, incluyendo información sobre el tráfico actual y proyectado, la estructura tarifaria vigente, los ingresos y egresos asociados. Por último, estudiar el comportamiento de la tarifa por kilómetro recorrido en distintos escenarios, variando los valores de las variables clave y evaluando el impacto en la rentabilidad, la demanda, tráfico y composición vehicular.

## **1.1. Objetivo**

### **1.1.1. Objetivo general**

Calcular tarifas por kilómetro en las rutas concesionadas de la Región del Biobío bajo distintos escenarios y la sensibilización en variables relevantes.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- A) Aplicar un método para el cálculo de la tarifa según variables y parámetros establecidos.
- B) Generar una base de datos sobre las concesiones de la Región del Biobío que incluya costos, inversión y flujos vehiculares.
- C) Sensibilizar el comportamiento de la tarifa por kilómetro recorrido en distintos escenarios.

## **1.2. Alcance y limitaciones**

Esta Memoria de Título presenta ciertas limitaciones que deben ser mencionadas. En primer lugar, se empleó únicamente información secundaria, lo que implica que se utilizaron y recopilaron datos ya existentes para la extracción de información y construcción de la base de datos, en lugar de recopilar información de campo directamente. En segundo lugar, en casos donde no se pudo recopilar cierta información relevante, se utilizaron datos promedio y/o proyecciones a partir de datos similares para completar la información requerida.

Con respecto al alcance de esta Memoria de Título, se debe mencionar en primer lugar que las concesiones de Mejoramiento de la ruta Nahuelbuta y Puente industrial actualmente se encuentran en construcción, pero aún no comienza la operación por lo que no son

consideradas en esta Memoria de Título. En segundo lugar, para cálculos de tarifas se utilizaron los factores de pago calculados por CITRA (1993).

### **1.3. Organización del documento**

La presente Memoria de Título está dividida en 6 capítulos. El primer capítulo es una introducción al tema central, incluyendo una descripción de objetivos y temas principales que motivan al estudio. En el segundo capítulo se presenta el marco conceptual y estado del arte. En el tercer capítulo se presenta el modelo del estudio, explicando los criterios y supuestos utilizados para el cálculo de la tarifa. En el cuarto capítulo se describe la base de datos generada y se caracterizan las concesiones analizadas. En el quinto capítulo se presentan los resultados del escenario base, escenario con subsidios cruzados, simulación de escenarios y sensibilización de variables, mostrando las tarifas obtenidas y su comparación con las actuales. Finalmente, en el sexto capítulo se presentan las conclusiones.

## 2. Estado del arte

### 2.1. Concesiones viales en Chile y en la Región del Biobío

Luego de 30 años, las inversiones comprometidas en el sistema de concesiones actual alcanzan el orden de US\$ 27.000 millones (Binder, 2023). Al segundo trimestre del 2022, la infraestructura vial urbana e interurbana concesionada, concentra el 78,5% de la inversión en contratos vigentes, lo que equivale a USD 7.393 millones y USD 12.376 millones respectivamente (Dirección General de Concesiones de Obras Públicas, 2023).

Actualmente el sistema de concesiones entrega más de 3.300 kilómetros de ruta con puentes, pasarelas, atraviesos y paraderos, entre otros elementos de servicio (Dirección General de Concesiones de Obras Públicas, 2023). Esta red fue licitada y construida en los primeros 10 años de la aprobación de la Ley de Concesiones en 1991 (Ministerio de Obras Públicas, 2016). Se basó en un modelo de financiamiento a la red vial estructurante, con tarifas similares para niveles de servicio equivalentes (IKONS ATN, 2017). Esta vialidad estructurante es la que en la actualidad concentra el mayor tráfico del país, aunque representa menos del 4% del total de la red vial y un 16% de la red pavimentada nacional (IKONS ATN, 2017).

En la Región del Biobío existen 7 concesiones viales, tanto en construcción y operación, que conforman 514,9 km y el 16.3% de la red de concesiones del país (DGC, 2023). Las rutas concesionadas son: (1) Puente industrial, (2) Ruta 5, tramo Chillan-Collipulli, (3) Ruta 152, acceso norte a Concepción, (4) Ruta interportuaria Talcahuano - Penco, (5) Ruta Concepción – Cabrero, (6) Ruta 160, tramo Tres Pinos – acceso norte a Coronel, (7) Mejoramiento ruta Nahuelbuta (proyecto adjudicado en obras por iniciar en 2023-2024) (DGC, 2023). Actualmente, los cobros de las concesiones viales en operación se hacen al paso por peaje, independiente de la distancia recorrida por el vehículo. En la **Tabla 1** se muestra un resumen de información de cada una de las concesiones con sus respectivos cobros para vehículos livianos.

**Tabla 1.** Concesiones viales de la Región Biobío

Nombre ruta	Estado	Longitud (km)	Fecha inicio de concesión	Fecha de término de concesión	Tarifa autos liviano (\$)			Tarifa por kilómetro (\$/km)
					Sta. Clara	Las Maicas		
Ruta 5, tramo Chillan-Collipulli	Operación	169,0	10-06-1998	14-02-2023	3.000	3.000		35,5
Ruta 152, acceso norte a Concepción	Operación	89,0	12-04-1995	12-04-2023	Agua Amarilla			52,9
					4.710			
Ruta interportuaria Talcahuano-Penco	Operación	14,5	20-04-2002	07-05-2033	Penco-Talcahuano			89,7
					1.300			
Ruta Concepción-Cabrero	Operación	103,4	03-09-2011	03-03-2046(*)	Huinanco	Puentes negros		34,3
					3.100	450		
Ruta 160, tramo Tres Pino-acceso norte a coronel	Operación	89,0	13-09-2008	16-02-2048(*)	Chivilingo	Curanilahue	Pilpilco	31,4
					2.300	0	2.300	
Mejoramiento ruta Nahuelbuta	Construcción	55,0	10-04-2018	08-10-2052(*) (**)	En construcción			
Puente industrial	Construcción	6,4	02-12-2014	28-10-2055(*)	En construcción			

Notas: (\*) Otra forma de finalizar la concesión es que el valor presente de los ingresos sea mayor o igual a los ingresos totales de la concesión. (\*\*) La duración de la concesión es variable con un máximo de duración indicado. (\*\*\*) Se muestra la longitud total de la concesión.

**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos de MOP (2023)

La tarifa está indicada en pesos chilenos a abril de 2023 y solo considera peajes troncales. Para el cálculo del precio por kilómetro se divide la longitud de la concesión entre la suma de la tarifa de los peajes troncales. En el caso de ruta interportuaria la tarifa cambia por horario, por lo que solo se considera la tarifa en horario no punta.

## 2.2. La Política tarifaria y tarificación por peaje en Chile

La política tarifaria corresponde al conjunto de criterios multidimensionales que propenden a lograr la sustentabilidad del sistema de concesiones, bajo las premisas de lograr equidad territorial intergeneracional y bienestar social (Echaveguren et al., 2020). Además, el valor de las tarifas y la estructura tarifaria debe permitir la sostenibilidad económica de las concesiones individuales y del conjunto del sistema vial del que esa concesión es parte (CPI, 2021).

Otro de los objetivos de la política de tarifaria es que debe contribuir efectivamente en la gestión de tránsito, promoviendo un uso eficiente, considerando tanto elementos horarios o de estacionalidad como trayectos y tipología de carreteras y vehículos (Ministerio de Obras Públicas, 2016). La tarificación dentro de concesiones viales busca financiar las obras de infraestructura viales tales como autopistas, túneles, puentes o redes viales (Tsolakis et al., 2007). Uno de los instrumentos más comunes de tarificación es el peaje, que es una forma de pago a través de una tarifa que se aproxima al valor real de un viaje. (Echaveguren et al., 2020).

En cuanto a los sistemas de cobro por peajes en Chile, se utilizan cuatro esquemas de cobro: (1) por sección (derecho de paso), (2) por tramo o activo vial (uso efectivo), (3) corredores y (4) cordones (Echaveguren et al., 2020). El sistema de cobro depende de cada concesión vial y está determinado en las bases de licitación (BALI) de cada concesión vial. Además, la tarifa máxima del peaje está sujeta a restricciones presentes en las BALI de cada concesión vial (Ministerio de Obras Públicas, 2016).

La tarifa del peaje está definida por categorías de vehículos y vienen predefinidas en las BALI según el tipo de vehículo (DGC, 2023). Los vehículos livianos (“Tipo B”) son el tipo de vehículo más común. Estos son utilizados generalmente como factor de conversión para el cálculo de la tarifa de las demás categorías (Echaveguren et al., 2020).

CITRA (1993) calcula los factores de pago por tipo de vehículo a través de los costos marginales de operación estimados. En general las categorías de vehículos suelen ser agrupadas en 4: (1) vehículos livianos, (2) buses con 2 ejes, (3) camiones con 2 ejes, (4) camiones con 2 o más ejes.

Los factores de pago con base en costos-marginales por categoría de vehículo calculados por CITRA (1993) son presentadas en la **Tabla 2** junto con los tipos de categorías de vehículos, su descripción y el factor de pago asociado a la tarifa.

**Tabla 2.** Factores de pago a utilizar

Tipo	Descripción	Factor de pago
Tipo A	Motos	-
Tipo B	Vehículos livianos	1
Tipo C	Vehículos livianos con remolque	-
Tipo D	Buses con 2 ejes	1,8
Tipo E	Camiones con 2 ejes	1,8
Tipo F	Buses 2 + ejes	-
Tipo G	Camiones 2 + ejes	3,1

Fuente: Elaboración propia a partir de CITRA, 1993 y BALIs

### 2.3. Cálculo de la tarifa de concesión y factores de riesgo asociados

La determinación de tarifas de la concesión se realiza mediante análisis costo-beneficio en términos privados. En ambos casos se busca que el VAN sea suficiente para garantizar en el largo plazo la sustentabilidad de la concesión y que, a la vez, el beneficio social sea mayor o igual a cero (Echaveguren et al., 2020).

Bajo esta premisa, se espera que el concesionario recupere su inversión y a su vez adquiera beneficios razonables (Echaveguren et al., 2020). Una forma de realizar el cálculo de la tarifa de concesión es lo propuesto por Xu et al. (2012) a través de un análisis costo-beneficio, determinando el precio mínimo tal que el valor presente neto sea mayor o igual a 0.

La tarifa de la concesión será variable, aumentando en el caso que los factores de riesgo sean peores que lo esperado o disminuyendo si son mejores de lo esperado (Xu et al., 2012). Algunos de los factores de riesgo que afectan el cálculo de la tarifa por la variabilidad e incertidumbre son: Las proyecciones de flujo vehicular, inversión, costos, TIR y el valor residual (Xu et al., 2012).

El flujo vehicular es de vital interés para una estimación acertada de la tarifa (Xu et al., 2012). Su principal fuente de incertidumbre proviene de la de tasa de crecimiento de la economía y del estado del parque automotor son una fuente relevante de riesgo (Engel et al., 1997).

La inversión total para la construcción de proyectos de carreteras es la salida de efectivo incurrida durante el período de construcción, y es uno de los factores clave que afectan la fijación de precios de los proyectos de carreteras alianzas publico privada (Xu et al., 2012). Las fuentes de incertidumbre asociadas a la inversión están asociadas con amenazas naturales, crecimiento del tráfico u amenazas antrópicas, esto obliga a la concesión a la

construcción de mejoras o nuevos activos viales que puedan mantener la calidad del servicio. (Echaveguren et al., 2020).

Los costos de construcción se estiman durante la preparación de la oferta, luego de la adjudicación son actualizados con base en los informes finales del proyecto (Echaveguren et al., 2020). Por otra parte, los costes relacionados al mantenimiento son dependientes de la calibración que se haya utilizado, generalmente a nivel red, provocando incerteza al realizarse a nivel red y no proyecto (Xu et al., 2012). La incertidumbre asociada a los costos depende debido a la naturaleza de realizar un pronóstico de costos, la calibración realizada y posibles cambios en la inversión.

La TIR es una técnica para valorar la rentabilidad de proyectos de inversión y requerida para garantizar que los inversores puedan recuperar la inversión (Huang, 2023). Si la TIR se fija demasiado alta, seguramente resultará en que el plazo de la concesión sea demasiado largo o la tarifa demasiado alta, perjudicando así los intereses tanto del gobierno como de las personas (Xu, 2012). La duración de las concesiones, desde la perspectiva del concesionario buscará que su duración sea lo máximo posible, mientras que desde el gobierno lo mínimo posible (Xu et al., 2012).

El valor residual, también posee un factor de incertidumbre, ya que en caso de finalizar la concesión puede pasar a manos de la siguiente concesionaria o directamente al estado (Xu et al., 2012). Por otra parte, las inversiones no pronosticadas inicialmente provocarán una depreciación mayor a la esperada inicialmente (Echaveguren et al., 2020).

Una forma para considerar estas incertidumbres asociadas al cálculo de la tarifa es a través de una simulación (Sudong & Tiong, 2003). Se utilizó el método de simulación de Monte Carlo, el que consiste en realizar un muestreo aleatorio repetido para el cálculo, se ha utilizado en diversas áreas para evaluar el impacto del riesgo en distintas situaciones y escenarios (IBM, 2023).



## **2.4. Cobro por uso efectivo**

El sistema de cobro por uso efectivo calcula el cobro a los usuarios según la distancia total o parcial que se haya recorrido por las vías concesionadas, para ello, se identifica el lugar en que el usuario ha ingresado a las áreas de la vía afecta a cobro y el punto de abandono de dichos sectores (AVO, 2022). Este sistema en Chile es solo utilizado actualmente en concesiones urbanas, donde se espera que sea un aporte al creciente flujo vehicular y parque automotor del país (AVO, 2022).

Al ser un sistema de peaje más especializado en el cobro, se necesita una tecnología de recopilación de datos y recaudación más especializada para una correcta asignación de la tarifa (Echaveguren et al., 2020). A partir del modelo de tarificación por kilómetro desarrollado en Echaveguren et al. (2020) y lo aplicado en Vega (2022) es posible encontrar una tarifa por kilómetro recorrido en las concesiones de la Región del Biobío simulando un sistema de cobro por uso efectivo.

### **3. Modelo**

Para el modelo base de cálculo de tarifa por kilómetro recorrido, se utilizará el modelo proveniente de Echaveguren et al. (2020). El que fue utilizado en Ruta 5 para identificación de factores técnicos que afectan en el valor del peaje. Con este modelo adaptado a las rutas de la región del Bio-Bio se obtendrá una tarifa por kilómetro recorrido que haga el VAN cero condicionado por una tasa de descuento determinada para cada concesión vial de la Región.

Luego se determinará una tarifa única para todas las concesiones viales de la Región del Biobío a través del cálculo por un sistema de subsidios cruzados. Para esto será necesario elaborar un modelo a plazo fijo con una tarifa igual para todos los tramos, lo que permitirá estimar el excedente o pérdida en cada tramo y así establecer un subsidio cruzado.

Para el modelo con variabilidad, se agregaron los factores de riesgo que afectan a las variables utilizadas para el cálculo de la tarifa por kilómetro recorrido por la variabilidad e incertidumbre que poseen. Las variables utilizadas son: Flujo vehicular, costos, inversión, tasa de descuento y el valor residual (Xu et al., 2012).

Para sensibilizar las variables con riesgo e identificar su impacto individual y correlación con otras variables se utilizó la simulación de Monte Carlo. Para su implementación, en primer lugar, se debió asumir una distribución de probabilidad para cada variable aleatoria. Además, recopilar información sobre los rangos de valores para cada evento para poder generar números aleatorios de acuerdo con la distribución asumida.

#### **3.1. Modelo de cálculo**

El modelo de Echaveguren et al. (2020) para el cálculo de la tarifa de equilibrio para cada concesión  $i$  se obtiene resolviendo que precio que haga que el valor actual neto (VAN) del proyecto sea igual a cero, dada una tasa de descuento. Se define  $Tarifa_i$  como la tarifa base de un vehículo tipo por kilómetro recorrido. Se asume una concesión que tiene una duración de  $n = 1, 2, \dots, N$  años. De esta manera, se resuelve el siguiente problema:

$$VAN_i = \sum_{n=1}^N \frac{(\text{Ingresos}_{in} - \text{Costos}_{in})(1-t) - \text{Inversiones}_{in}}{(1+r)^n} - \frac{\text{Valor Residual}_{iN}}{(1+r)^{NR}} \quad (1)$$

Donde  $\text{Ingresos}_{in}$  representan los ingresos por ventas de la concesión  $i$  en cada año  $n$ , provenientes de las tarifas en UF.  $\text{Costos}_{in}$  representan los costos en mantención y operación de la ruta en UF.  $\text{Inversiones}_{in}$  son las correspondientes a la inversión inicial en obras nuevas y las inversiones adicionales durante la concesión en UF. Las inversiones adicionales pueden ser costos de conservación, ampliación a terceras pistas, adecuaciones de señalización, demarcaciones y sistemas de contención. Las  $\text{Inversiones}_{in}$  pueden ocurrir al inicio o en periodos posteriores y  $\text{Valor Residual}_{iN}$  es el valor residual de la inversión inicial en UF donde  $N$  es la duración de la concesión y  $NR$  la vida útil del activo. En la expresión general se asume una tasa de descuento  $r$  y una tasa de impuestos a las utilidades  $t$ .

Lo anterior es equivalente al cálculo de la tarifa para un  $VAN = 0$ . Para esta Memoria de título, se calcula una tarifa de mínima para cada una de las 5 concesiones  $i$  en operación en la región del Biobío siguiendo la fórmula que calcula el VAN en la **Ecuación (1)**.

Considerando una tarifa por kilómetro, los ingresos totales de la concesión  $i$  son provenientes de la tarifa del peaje (UF/km) multiplicado por el  $\text{Flujo}_{in}$  incluyendo todos los tipos de vehículos que pasen por la concesión  $i$  en el periodo  $n$  y la  $\text{Longitud}_i$  que representa la longitud total en km de la concesión  $i$ , se presenta en la **Ecuación (2)**.

$$\text{Ingresos}_i = \text{Tarifa}_i \times \text{Flujo}_{in} \times \text{Longitud}_i \quad (2)$$

Los costos totales de la concesión  $i$  están dados por los costos por kilómetro  $C_{in}$  (UF/km) en la concesión  $i$  en el periodo  $n$ , el flujo de la concesión  $i$  en el periodo  $n$  y la longitud de la concesión  $i$  en km, tal como se muestra en la **Ecuación (3)**.

$$\text{Costos}_i = C_{in} \times \text{Longitud}_i \quad (3)$$

Las inversiones totales de la concesión  $i$  están dados por las inversiones por kilómetro  $I_{in}$  (UF/km) de la concesión  $i$  en el periodo  $n$  y la longitud de la concesión  $i$  (km), tal como se muestra en la **Ecuación (4)**.

$$\text{Inversiones}_i = I_{in} \times \text{Longitud}_i \quad (4)$$

Los costos totales, las inversiones y el valor residual de cada concesión fueron obtenidos a partir de los datos generados por el laboratorio GESITRAN, los que son presentados más adelante. Por lo que, despejando la tarifa, utilizando las **Ecuaciones (2), (3) y (4)** reemplazando en **(1)** queda tal que la **Ecuación (5)**:

$$\text{Tarifa}_i = \frac{\sum_{n=1}^N \frac{C_{in} \times \text{Longitud}_i \times (1-t)}{(1+r_i)^n} + \sum_{n=1}^N \frac{I_{in} \times \text{Longitud}_i}{(1+r_i)^n} + \frac{\text{Valor Residual}_{iN}}{(1+r_i)^{NR}}}{\sum_{n=1}^N \frac{\text{Flujo}_{in} \times \text{Longitud}_i \times (1-t)}{(1+r_i)^n}} \quad (5)$$

La **Ecuación (5)** calcula la tarifa considerando un único factor de pago por tipo de vehículo (UF/km). Sin embargo, según lo revisado en la **Tabla 2** la tarifa es diferenciada por tipo de vehículo debido a las posibles externalidades en ruta haciendo que no exista una tarifa única por kilómetro.

Por lo que se utiliza la tarifa asociada al vehículo tipo “B”, es decir vehículo liviano, como tarifa base  $\text{Tarifa}_i$  y a partir de esta encontrar las demás tarifas multiplicando por el factor de pago asociado. Así los ingresos totales quedan en función de  $\text{Tarifa}_i$ , el flujo por tipo de vehículo (el que queda definido según lo descrito en la **Tabla 3** junto al factor de pago asociado) y la longitud de la concesión.

**Tabla 3.** Tarifa por categoría de vehículo

Categoría	Flujo	Factor de pago
Auto y camionetas	$F_0$	1
Bus	$F_1$	1.8
Camión de 2 ejes	$F_2$	1.8
Camión de más de 2 ejes	$F_3$	3.1

**Fuente:** Elaboración propia con datos de CITRA (1993)

La ecuación que calcula los ingresos de la concesión  $i$  considerando factores de pago diferenciados por tipo de vehículo queda tal que la **Ecuación (6)**:

$$\text{Ingresos}_i = \text{Tarifa}_i (F_{0,in} + 1,8F_{1,in} + 1,8F_{2,in} + 3,1F_{3,in}) \times \text{Longitud}_i \quad (6)$$

Finalmente, reemplazando lo obtenido en la **Ecuación (6)**, en la **Ecuación (5)** se obtiene la tarifa por kilómetro recorrido, considerando además el tipo de vehículo, lo cual es presentado en la **Ecuación (7)**.

$$\text{Tarifa}_i = \frac{\sum_{n=1}^N \frac{C_{in} \times \text{Longitud}_i \times (1-t)}{(1+r_i)^n} + \sum_{n=1}^N \frac{I_{in} \times \text{Longitud}_i}{(1+r_i)^n} + \frac{\text{Valor Residual}_{iN}}{(1+r_i)^{NR}}}{\sum_{n=1}^N \frac{(F_{0n} + 1,8 F_{1n} + 1,8 F_{2n} + 3,1 F_{3n}) \times \text{Longitud}_i \times (1-t)}{(1+r_i)^n}} \quad (7)$$

### 3.2. Subsidios cruzados

Para la inclusión de subsidios cruzados al modelo, es necesario determinar los sobre-cobros o sub-cobros de cada concesión. Por lo que se define  $T$  como la tarifa única inicial. Esta se calcula como el promedio de las tarifas de vehículos livianos y es presentado en la **Ecuación (8)**. Notar que se calcula para vehículos livianos, ya que luego se agregan los factores por tipo de vehículo.

$$T = \frac{\sum_i^5 \text{Tarifa}_i}{5} \quad (8)$$

Luego se realiza el cálculo del subsidio por concesión  $i$ . El subsidio (ya sea positivo o negativo) se calcula con el flujo vehicular ponderado, es decir flujo considerado por tipo de vehículo y el factor de pago, multiplicado por la longitud y la diferencia entre  $\text{Tarifa}_i$  y  $T$ . El cálculo del subsidio para el periodo  $i$  se presenta en la **Ecuación (9)**.

$$\text{Subsidio}_{in} = (\text{Tarifa}_i - T) \times (F_{0,in} + 1,8F_{1,in} + 1,8F_{2,in} + 3,1F_{3,in}) \times \text{Longitud}_i \quad (9)$$

Notar que el signo resultante de  $\text{Subsidio}_{in}$  determina si es que debe recibir subsidios en caso de ser positivo o entregar el excedente, si el signo es negativo. Para que el sistema de subsidios cruzados pudiera ser viable sin necesitar aportes externos, la sumatoria de los  $\text{Subsidios}_{in}$  debe ser menor o igual a cero.

A partir de esto, se calcula el VAN para los subsidios con la tasa de descuento de un 5%. Se añade como restricción que el VAN de los subsidios positivos sea igual al de los subsidios negativos. Para hacer esto se hace variar la  $T$  tal que se cumpla con la restricción. La tarifa que haga que los subsidios positivos sean iguales a los subsidios negativos, será la tarifa única estimada para todas las concesiones  $i$ .

## **4. Datos**

### **4.1. Fuente de datos y consideraciones de modelación**

Para los cálculos de esta Memoria de título se recolecta información de flujo vehicular, valores residuales, costos e inversión de cada una de las concesiones. Los datos fueron obtenidos a partir de la estimación realizada por el laboratorio GESITRAN para la Ruta 152, Acceso norte a Concepción. A partir de esta estimación se obtuvieron los datos de las demás concesiones.

Las consideraciones que se utilizaron para la estimación de los datos de la Ruta 152, Acceso norte a Concepción y demás concesiones son:

- Los datos de tráfico de las rutas fueron recolectados a través de informes mensuales de las concesionarias. A partir de esto se realizó la estimación de flujo mediante una regresión lineal para cada una de las concesiones.
- La regresión lineal utiliza como variable para estimar el flujo vehicular el PIB del periodo. Los datos de PIB fueron encontrados en base a la estimación de variación de PIB realizados por Echaveguren et al. (2020).
- A partir de la estimación del flujo vehicular, se realiza el cálculo de nivel de servicio a través de un modelo propuesto por GESITRAN. Con el modelo se realiza la estimación de año en que debe realizarse la ampliación a terceras pistas y el tráfico final truncado.
- La inversión de las concesiones, en caso de relicitación el año 2023 (ruta 152 y Chillan Collipulli) se calculó en base a los valores obtenidos desde la página de concesiones considerando la UF del día 24/04/2023. Mientras que para las demás concesiones se utilizará el presupuesto del año de licitación en UF del 24/04/2023. La inversión considera costo de obras iniciales, es decir la construcción de la ruta, costos de ampliación en terceras pistas en caso de necesitarlo e inversiones de adecuaciones, señalizaciones, demarcaciones y sistemas de contención.

## 4.2. Conformación de la base de datos

Para conformación de la base de datos, se partió estimando el flujo vehicular lo que es presentado en detalle en el **Anexo 1**. La estimación de flujo vehiculares futuros depende principalmente de los flujos vehiculares del periodo 2015-2022 y del PIB.

Una vez obtenida la información de tráfico, se realiza el cálculo de nivel de servicio para la consideración de ampliación de terceras pistas. El nivel de servicio se calcula según el tránsito medio diario anual (TMDA) a partir de modelo proporcionado por GESITRAN. En el **Anexo 2** se muestran más detalles sobre el modelo de cálculo de nivel de servicio. A partir de ese modelo se indican en que año se debe hacer inversión para ampliación a terceras pistas cuando se alcance el nivel de servicio “D”. En ese mismo año se trunca el flujo vehicular para los siguientes años.

La información de los costos y de valor residual de la inversión fue proporcionada por GESITRAN considerando, los factores de costos de mantención y operación promedio, para el caso de los costos. Los factores de valor residual a 25, 30 y 35 años en el caso del valor residual. Estos fueron encontrados con información disponible de concesiones de la Región de Ñuble y Biobío. Los factores de costos y valor residual son presentados en la **Tabla 4**.

**Tabla 4.** Factores de costos y valor residual

Costos de mantención	Costos de operación	Valor residual		
		25 años	30 años	35 años
1,17%	1,96%	56%	49%	43%

**Fuente:** Elaboración propia con datos de GESITRAN

En el caso de los costos el factor de costos de mantención y operación es multiplicado por la inversión del periodo, obteniendo costos de mantención y operación del periodo. Para el caso del valor residual, este factor es multiplicado por la inversión en obras iniciales de la concesión. El factor utilizado depende de la cantidad de años de concesión según el escenario de estudio a 25, 30 y 35 años.

En caso de necesitar la ampliación de tercera pista se consideró la longitud de la ampliación el total de la concesión y se utilizó un valor unitario de costo por kilómetro de ampliación 17.685,6 UF/km proporcionado como valor promedio por parte de GESITRAN.



Para el valor de adecuaciones, se utilizó un factor promedio de costos. Este fue determinado por los costos de rutas cercanas a la región, el factor es correspondiente a 1.444,65 UF/km. Las adecuaciones son realizadas cada 5 años y el factor es multiplicado por la cantidad de kilómetros de la ruta.

## 5. Resultados

### 5.1. Escenario base

#### 5.1.1. Consideraciones escenario base

Las características del escenario base seguirán lo propuesto por Echaveguren et al. (2020) y aplicado por Vega (2022):

- Tres escenarios económicos respecto de proyección del PIB. Escenario tendencial, pesimista y optimista.
- Se configuró el año 2023 como el inicio para todas las concesiones.
- Se modeló para tres períodos de concesión de plazo fijo: 25, 30 y 35 años.
- Tasa de descuento de 4%, 5% y 6%.
- Se considera horizonte de depreciación 100 años.
- Se considera incobrables del 5%.

Además, se calculará la tarifa base solo para las siguientes 4 categorías de vehículo: (1) vehículos livianos, (2) Buses 2 ejes, (3) Camiones 2 ejes y (4) Camiones de más de 2 ejes. Agrupando las categorías B-C, D-E y F-G, ya que en general las concesiones suelen agrupar estas categorías de vehículos (Echaveguren et al., 2020). Por otra parte, en el estudio de MOP (2016) se indica que la cantidad de motos es sustancialmente inferior al resto de vehículos por lo que tampoco es incluido.

#### 5.1.2. Resultados escenario base

En el primer escenario de estudio, se obtuvo la tarifa por cada concesión de la Región del Biobío. En base a las consideraciones y escenarios propuestos resultan 27 escenarios y resultados de tarifa por concesión. El resumen de las tarifas para vehículo liviano expresados en \$/km se encuentran la **Tabla 5**.

**Tabla 5.** Resumen resultados tarifa escenario base

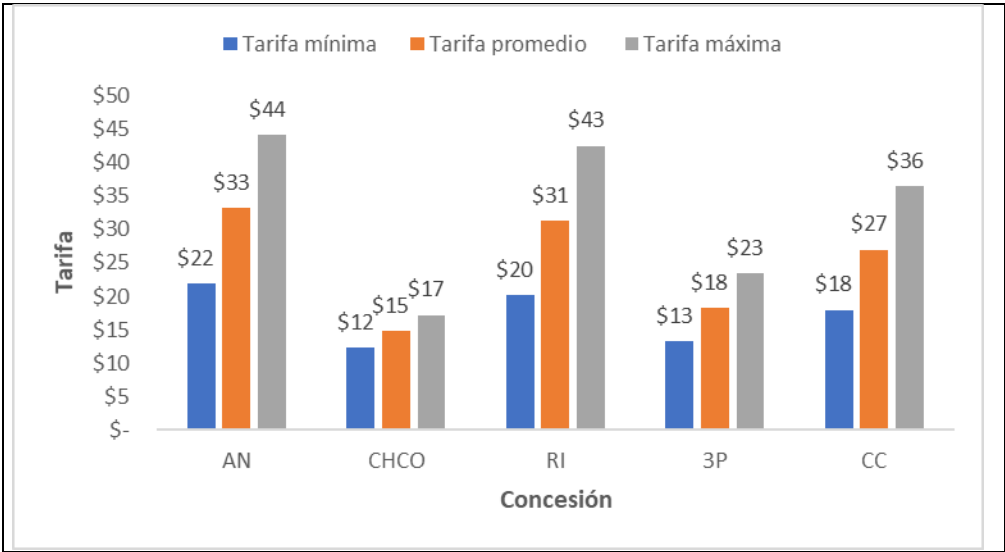
Escenario			Ruta concesionada – Tarifa por kilómetro (\$/km)				
Escenario Económico	Duración (años)	Tasa de descuento	AN	CHCO	RI	3P	CC
Pesimista	25	4%	38	15	36	20	31
Tendencial	25	4%	36	15	35	19	29
Optimista	25	4%	28	14	26	16	23
Pesimista	30	4%	33	14	32	18	27
Tendencial	30	4%	32	14	30	17	25
Optimista	30	4%	25	13	23	14	20
Pesimista	35	4%	30	13	28	16	24
Tendencial	35	4%	28	13	26	15	22
Optimista	35	4%	22	12	20	13	18
Pesimista	25	5%	41	16	39	22	34
Tendencial	25	5%	39	16	37	20	32
Optimista	25	5%	31	15	28	17	25
Pesimista	30	5%	36	15	35	20	30
Tendencial	30	5%	35	15	33	19	28
Optimista	30	5%	27	14	25	16	22
Pesimista	35	5%	33	14	31	18	27
Tendencial	35	5%	31	14	29	17	25
Optimista	35	5%	24	13	22	15	20
Pesimista	25	6%	44	17	43	23	36
Tendencial	25	6%	42	17	40	22	35
Optimista	25	6%	33	16	31	19	27
Pesimista	30	6%	40	16	38	21	33
Tendencial	30	6%	38	16	36	20	31
Optimista	30	6%	30	15	28	17	24
Pesimista	35	6%	37	15	35	20	30
Tendencial	35	6%	35	15	33	19	28
Optimista	35	6%	27	14	25	16	22
<b>Promedio</b>			33	15	31	18	27
<b>Máximo</b>			44	17	43	23	36
<b>Mínimo</b>			22	12	20	13	18

Fuente: Elaboración propia

Las rutas concesionadas presentadas en la **Tabla 5** tienen abreviados sus nombres tal que: Ruta 152, acceso norte a Concepción (AN), Ruta 5, tramo Chillan-Collipulli (CHCO); Ruta interportuaria Talcahuano-Penco (RI); Ruta Concepción-Cabrero (CC); Ruta 160, tramo Tres Pino-acceso norte a coronel (3P). Los escenarios económicos pesimistas, tendencial y optimista hacen referencia a pronósticos de variación de PIB, estos de acuerdo con lo presentado en la **Tabla 13** del **Anexo 1**. Cálculo de flujo vehicular

A partir de los resultados de tarifa obtenidos, se genera el **Gráfico 1** el que presenta la tarifa mínima, promedio y máxima obtenida por concesión. En el eje vertical se presenta la tarifa mientras que en el horizontal la concesión correspondiente.

**Gráfico 1.** Comparación de tarifa mínima, promedio y máxima por concesión



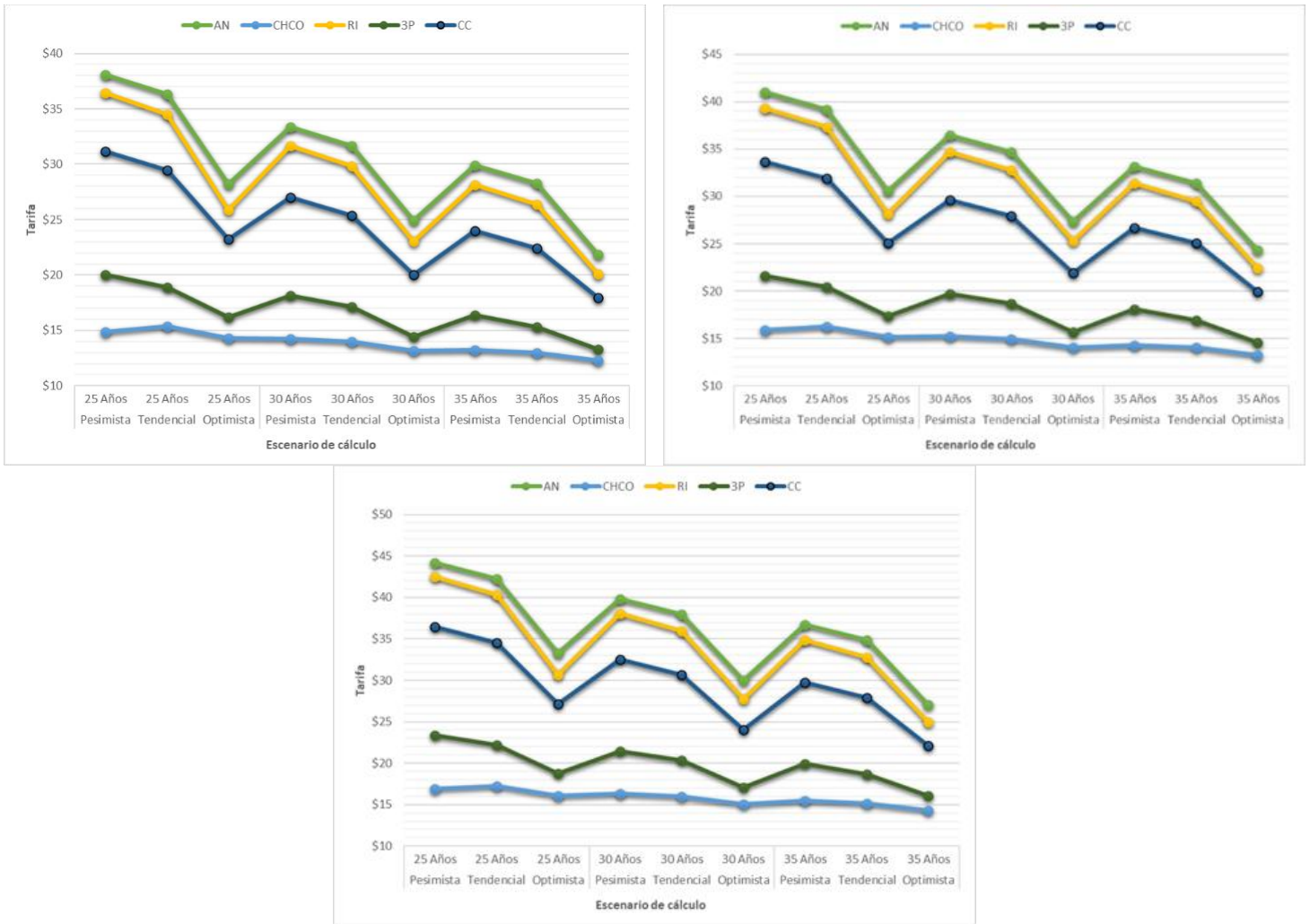
Fuente: Elaboración propia

El escenario donde se obtiene la menor tarifa es obtenido en un escenario económico optimista, con una duración de concesión de 35 años y una tasa de descuento del 4%. Mientras que la tarifa máxima obtenida es un escenario económico pesimista, duración de la concesión de 25 años y una tasa de descuento del 6%.

**5.1.3. Análisis de sensibilidad**

A continuación, se realiza un análisis de sensibilidad fijando variables. En primer lugar, se presenta como varía la tarifa manteniendo la TIR constante y variando el escenario económico y la duración de la concesión. En la **Ilustración 1** se presentan los resultados de fijar la tasa de descuento en un 4%, 5% y 6%. En el eje vertical se presenta la tarifa mientras que el horizontal muestra el escenario económico y la duración de la concesión.

**Ilustración 1.** Variación de tarifa con tasa de descuento fija al 4%, 5% y 6%

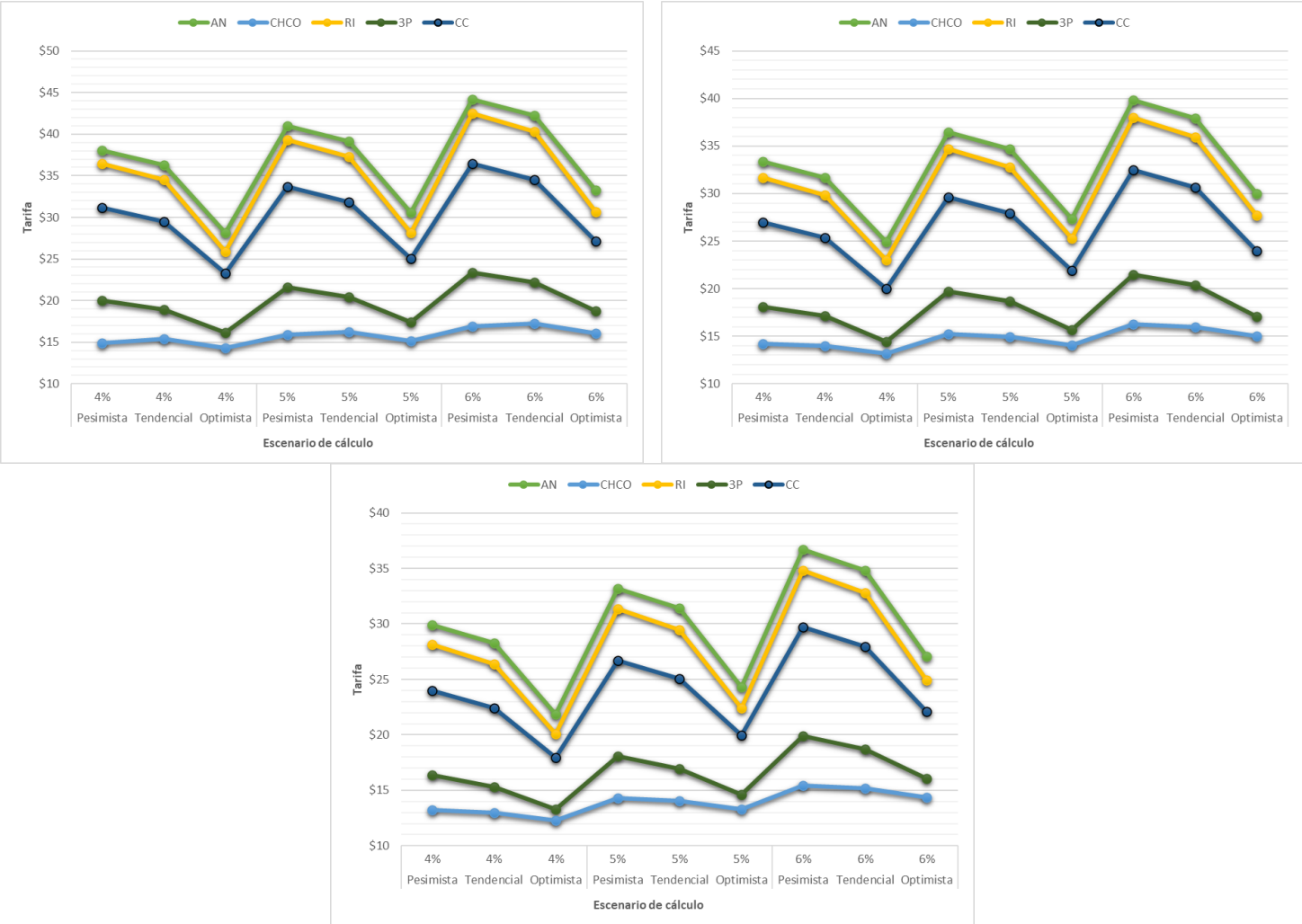


**Fuente:** Elaboración propia

En la **Ilustración 1** se distribuye en gráficos con tasa de descuento de 4% y 5% en la parte superior y 6% en la parte inferior. Se puede apreciar que, en todas las concesiones, exceptuando CHCO la tarifa por kilómetro recorrido baja según el escenario económico. Además, comparando el escenario económico también baja la tarifa al aumentar la duración de concesión. Mientras que en CHCO la tarifa en el escenario tendencial es a 25 años de duración de concesión se obtiene la mayor tarifa. En los tres gráficos los resultados son bastante similares con tarifas aún más planas en CHCO para una tasa de descuento de 5%, es decir con menos variación. Por otra parte, en general el valor de la tarifa es mayor a medida que aumenta la tasa de descuento.

A continuación, se presenta como varía la tarifa manteniendo la duración de la concesión constante y variando el escenario económico y la tasa de descuento. En la **Ilustración 2** se presentan los resultados de como varía la tarifa fijando la duración de cada concesión en 25, 30 y 35 años. En el eje vertical se presenta la tarifa mientras que el horizontal muestra la tasa de descuento y el escenario económico.

**Ilustración 2.** Variación de tarifa con duración de la concesión fija en 25, 30 y 35 años.



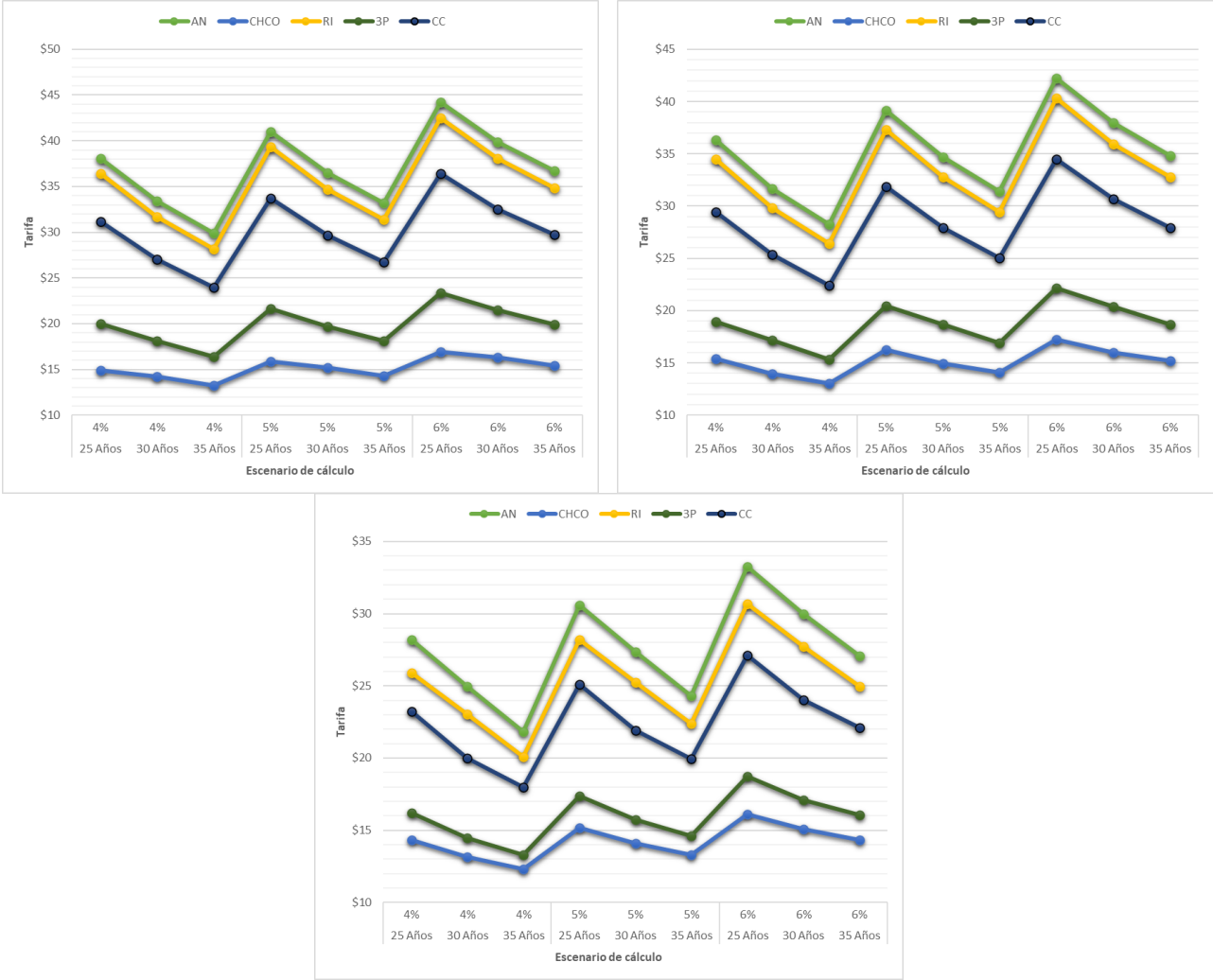
**Fuente:** Elaboración propia

En la **Ilustración 2** se distribuye en gráficos con duración de concesión de 25 y 30 años en la parte superior y 35 años en la parte inferior. Se puede apreciar en general que los valores de tarifa menores se obtienen en un escenario económico optimista. A su vez al igual que en la **Ilustración 1** Existe una tendencia al alza a medida que la tasa de descuento aumenta. Además, mientras existe un aumento de la duración de la concesión existe una disminución

en la tarifa. Esto debido a que es posible recuperar la inversión a mayor cantidad de años haciendo que en general la tarifa baje.

A continuación, se presenta como varía la tarifa manteniendo el escenario económico constante y variando la tasa de descuento y la duración de la concesión. En la **Ilustración 3** se presentan los resultados de fijar el escenario económico. En el eje vertical se presenta la tarifa mientras que el horizontal muestra la tasa de descuento y la duración de la concesión.

**Ilustración 3.** Variación de tarifa con escenario económico fijo



**Fuente:** Elaboración propia

En la **Ilustración 3** se distribuye en gráficos con escenario económico pesimista y tendencial en la parte superior y optimista en la parte inferior. Se puede apreciar en general que los valores de tarifa tienen una relación lineal decreciente al solo variar la duración de la

concesión. Además, que al aumentar la tasa de descuento los valores de la tarifa crecen levemente. Por otra parte, los valores de la tarifa tienden a bajar al pasar un escenario económico pesimista a uno más optimista, es decir con un aumento en el PIB del periodo.

Se puede apreciar en general que los valores de tarifa menores se obtienen en un escenario económico optimista. A su vez al igual que en la **Ilustración 1** existe una tendencia al alza a medida que la tasa de descuento aumenta. Además, mientras existe un aumento de la duración de la concesión existe una disminución en la tarifa.

A partir de los resultados anteriores, se da a entender que el valor de la tarifa para una concesión vial será más bajo mientras el escenario económico sea más próspero, debido a la relación existente entre flujo de vehículos y el PIB. Haciendo que mientras más flujo vehicular exista menor podrá ser la tarifa. Por otra parte, la concesión al exigir una tasa de descuento menor (es decir, bajar la TIR) la tarifa también tiende a bajar. Para mayor duración de concesión la tarifa disminuye. Esto se relaciona debido a que una mayor duración de la concesión implica que la recuperación de la inversión pueda ser más lenta y pudiendo disminuir las tarifas.

## **5.2. Modelo con variabilidad**

Para los casos de simulación se tomaron las siguientes consideraciones:

- La distribución de probabilidad utilizada para todas las variables fue la distribución triangular.
- Los valores de mínimo, promedio y máximo utilizados para la distribución fueron obtenidos por concesión de acuerdo con el escenario base (exceptuando la tasa de descuento). Esto considerando una tasa de descuento 5%, plazo de concesión a 35 años y los tres escenarios económicos: pesimista, tendencial y optimista.
- Los valores de tasa de descuento considerados para la distribución fueron 0%, 5% y 8% como mínimo, promedio y máximo respectivamente.
- Al valor residual se considera con el decrecimiento de los 35 años de concesión valor mínimo un 90% del valor, promedio del 100% y máximo del 110%.



- Los datos de flujo vehicular, costos e inversión fueron considerados en dinero como el VAN de flujo, costos e inversión. Esto para la elección de los valores de la distribución y para su simulación.

Además, los resultados de la simulación fueron hechos con el software ARGO. El cual es un software de uso libre y funciona como una extensión de Excel.

A continuación, se presenta un ejemplo de cómo se eligieron los valores para la distribución de probabilidad para la concesión AN. En la **Tabla 6** se presentan los valores en dinero de flujo, inversión y costos según escenario económico y manteniendo una tasa de descuento de 5% y una duración de la conexión vial de 35 años. En el **Anexo 4** se encuentra una versión de la tabla completa.

**Tabla 6.** Valores totales de flujo vehicular, inversión y costos de concesión vial AN (\$)

	AN		
	Flujo vehicular	Inversión	Costos
Pesimista	228.951.876	9.441.697	6.018.006
Tendencial	241.809.567	9.441.697	6.018.006
Optimista	323.563.842	9.863.294	6.139.916
Mínimo	228.951.876	9.441.697	6.018.006
Máximo	323.563.842	9.863.294	6.139.916
Promedio	264.775.095	9.582.229	6.058.643

**Fuente:** Elaboración propia

Luego de encontrados los valores de flujo, inversión y costos, se calcula el mínimo y el máximo para cada una de las categorías y finalmente se calcula el promedio. Con esto obtenido se tienen los valores necesarios para la distribución triangular.

Al realizar la simulación con estos valores mediante la simulación de Monte Carlo, los valores promedio obtenidos son presentados en la **Tabla 7**. La que presenta los resultados del escenario base y simulación por cada concesión en \$/km.

**Tabla 7.** Comparación resultados tarifa simulación y tarifa mínima (\$/km)

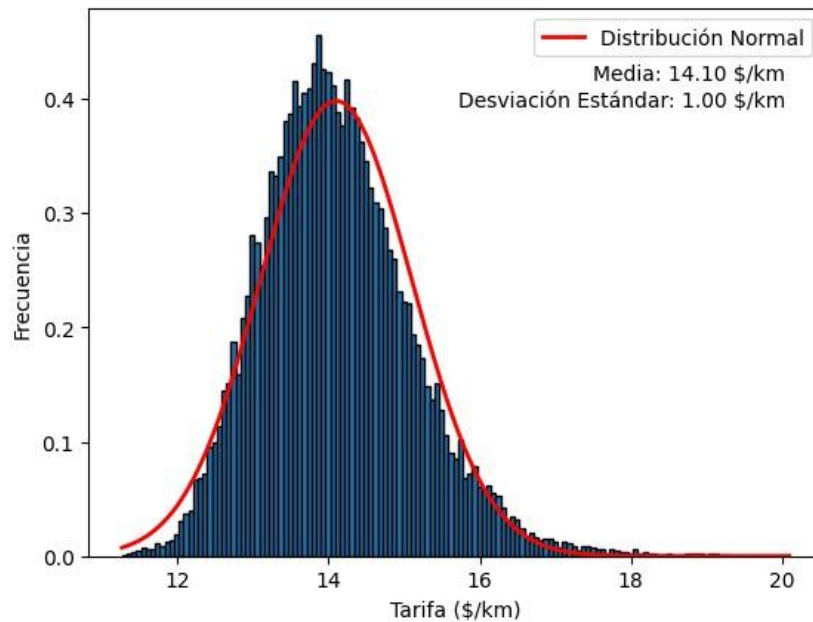
	Ruta concesionada				
	AN	3P	RI	CHCO	CC
Tarifa simulación	30,73	16,92	28,97	14,10	24,81
Tarifa escenario base	33,22	18,18	31,29	14,83	26,95

**Fuente:** Elaboración propia

Los resultados presentados en la **Tabla 7** son valores promedios obtenidos tanto de la simulación como de los casos de cálculo del escenario base. En general los resultados tienden a ser muy similares a los obtenidos en el escenario de tarifa mínima, llegando a ser incluso menores.

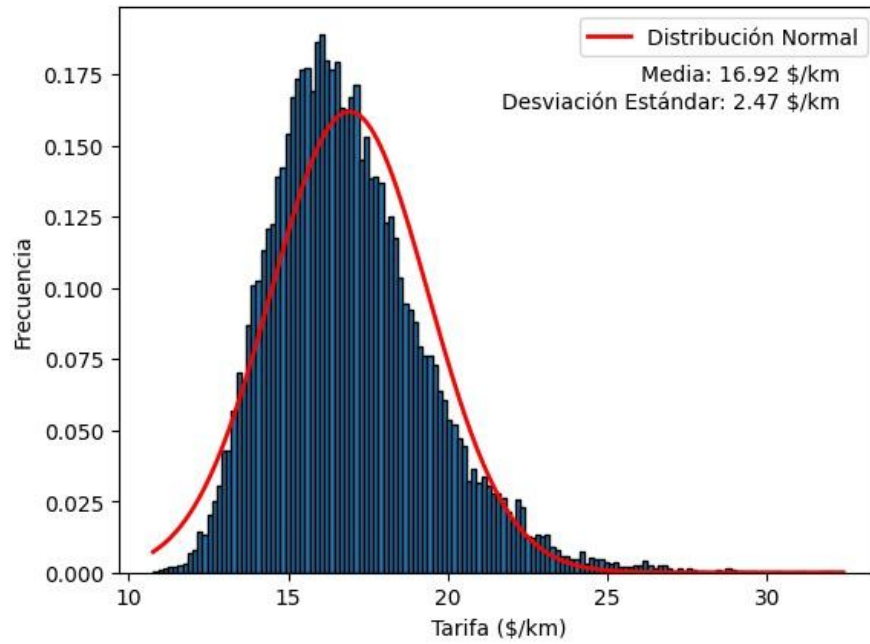
Se realizó un análisis para los resultados de tarifa obtenidos por la simulación haciendo histogramas que muestren su distribución en la **Figura 1**, **Figura 2**, **Figura 3**, **Figura 4** y **Figura 5**. En el eje vertical muestra la frecuencia del resultado y vertical la tarifa en \$/km.

**Figura 1.** Distribución de resultados en histograma de simulación de Monte Carlo CHCO



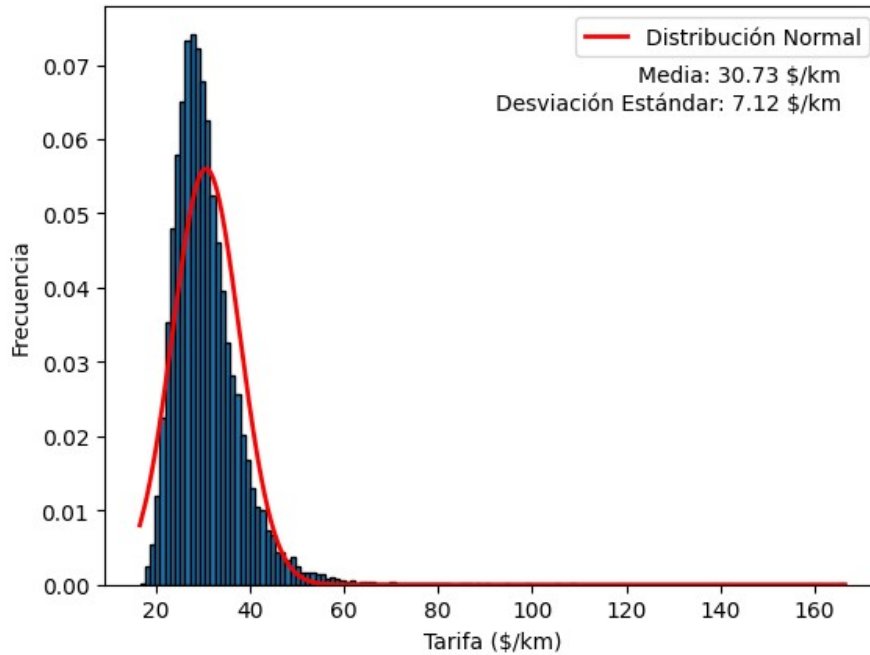
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 2.** Distribución de resultados en histograma de simulación de Monte Carlo para 3P



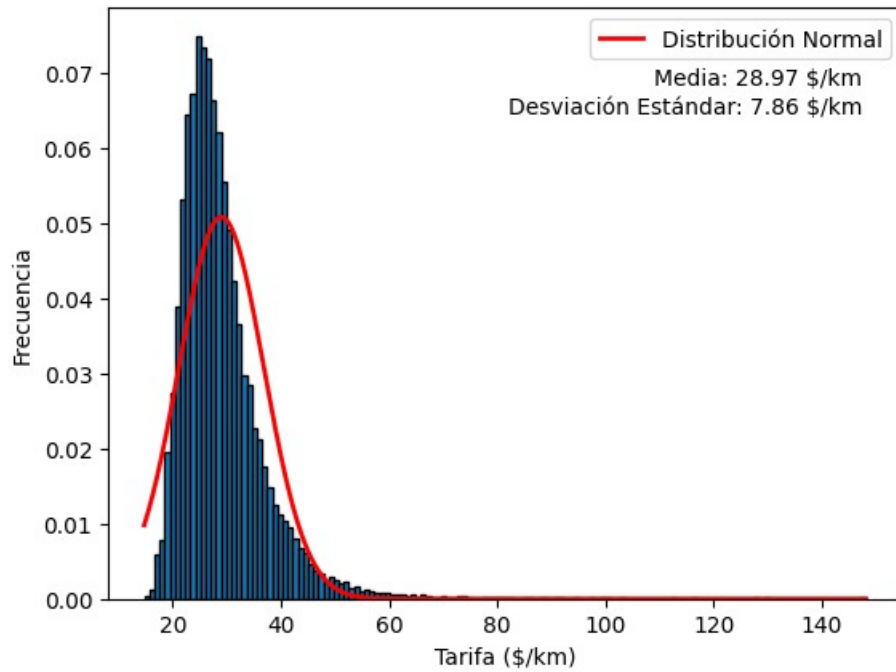
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.** Distribución de resultados en histograma de simulación de Monte Carlo para AN



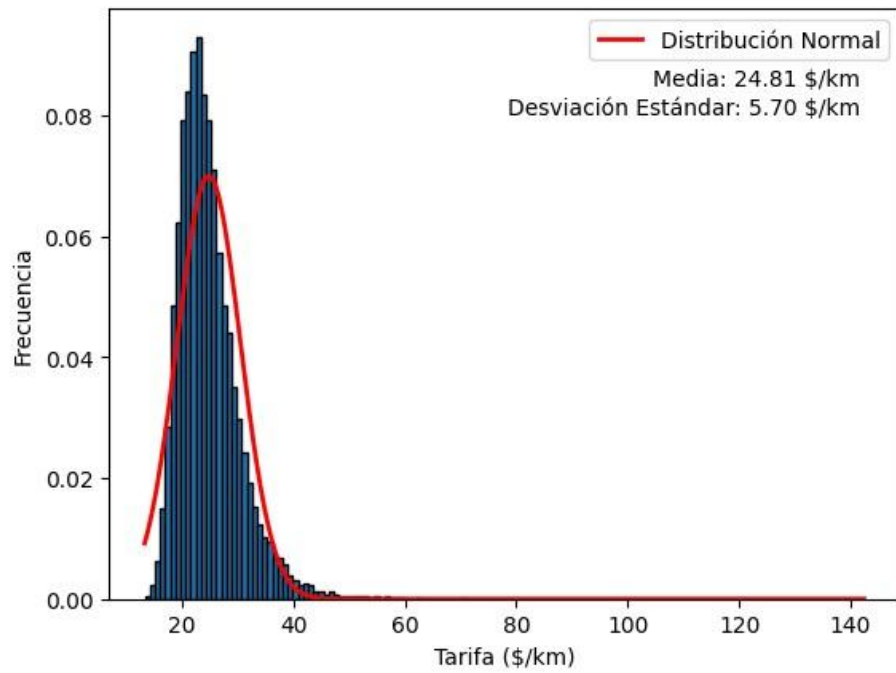
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.** Distribución de resultados en histograma de simulación de Monte Carlo para RI



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 5.** Distribución de resultados en histograma de simulación de Monte Carlo para CC



**Fuente:** Elaboración propia

Los resultados presentados muestran que las distribuciones presentadas para las rutas CC y 3P se asemejan bastante a una distribución normal, teniendo ambas una cola hacia la derecha indicando una pequeña asimetría positiva. La asimetría positiva es más evidente para las rutas AN, RI y CHCO. Lo que podría ser signo de la existencia de valores extremos en la distribución que son más significativos para las concesiones AN, RI y CHCO.

En la **Tabla 8** se muestran los intervalos de confianza para la media de los resultados de la simulación con un 95% de certeza. De estos resultados se obtienen intervalos muy pequeños que se pueden deber a la cantidad de iteraciones y poca variabilidad de la simulación. Aun así, los resultados muestran una tarifa en al menos un 95% de certeza menor a la tarifa calculada en el escenario base para todas las concesiones viales de la Región del Biobío.

**Tabla 8.** Intervalos de confianza por concesión (\$/km)

Ruta concesionada	Límites intervalo de confianza	
	Límite inferior	Límite superior
<b>AN</b>	30,63	30,83
<b>3P</b>	16,88	16,95
<b>RI</b>	28,86	29,08
<b>CC</b>	24,74	24,89
<b>CHCO</b>	14,09	14,11

Fuente: Elaboración propia

### 5.3. Subsidios cruzados

Para la estimación mediante subsidios cruzados se tuvieron ciertas consideraciones para elegir un escenario medio, estas fueron:

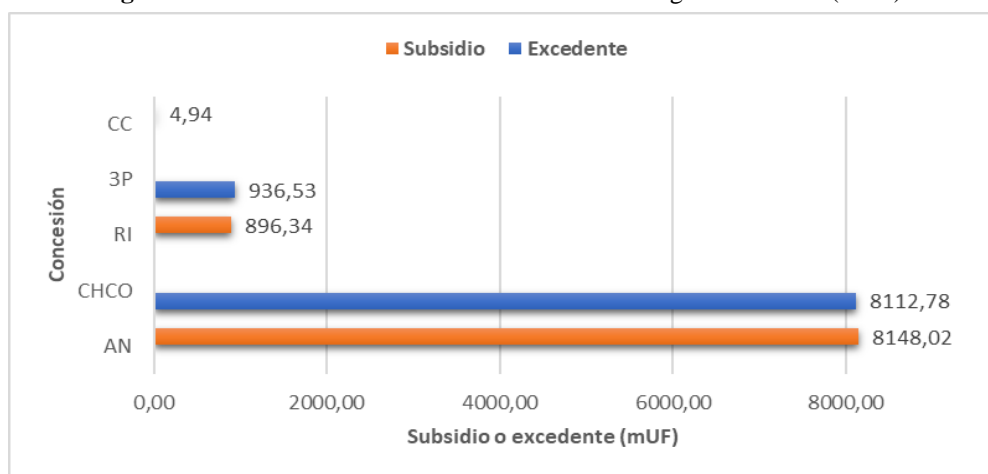
- Se utiliza un escenario económico tendencial.
- Tasa de descuento del 5%.
- Años de licitación de la concesión de 35 años.
- Incobrables del 5%.
- Periodo de depreciación de 100 años.

A partir de esto se identifica la una tarifa única que haga que la ganancia neta del sistema (considerando todas las concesiones) sea cero. Esto se realiza haciendo un equilibrio entre los excedentes y subsidios del sistema. Se identificó aquellas concesiones que tengan

excedentes en ingresos y por lo tanto deben realizar una transferencia al sistema (Subsidio negativo) y las concesiones que necesitan ser subsidiadas para equilibrar el sistema.

En la **Figura 6**. Subsidios cruzados subsidio o excedente según concesión (mUF) se presentan los subsidios o excedentes de las concesiones al realizar subsidios cruzados. En el eje vertical se presentan las concesiones, mientras que en el eje horizontal se muestran el subsidio o excedente según corresponda de cada una de las concesiones.

**Figura 6.** Subsidios cruzados subsidio o excedente según concesión (mUF)



**Fuente:** Elaboración propia

Las concesiones que tienen un subsidio negativo (excedente) son CHCO y 3P, lo que hace sentido debido a que lo presentado en los resultados del escenario base son las dos concesiones viales tienen una menor tarifa. Por otra parte, las concesiones que necesitan de subsidios son las que poseían una tarifa más alta en el escenario base, es decir CC, RI y AN.

Luego de calculado los subsidios, el resultado del ejercicio de calcular una tarifa única para las concesiones viales del Biobío es presentado en la **Tabla 9**. Comparación tarifa escenario base con subsidios cruzados (\$/km) junto con el promedio de la tarifa de escenario base y el promedio del modelo con variabilidad, esto para cada categoría de vehículo. Los resultados presentados indican que se logra bajar la tarifa en casi \$5 por km para vehículos livianos, \$10 para bus de 2 ejes y camión de 2 ejes y \$18 para los camiones de 2 o más ejes.

**Tabla 9.** Comparación tarifa escenario base con subsidios cruzados (\$/km)

	Veh. Liviano	Bus 2 ejes	Camión 2 ejes	Camión +2 ejes
<b>Calculo tarifa escenario base</b>	23,37	42,00	42,00	75,00
<b>Calculo tarifa subsidio cruzado</b>	17,93	32,00	32,00	57,00

Fuente: Elaboración propia

## 5.4. Comparativa de resultados

Los resultados obtenidos en los distintos modelos son resumidos en la **Tabla 11** donde se presenta el modelo, principio en que se basa el modelo, resultados de tarifa por cada concesión vial y su interpretación.

**Tabla 10.** Comparación de resultados

Modelo	Principio	Resultado por cada ruta concesionada para vehículo liviano					Interpretación
		AN	3P	RI	CHCO	CC	
Tarifa escenario base	Calcular tarifa que haga VAN cero dada una tasa de descuento para cada concesión. Se consideran escenarios con cambios en tasa de descuento, duración de concesión y escenario económico	33,22	18,18	31,29	14,83	26,95	Según los resultados la tarifa disminuye por: (1) un escenario económico más optimista por el aumento de flujo vehicular, (2) aumentar la duración de la concesión debido a que el tiempo de recuperación de inversión también aumenta y (3) al disminuir la tasa de descuento esto debido a que disminuye el retorno esperado por parte de la concesionaria
Tarifa por simulación	Calcular tarifa que haga VAN cero sensibilizando las variables con simulación de Monte Carlo	30,73	16,92	28,97	14,10	24,81	Al sensibilizar las variables, los resultados se mantienen similares pero menores con respecto a lo calculado en el escenario base. Los resultados no tienen mucha variabilidad lo que puede deberse a consideraciones del modelo. El rango promedio de los intervalos de confianza al 95% es de 0,13 \$/km
Tarifa subsidios cruzados	Calcular tarifa única utilizando subsidios cruzados considerando ganancia neta del sistema cero	17,93	17,93	17,93	17,93	17,93	El considerar una tarifa única disminuye significativamente la tarifa en la mayoría de las concesiones viales considerando los otros dos modelos. Además, según los resultados para este modelo no es necesario aportes externos

Fuente: Elaboración propia

Los resultados presentados para las tarifas de escenario base y simulación son el promedio obtenido por concesión vial. Para el caso de subsidios cruzados la tarifa es única para las concesiones viales

## 6. Conclusiones

En esta memoria de título se realizó un estudio sobre el comportamiento de la tarifa en las rutas concesionadas de la Región del Biobío. Se aplicó el modelo de cálculo propuesto por Echaveguren et al. (2020) para (1) el cálculo de tarifa con VAN cero y una tasa de descuento determinada, (2) agregar variabilidad a los de cálculos de tarifa y (3) el cálculo de una tarifa única por kilómetro recorrido mediante subsidios cruzados.

Para la aplicación de los modelos de cálculo, se conformó una base de datos para las concesiones viales de la Región del Biobío. Donde se tomó en consideración para el cálculo de flujo vehicular, costos e inversión los niveles de servicio, costos de mantención, costos de operación, ampliación a terceras pistas, inversiones iniciales y valores residuales. Además de estimar los flujos vehiculares en base a variaciones del PIB por escenario económico.

En cuanto a la inversión y los costos de mantención y operación, se debe mencionar que también pueden ser alterados por el flujo vehicular. Realizando un cambio en el escenario económico de pesimista a optimista, hay un aumento de en promedio 9,47% en inversión y 4,92% en los costos totales. Esto se debe en el caso de la inversión a que las concesiones viales deben cumplir los niveles de servicio, al aumentar el flujo vehicular los niveles de densidad vehicular aumentarían pudiendo no cumplir con los niveles de servicio teniendo que realizar nuevas inversiones en ampliación de pistas, mantenimientos más recurrentes y/o controlar las filas en caso de peajes manuales.

Los resultados obtenidos en el escenario base son tarifas mucho menores a las tarifas actuales. Considerando las tarifas actuales dividiendo por la longitud de la concesión vial y al compararlas con las tarifas del escenario base, las tarifas actuales son un 37,2% mayor para AN, 58,2% para CHCO, 65,1% para RI, 42,8% para 3P y 21,4% para CC. En promedio la diferencia con la tarifa actual es de 23,87 \$/km más barato para vehículos livianos.

Se realizó además una sensibilización de los resultados para el escenario base. Uno de los resultados obtenidos es que la tarifa por kilómetro depende del escenario económico existente en el país. La diferencia de tarifa entre el escenario económico pesimista y optimista por concesión es de 6,31 \$/km en promedio. Esto indica que un aumento en el crecimiento



económico del país (aumento del PIB) implica un aumento en el flujo vehicular y por lo tanto a mayor flujo vehicular, menor será la tarifa.

La variación de la tarifa con respecto a la variación de la tasa de descuento está relacionada con el retorno esperado por la sociedad concesionaria. Lo que implica que proyectos más riesgosos tendrán una tasa de descuento más alta y por ende una tarifa mayor. En el escenario base ocurre un cambio de en promedio 4,34 \$/km pasando de una tasa de descuento del 4% al 6%. Una propuesta para esta situación podría ser el aumento de la duración de la concesión ya que al pasar de 25 años de duración a 35 años la tarifa se reduce en promedio 5,19 \$/km.

En cuanto al modelo con variabilidad las tarifa comparándolas con el escenario base resultan en promedio muy similar. La diferencia es en promedio de 1,64 \$/km más bajo en favor del modelo con variabilidad. Al aplicar la simulación de Monte Carlo al cálculo de tarifa, se observan resultados muy similares a los obtenidos en los escenarios de tarifa mínima reduciendo en promedio 1,78 \$/km esto es una reducción del 6,94%. Para las rutas de AN, RI y CHCO se ven resultados de tarifa con una mayor dispersión. Esta dispersión a su vez está relacionada con valores de tarifa mayores lo que podría indicar una fuente de riesgos asociadas. Aun así, según lo calculado el 95% de los resultados son tarifas menores a lo obtenido en el escenario base.

El modelo de subsidios cruzados es claramente el que obtiene la menor tarifa. La tarifa promedio actual en las concesiones viales de la Región del Biobío por vehículo liviano es un 57,2% mayor a lo obtenido con subsidios cruzados. En comparación con el escenario base en promedio por concesión es 6,96 \$/km más barato y 5,17 \$/km con respecto al modelo con variabilidad. Esto hace que sea un modelo sumamente llamativo, pero a su vez muy difícil de aplicar, esto debido a que requiere una gran inversión, puedan provocar sesgos en la asignación de recursos, necesidad de un “sistema de concesiones” para operar, aumento de tarifa en zonas con poco flujo vehicular y bajo nivel socioeconómico, entre otras.

Considerando que uno de los objetivos principales de la política tarifaria es la sustentabilidad económica y financiera de las concesiones. Los modelos propuestos indican un retorno de inversión razonable en cuanto a los propuestos en literatura esto para que el proyecto sea factible y atractivo de realizar. Las tarifas calculadas en los tres modelos de cálculo son

mucho menores a las actuales y desde el punto de vista de la tarifa el modelo más recomendado es el de una tarifa única a través de subsidios cruzados.

Implementar un sistema por cobro por kilómetro aparte de cambiar la forma en que se cobra la tarifa, implica un cambio en la tecnología necesaria para cobro. Esto provocaría un efecto en la inversión de la ruta concesionada, haciendo que haya un aumento en la tarifa por kilómetro. Pero a su vez los beneficios provocados por un sistema más veloz de pago, que controle un flujo constante de vehículos y que la tarifa se acerque más a lo consumido por el usuario hace que sea una opción más que razonable.

Los resultados de esta memoria de título presentan limitaciones y podrían ser mejorados. En primer lugar, agregando un modelo de proyección vehicular que considere más variables o alguna más que solo el PIB, ya que durante el periodo de estudio surgieron acontecimientos que hacen que no sea lo suficientemente representativo. Por otra parte, existe dificultad para comparar los resultados de tarifa por kilómetro ya que en Chile aún no es común este sistema de cobro.

Una futura investigación podría profundizar lo realizado en esta Memoria de Título. Esto podría ser la simulación e inclusión de nuevos flujos vehiculares. Estos provenientes de las 2 concesiones viales que se encuentran en construcción en la Región del Biobío. Medir y estimar el impacto de como esto podría afectar tanto el flujo vehicular como la tarifa de las concesiones ya existentes.

## 7. Bibliografía

- AVO. (2022). Obtenido de <https://www.avo.cl/contenido/40/todo-sobre-el-tag>
- Binder, C. (13 de Marzo de 2023). 30 años del sistema de concesiones. *Diario Financiero*.
- CITRA. (1993). *Desarrollo de un sistema de tarificación para transporte interurbano*. Santiago.
- CPI. (2021). *Aspectos relevantes del estudio para una política tarifaria para la concesión de la ruta 5*. Obtenido de <https://www.infraestructurapublica.cl/https://www.infraestructurapublica.cl/wp-content/uploads/2022/01/POLITICA-TARIFARIA-RUTA-5-1.pdf#:~:text=En%20el%20E2%80%9CEstudio%20de%20Pol%C3%ADtica%20Tarifaria%20para%20la,beneficios%20sociales%20para%20el%20pa%C3%ADs%20en%20su%20conjunto>.
- DGC. (2023). *Dirección General de Concesiones*. Obtenido de DGC: <https://concesiones.mop.gob.cl/proyectos/Paginas/default.aspx>
- DGC. (2023). *Dirección General de Concesiones*. Obtenido de <https://concesiones.mop.gob.cl/proyectos/Paginas/detalleExplotacion.aspx?item=67>
- Dirección General de Concesiones de Obras Públicas. (2023). *Informe trimestral enero-marzo*.
- Dirección General de Concesiones. (s.f.). *Quiénes Somos: Dirección General de Concesiones*. Obtenido de Dirección General de Concesiones: [https://concesiones.mop.gob.cl/quienes\\_somos/Paginas/default.aspx](https://concesiones.mop.gob.cl/quienes_somos/Paginas/default.aspx)
- Echaveguren et al., T. (2020). *Estudio de política tarifaria para la concesión de Ruta 5. Consejo de Políticas de Infraestructura (CPI)*.
- Engel et al., E. (1997). *¿CÓMO LICITAR UNA CONCESIÓN VIAL URBANA?*
- Huang, J. (2023). Comparison Between NPV and IRR: Evaluation of Investment. *BCP Business & Management*, 40.

- IBM. (2023). *¿Que es la simulación de monte carlo?* Obtenido de IBM:  
<https://www.ibm.com/es-es/topics/monte-carlo-simulation>
- IKONS ATN. (2017). *Estudio de tarifas en carreteras y autopistas urbanas en Chile.*
- Lizana, D. M. (2002). *Políticas de concesión vial: análisis de las experiencias de Chile, Colombia y Perú.* Obtenido de <https://hdl.handle.net/11362/7266>
- Ministerio de Obras Públicas. (2016). *Concesiones de Obras Públicas en Chile, 20 años.* Estudios Nacionales Finales.
- Ministerio de Obras Públicas. (Marzo de 2023). *Dirección General de Concesiones.* Obtenido de <https://concesiones.mop.gob.cl/peajesporticos/Paginas/valores.aspx>
- MOP. (2016). *Valor del patrimonio vial de la red vial nacional .* Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Vialidad.
- Sudong, Y., & Tiong, R. (2003). The effect of concession period design on completion risk management of BOT projects. *Construction Management and Economics*, 471-482.
- Vega, L. (2022). *Tarificación por kilómetro recorrido en autopistas: El caso Ruta 5 en el tramo entre Arica y Caldera.*
- Xu, Y. J. (2012). *DEVELOPING A CONCESSION PRICING MODEL FOR PPP HIGHWAY PROJECTS.*

## 8. Anexos

### 8.1. Anexo 1. Cálculo de flujo vehicular

En el **Anexo 1** se muestra el método utilizado para estimar el flujo vehicular futuro en las rutas concesionadas del Biobío a partir de los flujos del periodo 2015 hasta 2022. A modo de ejemplo se presenta lo realizado para la ruta CC. En la **Tabla 11**. Flujo vehicular CC según tipo de vehículo y PIB (mUF) se presenta la distribución de flujo vehicular por categoría de vehículo de la ruta CC y el PIB del año en mUF.

**Tabla 11.** Flujo vehicular CC según tipo de vehículo y PIB (mUF)

Año	Autos y camionetas	Buses	Camiones 2 ejes	Camiones + 2 ejes	PIB
2015	3.319.846	247.963	178.495	758.113	264,6
2016	3.537.902	260.684	196.934	805.384	269,1
2017	3.555.824	255.749	205.084	865.420	272,3
2018	3.789.578	252.006	211.895	939.724	283,0
2019	3.737.805	255.516	200.907	920.200	286,0
2020	3.282.425	133.104	198.191	904.085	264,6
2021	4.708.380	150.377	239.983	1.034.419	277,1
2022	5.281.997	195.069	268.139	1.062.394	286,5

**Fuente:** Elaboración propia con datos recopilados de DGC (2023)

Con esto, se realiza una estimación que utilizó como variable dependiente de la regresión el flujo vehicular de la concesión  $i$  en el periodo  $n$ , mientras que la independiente es el PIB del periodo  $n$ . Los datos utilizados para la regresión corresponden a los flujos vehiculares y PIB del 2015 a 2022. La **Ecuación (10)** muestra la regresión utilizada para la estimación de cada uno flujos vehiculares según tipo de vehículo, concesión y año.

$$\text{Flujo}_{in} = a + b * \text{PIB}_n \quad (10)$$

Los coeficientes de la regresión lineal para CC son presentados en la **Tabla 12** se presentan de acuerdo con el tipo de vehículo.

**Tabla 12.** Coeficientes de regresión lineal para CC

Coeficientes	Autos y camionetas	Buses	Camiones 2 ejes	Camiones + 2 ejes
a	-19.849.624,00	-198.487,00	-1.113.402,17	573.493,27
b	84.118,95	928,36	4.639,17	657,30

**Fuente:** Elaboración propia

A partir de los coeficientes de la ecuación a y b se estiman los flujos vehiculares futuros. Para esto es necesario reemplazar en la **Ecuación (10)** con datos del PIB del periodo. Los datos de PIB utilizados son presentados en la **Tabla 13** los cuales están clasificados según escenarios determinados por Echaveguren et al. (2020)

**Tabla 13.** Estimación variación PIB

Año	Escenario		
	Pesimista	Tendencial	Optimista
2022	2,06%	2,26%	3,39%
2023	2,06%	2,26%	3,39%
2024	2,06%	2,26%	3,39%
2025	2,06%	2,26%	3,39%
2026	2,06%	2,26%	3,39%
2027	2,06%	2,26%	3,39%
2028	2,06%	2,26%	3,39%
2029	2,06%	2,26%	3,39%
2030	2,04%	2,23%	3,35%
2031	2,00%	2,19%	3,29%
2032	1,97%	2,16%	3,24%
2033	1,94%	2,12%	3,18%
2034	1,90%	2,08%	3,12%
2035	1,87%	2,05%	3,07%
2036	1,83%	2,01%	3,01%
2037	1,80%	1,97%	2,96%
2038	1,77%	1,94%	2,91%
2039	1,73%	1,90%	2,85%
2040	1,70%	1,86%	2,79%
2041	1,66%	1,82%	2,73%
2042	1,63%	1,79%	2,68%
2043	1,59%	1,75%	2,62%
2044	1,56%	1,71%	2,57%
2045	1,56%	1,71%	2,57%
2046	1,56%	1,71%	2,57%
2047	1,56%	1,71%	2,57%
2048	1,56%	1,71%	2,57%
2049	1,56%	1,71%	2,57%
2050	1,56%	1,71%	2,57%
2051	1,56%	1,71%	2,57%
2052	1,56%	1,71%	2,57%
2053	1,56%	1,71%	2,57%
2054	1,56%	1,71%	2,57%
2055	1,56%	1,71%	2,57%
2056	1,56%	1,71%	2,57%
2057	1,56%	1,71%	2,57%

**Fuente:** Echaveguren et al. (2020)

Con estos datos se estima el flujo, composición vehicular y TMDA para cada ruta según el escenario económico. Esto es presentado en la **Tabla 14**, **Tabla 15** y **Tabla 16** para los escenarios optimista, tendencial y pesimista respectivamente.

**Tabla 14.** Flujo vehicular ruta CC según tipo de vehículo y TMDA para un escenario económico optimista

Año	Autos y Camionetas	Buses	Camiones 2 ejes	Camiones + 2 ejes	PIB	TMDA
2022	4.249.923	67.482	215.691	761.806	286,5	14.506,6
2023	5.066.898	76.498	260.748	768.189	296,2	16.910,5
2024	5.911.568	85.820	307.331	774.790	306,2	19.395,9
2025	6.784.873	95.458	355.494	781.614	316,6	21.965,6
2026	7.687.782	105.423	405.290	788.669	327,4	24.622,4
2027	8.621.300	115.725	456.773	795.963	338,5	27.369,2
2028	9.586.464	126.377	510.002	803.505	349,9	30.209,2
2029	10.584.348	137.390	565.036	811.302	361,8	33.145,4
2030	11.603.886	148.642	621.263	819.269	373,9	36.145,4
2031	12.638.706	160.062	678.334	827.355	386,2	39.190,3
2032	13.691.328	171.679	736.386	835.580	398,7	42.287,6
2033	14.757.931	183.451	795.209	843.914	411,4	45.426,0
2034	15.837.686	195.367	854.758	852.352	424,2	48.603,2
2035	16.933.287	207.458	915.181	860.913	437,3	51.827,0
2036	18.040.452	219.677	976.241	869.564	450,4	55.084,8
2037	19.161.999	232.055	1.038.094	878.328	463,8	58.384,9
2038	20.297.237	244.584	1.100.703	887.198	477,3	61.725,3
2039	21.441.422	257.211	1.163.805	896.139	490,9	65.092,0
2040	22.593.442	269.925	1.227.339	905.141	504,6	68.481,8
2041	23.752.138	282.713	1.291.241	914.195	518,3	71.891,2
2042	24.920.665	295.609	1.355.686	923.325	532,2	75.329,5
2043	26.093.647	308.554	1.420.376	932.491	546,2	78.781,0
2044	27.274.389	321.585	1.485.494	941.717	560,2	82.255,3
2045	28.485.476	334.951	1.552.285	951.181	574,6	85.818,9
2046	29.727.688	348.661	1.620.794	960.887	589,4	89.474,1
2047	31.001.825	362.722	1.691.062	970.843	604,5	93.223,2
2048	32.308.707	377.145	1.763.137	981.055	620,1	97.068,6
2049	33.649.177	391.939	1.837.064	991.529	636,0	101.012,9
2050	35.024.096	407.113	1.912.891	1.002.273	652,3	105.058,6
2051	36.434.350	422.677	1.990.667	1.013.293	669,1	109.208,2
2052	37.880.848	438.641	2.070.442	1.024.595	686,3	113.464,5
2053	39.364.522	455.015	2.152.266	1.036.189	703,9	117.830,1
2054	40.886.325	471.810	2.236.194	1.048.080	722,0	122.308,0
2055	42.447.239	489.037	2.322.279	1.060.277	740,6	126.900,9
2056	44.048.268	506.706	2.410.576	1.072.787	759,6	131.611,9
2057	45.690.444	524.830	2.501.142	1.085.619	779,1	136.443,9
2058	47.374.824	543.419	2.594.036	1.098.781	799,2	141.400,2

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 15.** Flujo vehicular ruta CC según tipo de vehículo y TMDA para un escenario económico tendencial

Año	Autos y Camionetas	Buses	Camiones 2 ejes	Camiones + 2 ejes	PIB	TMDA
2022	3.986.528	64.575	201.165	759.747	283,4	13.731,5
2023	4.525.225	70.520	230.874	763.957	289,8	15.316,6
2024	5.076.096	76.600	261.255	768.261	296,3	16.937,6
2025	5.639.418	82.816	292.322	772.663	303,0	18.595,1
2026	6.215.470	89.174	324.091	777.164	309,9	20.290,1
2027	6.804.541	95.675	356.579	781.767	316,9	22.023,5
2028	7.406.925	102.323	389.800	786.474	324,0	23.796,0
2029	8.022.923	109.121	423.773	791.288	331,3	25.608,5
2030	8.644.481	115.981	458.052	796.144	338,7	27.437,4
2031	9.268.502	122.868	492.467	801.020	346,2	29.273,6
2032	9.897.453	129.809	527.153	805.935	353,6	31.124,2
2033	10.528.091	136.769	561.933	810.863	361,1	32.979,9
2034	11.159.948	143.742	596.780	815.800	368,6	34.839,1
2035	11.795.644	150.758	631.839	820.767	376,2	36.709,6
2036	12.431.714	157.778	666.918	825.738	383,8	38.581,2
2037	13.067.656	164.796	701.990	830.707	391,3	40.452,5
2038	13.706.252	171.844	737.209	835.697	398,9	42.331,5
2039	14.343.813	178.880	772.371	840.679	406,5	44.207,5
2040	14.979.811	185.899	807.446	845.648	414,0	46.078,9
2041	15.613.707	192.895	842.406	850.601	421,6	47.944,1
2042	16.248.500	199.901	877.414	855.562	429,1	49.812,0
2043	16.880.218	206.873	912.254	860.498	436,6	51.670,8
2044	17.508.298	213.804	946.892	865.406	444,1	53.518,9
2045	18.147.118	220.855	982.124	870.397	451,7	55.398,6
2046	18.796.863	228.025	1.017.957	875.474	459,4	57.310,5
2047	19.457.718	235.319	1.054.403	880.638	467,3	59.255,0
2048	20.129.873	242.737	1.091.473	885.890	475,3	61.232,8
2049	20.813.523	250.282	1.129.176	891.232	483,4	63.244,4
2050	21.508.862	257.956	1.167.524	896.666	491,7	65.290,4
2051	22.216.093	265.761	1.206.528	902.192	500,1	67.371,4
2052	22.935.416	273.699	1.246.199	907.813	508,6	69.488,0
2053	23.667.040	281.774	1.286.548	913.530	517,3	71.640,8
2054	24.411.175	289.986	1.327.587	919.344	526,2	73.830,4
2055	25.168.035	298.339	1.369.328	925.258	535,2	76.057,4
2056	25.937.837	306.835	1.411.783	931.274	544,3	78.322,5
2057	26.720.803	315.476	1.454.963	937.392	553,6	80.626,4
2058	26.804.922	316.404	1.459.603	938.049	554,6	80.873,9

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 16.** Flujo vehicular ruta CC según tipo de vehículo y TMDA para un escenario económico pesimista

Año	Autos y Camionetas	Buses	Camiones 2 ejes	Camiones + 2 ejes	PIB	TMDA
2022	3.939.909	64.060	198.594	759.383	282,8	13.594,4
2023	4.429.973	69.469	225.621	763.212	288,6	15.036,4
2024	4.930.133	74.989	253.205	767.121	294,6	16.508,1
2025	5.440.596	80.622	281.357	771.109	300,6	18.010,1
2026	5.961.575	86.372	310.089	775.180	306,8	19.543,1
2027	6.493.285	92.240	339.413	779.335	313,2	21.107,6
2028	7.035.949	98.229	369.341	783.575	319,6	22.704,4
2029	7.589.792	104.341	399.885	787.903	326,2	24.334,0
2030	8.149.556	110.519	430.757	792.277	332,9	25.981,1
2031	8.709.540	116.699	461.640	796.653	339,5	27.628,9
2032	9.272.155	122.908	492.668	801.049	346,2	29.284,3
2033	9.837.118	129.143	523.826	805.464	352,9	30.946,7
2034	10.401.166	135.368	554.933	809.871	359,6	32.606,4
2035	10.966.856	141.611	586.131	814.291	366,3	34.270,9
2036	11.530.797	147.835	617.232	818.698	373,0	35.930,3
2037	12.095.645	154.069	648.384	823.112	379,8	37.592,4
2038	12.661.076	160.309	679.568	827.530	386,5	39.256,1
2039	13.223.511	166.516	710.586	831.925	393,2	40.911,1
2040	13.785.754	172.721	741.594	836.318	399,9	42.565,4
2041	14.344.102	178.884	772.387	840.681	406,5	44.208,4
2042	14.901.459	185.035	803.125	845.036	413,1	45.848,4
2043	15.454.002	191.133	833.598	849.354	419,7	47.474,2
2044	16.004.738	197.211	863.971	853.657	426,2	49.094,7
2045	16.564.066	203.384	894.818	858.028	432,9	50.740,5
2046	17.132.120	209.653	926.146	862.466	439,6	52.412,0
2047	17.709.035	216.020	957.963	866.974	446,5	54.109,6
2048	18.294.950	222.486	990.276	871.553	453,5	55.833,6
2049	18.890.005	229.053	1.023.094	876.202	460,5	57.584,5
2050	19.494.344	235.723	1.056.423	880.925	467,7	59.362,8
2051	20.108.110	242.497	1.090.272	885.720	475,0	61.168,8
2052	20.731.450	249.376	1.124.650	890.591	482,4	63.002,9
2053	21.364.515	256.363	1.159.563	895.538	490,0	64.865,7
2054	22.007.456	263.458	1.195.022	900.562	497,6	66.757,5
2055	22.660.426	270.665	1.231.033	905.664	505,4	68.678,9
2056	23.323.583	277.983	1.267.606	910.846	513,2	70.630,2
2057	23.997.085	285.416	1.304.750	916.109	521,2	72.611,9
2058	24.681.093	292.965	1.342.473	921.453	529,4	74.624,6

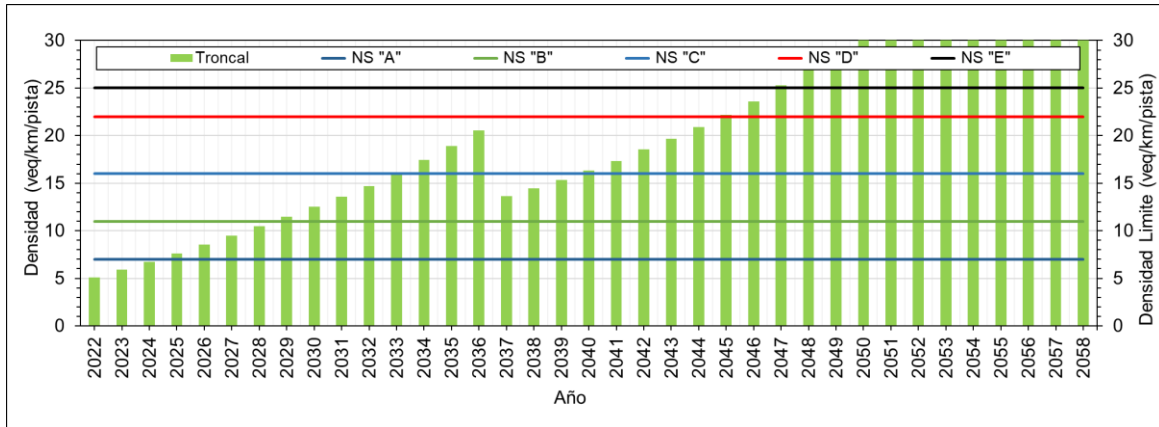
Fuente: Elaboración propia

## 8.2. Anexo 2. Cálculo nivel de servicio GESITRAN

En el **Anexo 2** se muestra el modelo de cálculo proporcionado por el GESITRAN para el cálculo del nivel de servicio en las rutas concesionadas de la región del Biobío. El modelo está ajustado con valores de rutas en terreno llano, que es lo que corresponde, en general, a las rutas de la región. Al modelo basta con modificar el TMDA para el cálculo de nivel de servicio, modificar el número de pistas a 6 desde el año que se supere el nivel D y truncar el tráfico la siguiente vez que se supere el nivel D.

En el **Gráfico 2** se muestra el modelo para cálculo de nivel de servicio utilizado. El gráfico muestra la densidad vehicular por año según el escenario económico de estudio. El caso de ejemplo se muestra se modifica el número de pistas a 6 en el momento que por primera vez se supera el nivel de servicio “D” marcado con una línea roja en la figura. Mientras que la inversión por ampliación terceras pistas es realizada la segunda vez que supera el nivel de servicio “D”. Luego el flujo es truncado en la estimación manteniéndose desde ese año en adelante.

**Gráfico 2.** Densidad de flujo ruta CC escenario económico optimista



**Fuente:** Proporcionado por GESITRAN

En la **Tabla 17** se presenta el TMDA, número total de pista, nivel de servicio y la saturación de la ruta. Se puede apreciar que la primera vez que se supera el nivel de servicio D es en el año 2037, por lo que modifica a 6 pistas. La segunda vez que supera el nivel de servicio D es

el año 2046 por lo que se debe realizar una inversión por tercera pista y truncar el flujo vehicular.

**Tabla 17.** Flujo vehicular ruta CC según tipo de vehículo y TMDA para un escenario económico pesimista

<b>Año</b>	<b>TMDA</b>	<b>N.º total pistas</b>	<b>Nivel de Servicio</b>	<b>Saturación</b>
2022	14.507	4	A	No Saturado
2023	16.911	4	A	No Saturado
2024	19.396	4	A	No Saturado
2025	21.966	4	B	No Saturado
2026	24.622	4	B	No Saturado
2027	27.369	4	B	No Saturado
2028	30.209	4	B	No Saturado
2029	33.145	4	C	No Saturado
2030	36.145	4	C	No Saturado
2031	39.190	4	C	No Saturado
2032	42.288	4	C	No Saturado
2033	45.426	4	D	No Saturado
2034	48.603	4	D	No Saturado
2035	51.827	4	D	No Saturado
2036	55.085	4	D	No Saturado
2037	58.385	6	C	No Saturado
2038	61.725	6	C	No Saturado
2039	65.092	6	C	No Saturado
2040	68.482	6	D	No Saturado
2041	71.891	6	D	No Saturado
2042	75.330	6	D	No Saturado
2043	78.781	6	D	No Saturado
2044	82.255	6	D	No Saturado
2045	85.819	6	D	No Saturado
2046	89.474	6	E	No Saturado
2047	93.223	6	E	Saturado
2048	97.069	6	E	Saturado
2049	101.013	6	E	Saturado
2050	105.059	6	E	Saturado
2051	109.208	6	E	Saturado
2052	113.464	6	E	Saturado
2053	117.830	6	E	Saturado
2054	122.308	6	E	Saturado
2055	126.901	6	E	Saturado
2056	131.612	6	E	Saturado
2057	136.444	6	E	Saturado
2058	141.400	6	E	Saturado

**Fuente:** Elaboración propia

### 8.3. Anexo 3. Cálculo de tarifa

A continuación, se presentan las tablas resumen de los datos requeridos para obtener las tarifas para cada una de las concesiones estudiadas en esta memoria de título. En la **Tabla 18, Tabla 19, Tabla 20, Tabla 21 y Tabla 22** se muestran los flujos vehiculares truncados.

**Tabla 18.** Valores flujo vehicular y TMDA según escenario económico ruta 3P

AÑO	Optimista		Pesimista		Tendencial	
	TMDA	Flujo ponderado	TMDA	Flujo ponderado	TMDA	Flujo ponderado
2022	16.303	8.004.213	15.660	7.713.003	15.757	7.756.794
2023	17.997	8.771.634	16.676	8.173.342	16.874	8.262.816
2024	19.749	9.565.070	17.713	8.643.164	18.016	8.780.274
2025	21.560	10.385.404	18.772	9.122.665	19.184	9.309.427
2026	23.432	11.233.547	19.852	9.612.043	20.379	9.850.538
2027	25.368	12.110.442	20.955	10.111.503	21.600	10.403.879
2028	27.369	13.017.064	22.080	10.621.251	22.849	10.969.725
2029	29.438	13.954.420	23.229	11.141.500	24.127	11.548.360
2030	31.553	14.912.117	24.389	11.667.312	25.416	12.132.217
2031	33.699	15.884.170	25.551	12.193.329	26.710	12.718.387
2032	35.881	16.872.945	26.717	12.721.819	28.014	13.309.189
2033	38.093	17.874.852	27.889	13.252.513	29.322	13.901.576
2034	40.332	18.889.114	29.059	13.782.349	30.632	14.495.107
2035	42.604	19.918.260	30.232	14.313.726	31.950	15.092.244
2036	44.900	20.958.270	31.401	14.843.462	33.269	15.689.733
2037	47.226	22.011.789	32.572	15.374.048	34.588	16.287.102
2038	49.580	23.078.168	33.745	15.905.183	35.912	16.886.963
2039	51.953	24.152.953	34.911	16.433.503	37.234	17.485.853
2040	54.342	25.235.096	36.077	16.961.643	38.553	18.083.274
2041	56.744	26.323.511	37.235	17.486.124	39.868	18.678.720
2042	59.168	27.421.160	38.391	18.009.675	41.184	19.275.010
2043	61.600	28.522.994	39.537	18.528.702	42.494	19.868.410
2044	64.048	29.632.118	40.679	19.046.034	43.797	20.458.394
2045	66.560	30.769.746	41.839	19.571.435	45.121	21.058.467
2046	69.136	31.936.611	43.017	20.105.033	46.469	21.668.800
2047	71.778	33.133.464	44.213	20.646.955	47.839	22.289.571
2048	74.488	34.361.077	45.428	21.197.331	49.233	22.920.956
2049	77.268	35.620.239	46.662	21.756.293	50.651	23.563.139
2050	80.119	36.911.762	47.915	22.323.975	52.093	24.216.302
2051	83.043	38.236.477	49.188	22.900.513	53.559	24.880.635
2052	86.043	39.595.237	50.480	23.486.044	55.051	25.556.328
2053	89.120	40.988.917	51.793	24.080.710	56.568	26.243.575
2054	92.275	42.418.415	53.126	24.684.653	58.111	26.942.574
2055	92.275	42.418.415	54.481	25.298.017	59.681	27.653.526
2056	92.275	42.418.415	55.856	25.920.950	61.277	28.376.635
2057	92.275	42.418.415	57.252	26.553.600	62.901	29.112.109
2058	92.275	42.418.415	58.671	27.196.120	63.075	29.191.126

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 19.** Valores flujo vehicular y TMDA según escenario económico ruta AN

AÑO	Optimista		Pesimista		Tendencial	
	TMDA	Flujo ponderado	TMDA	Flujo ponderado	TMDA	Flujo ponderado
2022	16.303	8.004.213	15.660	7.713.003	15.757	7.756.794
2023	17.997	8.771.634	16.676	8.173.342	16.874	8.262.816
2024	19.749	9.565.070	17.713	8.643.164	18.016	8.780.274
2025	21.560	10.385.404	18.772	9.122.665	19.184	9.309.427
2026	23.432	11.233.547	19.852	9.612.043	20.379	9.850.538
2027	25.368	12.110.442	20.955	10.111.503	21.600	10.403.879
2028	27.369	13.017.064	22.080	10.621.251	22.849	10.969.725
2029	29.438	13.954.420	23.229	11.141.500	24.127	11.548.360
2030	31.553	14.912.117	24.389	11.667.312	25.416	12.132.217
2031	33.699	15.884.170	25.551	12.193.329	26.710	12.718.387
2032	35.881	16.872.945	26.717	12.721.819	28.014	13.309.189
2033	38.093	17.874.852	27.889	13.252.513	29.322	13.901.576
2034	40.332	18.889.114	29.059	13.782.349	30.632	14.495.107
2035	42.604	19.918.260	30.232	14.313.726	31.950	15.092.244
2036	44.900	20.958.270	31.401	14.843.462	33.269	15.689.733
2037	47.226	22.011.789	32.572	15.374.048	34.588	16.287.102
2038	49.580	23.078.168	33.745	15.905.183	35.912	16.886.963
2039	51.953	24.152.953	34.911	16.433.503	37.234	17.485.853
2040	54.342	25.235.096	36.077	16.961.643	38.553	18.083.274
2041	56.744	26.323.511	37.235	17.486.124	39.868	18.678.720
2042	59.168	27.421.160	38.391	18.009.675	41.184	19.275.010
2043	61.600	28.522.994	39.537	18.528.702	42.494	19.868.410
2044	64.048	29.632.118	40.679	19.046.034	43.797	20.458.394
2045	66.560	30.769.746	41.839	19.571.435	45.121	21.058.467
2046	69.136	31.936.611	43.017	20.105.033	46.469	21.668.800
2047	71.778	33.133.464	44.213	20.646.955	47.839	22.289.571
2048	74.488	34.361.077	45.428	21.197.331	49.233	22.920.956
2049	77.268	35.620.239	46.662	21.756.293	50.651	23.563.139
2050	80.119	36.911.762	47.915	22.323.975	52.093	24.216.302
2051	83.043	38.236.477	49.188	22.900.513	53.559	24.880.635
2052	86.043	39.595.237	50.480	23.486.044	55.051	25.556.328
2053	89.120	40.988.917	51.793	24.080.710	56.568	26.243.575
2054	92.275	42.418.415	53.126	24.684.653	58.111	26.942.574
2055	92.275	42.418.415	54.481	25.298.017	59.681	27.653.526
2056	92.275	42.418.415	55.856	25.920.950	61.277	28.376.635
2057	92.275	42.418.415	57.252	26.553.600	62.901	29.112.109
2058	92.275	42.418.415	58.671	27.196.120	63.075	29.191.126

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 20.** Valores flujo vehicular y TMDA según escenario económico ruta CHCO

AÑO	Optimista		Pesimista		Tendencial	
	TMDA	Flujo ponderado	TMDA	Flujo ponderado	TMDA	Flujo ponderado
2022	42.438	20.239.086	41.493	19.936.601	41.635	19.982.087
2023	44.929	21.036.219	42.987	20.414.763	43.278	20.507.701
2024	47.505	21.860.374	44.512	20.902.775	44.957	21.045.194
2025	50.168	22.712.469	46.069	21.400.841	46.675	21.594.834
2026	52.921	23.593.449	47.658	21.909.166	48.432	22.156.895
2027	55.768	24.504.295	49.279	22.427.963	50.228	22.731.660
2028	58.711	25.446.018	50.934	22.957.448	52.065	23.319.414
2029	61.754	26.419.666	52.623	23.497.839	53.943	23.920.451
2030	64.863	27.414.443	54.330	24.044.008	55.839	24.526.913
2031	68.019	28.424.130	56.037	24.590.392	57.742	25.135.778
2032	71.229	29.451.187	57.753	25.139.343	59.660	25.749.454
2033	74.481	30.491.885	59.476	25.690.584	61.583	26.364.776
2034	77.774	31.545.417	61.196	26.240.933	63.509	26.981.287
2035	81.115	32.614.408	62.921	26.792.884	65.448	27.601.544
2036	84.491	33.694.684	64.640	27.343.129	67.388	28.222.165
2037	87.911	34.788.991	66.363	27.894.258	69.327	28.842.662
2038	91.373	35.896.658	68.087	28.445.957	71.274	29.465.748
2039	91.373	35.896.658	69.802	28.994.732	73.218	30.087.825
2040	91.373	35.896.658	71.517	29.543.320	75.158	30.708.377
2041	91.373	35.896.658	73.219	30.088.107	77.091	31.326.877
2042	91.373	35.896.658	74.919	30.631.928	79.026	31.946.253
2043	91.373	35.896.658	76.604	31.171.050	80.953	32.562.628
2044	91.373	35.896.658	78.283	31.708.411	82.868	33.175.454
2045	91.373	35.896.658	79.989	32.254.155	84.816	33.798.759
2046	91.373	35.896.658	81.721	32.808.412	86.797	34.432.723
2047	91.373	35.896.658	83.480	33.371.316	88.813	35.077.528
2048	91.373	35.896.658	85.267	33.943.001	88.813	35.077.528
2049	91.373	35.896.658	87.081	34.523.604	88.813	35.077.528
2050	91.373	35.896.658	87.081	34.523.604	88.813	35.077.528
2051	91.373	35.896.658	87.081	34.523.604	88.813	35.077.528
2052	91.373	35.896.658	87.081	34.523.604	88.813	35.077.528
2053	91.373	35.896.658	87.081	34.523.604	88.813	35.077.528
2054	91.373	35.896.658	87.081	34.523.604	88.813	35.077.528
2055	91.373	35.896.658	87.081	34.523.604	88.813	35.077.528
2056	91.373	35.896.658	87.081	34.523.604	88.813	35.077.528
2057	91.373	35.896.658	87.081	34.523.604	88.813	35.077.528
2058	91.373	35.896.658	87.081	34.523.604	88.813	35.077.528

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 21.** Valores flujo vehicular y TMDA según escenario económico ruta CC

AÑO	Optimista		Pesimista		Tendencial	
	TMDA	Flujo ponderado	TMDA	Flujo ponderado	TMDA	Flujo ponderado
2022	14.507	6.765.170	13.594	6.428.436	13.732	6.479.072
2023	16.911	7.652.561	15.036	6.960.739	15.317	7.064.200
2024	19.396	8.570.034	16.508	7.504.008	16.938	7.662.552
2025	21.966	9.518.609	18.010	8.058.468	18.595	8.274.426
2026	24.622	10.499.341	19.543	8.624.350	20.290	8.900.129
2027	27.369	11.513.319	21.108	9.201.889	22.023	9.539.972
2028	30.209	12.561.672	22.704	9.791.326	23.796	10.194.277
2029	33.145	13.645.564	24.334	10.392.905	25.609	10.863.368
2030	36.145	14.752.977	25.981	11.000.915	27.437	11.538.498
2031	39.190	15.876.989	27.629	11.609.164	29.274	12.216.304
2032	42.288	17.020.337	29.284	12.220.272	31.124	12.899.465
2033	45.426	18.178.871	30.947	12.833.929	32.980	13.584.459
2034	48.603	19.351.691	32.606	13.446.593	34.839	14.270.775
2035	51.827	20.541.722	34.271	14.061.040	36.710	14.961.263
2036	55.085	21.744.316	35.930	14.673.588	38.581	15.652.156
2037	58.385	22.962.529	37.592	15.287.120	40.452	16.342.911
2038	61.725	24.195.614	39.256	15.901.287	42.332	17.036.547
2039	65.092	25.438.418	40.911	16.512.199	44.208	17.729.060
2040	68.482	26.689.731	42.565	17.122.902	46.079	18.419.875
2041	71.891	27.948.296	44.208	17.729.374	47.944	19.108.407
2042	75.330	29.217.540	45.848	18.334.770	49.812	19.797.914
2043	78.781	30.491.621	47.474	18.934.937	51.671	20.484.079
2044	82.255	31.774.132	49.095	19.533.142	53.519	21.166.294
2045	85.819	33.089.604	50.741	20.140.679	55.399	21.860.175
2046	89.474	34.438.883	52.412	20.757.693	57.310	22.565.922
2047	89.474	34.438.883	54.110	21.384.333	59.255	23.283.736
2048	89.474	34.438.883	55.834	22.020.749	61.233	24.013.825
2049	89.474	34.438.883	57.585	22.667.092	63.244	24.756.399
2050	89.474	34.438.883	59.363	23.323.519	65.290	25.511.671
2051	89.474	34.438.883	61.169	23.990.186	67.371	26.279.857
2052	89.474	34.438.883	63.003	24.667.253	69.488	27.061.180
2053	89.474	34.438.883	64.866	25.354.882	71.641	27.855.864
2054	89.474	34.438.883	66.758	26.053.238	73.830	28.664.136
2055	89.474	34.438.883	68.679	26.762.488	76.057	29.486.230
2056	89.474	34.438.883	70.630	27.482.803	78.323	30.322.382
2057	89.474	34.438.883	72.612	28.214.355	80.626	31.172.832

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 22.** Valores flujo vehicular (UF) y TMDA según escenario económico ruta RI

AÑO	Optimista		Pesimista		Tendencial	
	TMDA	Flujo ponderado	TMDA	Flujo ponderado	TMDA	Flujo ponderado
2022	14.276	5.583.064	13.614	5.321.924	13.713	5.361.193
2023	16.019	6.271.240	14.660	5.734.728	14.863	5.814.963
2024	17.822	6.982.745	15.727	6.156.036	16.039	6.278.988
2025	19.686	7.718.370	16.817	6.586.023	17.241	6.753.499
2026	21.613	8.478.932	17.929	7.024.867	18.471	7.238.735
2027	23.606	9.265.278	19.064	7.472.752	19.728	7.734.937
2028	25.666	10.078.281	20.222	7.929.863	21.014	8.242.354
2029	27.795	10.918.845	21.404	8.396.391	22.328	8.761.237
2030	29.972	11.777.649	22.599	8.867.906	23.655	9.284.805
2031	32.180	12.649.327	23.794	9.339.607	24.987	9.810.446
2032	34.427	13.536.000	24.995	9.813.524	26.329	10.340.242
2033	36.703	14.434.449	26.201	10.289.418	27.675	10.871.458
2034	39.008	15.343.977	27.404	10.764.542	29.024	11.403.700
2035	41.346	16.266.853	28.612	11.241.049	30.381	11.939.176
2036	43.709	17.199.470	29.816	11.716.083	31.738	12.474.968
2037	46.103	18.144.201	31.021	12.191.881	33.096	13.010.652
2038	48.526	19.100.465	32.228	12.668.170	34.459	13.548.570
2039	50.968	20.064.266	33.428	13.141.935	35.819	14.085.618
2040	53.427	21.034.666	34.628	13.615.539	37.177	14.621.349
2041	55.900	22.010.690	35.820	14.085.861	38.530	15.155.309
2042	58.394	22.994.995	37.010	14.555.350	39.885	15.690.025
2043	60.898	23.983.052	38.189	15.020.782	41.233	16.222.150
2044	63.418	24.977.646	39.364	15.484.693	42.574	16.751.211
2045	66.003	25.997.801	40.558	15.955.841	43.937	17.289.320
2046	68.654	27.044.174	41.771	16.434.339	45.324	17.836.630
2047	71.373	28.117.439	43.002	16.920.302	46.734	18.393.299
2048	74.163	29.218.287	44.253	17.413.845	48.169	18.959.487
2049	77.024	30.347.427	45.523	17.915.088	49.628	19.535.356
2050	79.958	31.505.586	46.812	18.424.150	51.112	20.121.074
2051	82.968	32.693.509	48.122	18.941.154	52.622	20.716.807
2052	86.056	33.911.962	49.453	19.466.223	54.157	21.322.727
2053	89.222	35.161.729	50.804	19.999.483	55.718	21.939.008
2054	89.222	35.161.729	52.176	20.541.062	57.307	22.565.827
2055	89.222	35.161.729	53.570	21.091.089	58.922	23.203.366
2056	89.222	35.161.729	54.985	21.649.697	60.565	23.851.806
2057	89.222	35.161.729	56.423	22.217.019	62.236	24.511.334
2058	89.222	35.161.729	57.883	22.793.192	62.416	24.582.192

Fuente: Elaboración propia

La **Tabla 23** muestra los flujos por periodo de inversiones por concesión y escenario económico de estudio.



**Tabla 23.** Valores de inversión (UF) por concesión y escenario económico

Año	AN			CHCO			CC			3P			RI		
	Pesimista	Tendencial	Optimista	Pesimista	Tendencial	Optimista	Pesimista	Tendencial	Optimista	Pesimista	Tendencial	Optimista	Pesimista	Tendencial	Optimista
2023	4.894.581	4.894.581	4.894.581	7.107.500	7.107.500	7.107.500	4.439.161	4.439.161	4.439.161	4.117.043	4.117.043	4.117.043	582.975	582.975	582.975
2024	4.894.581	4.894.581	4.894.581	7.107.500	7.107.500	7.107.500	4.439.161	4.439.161	4.439.161	4.117.043	4.117.043	4.117.043	582.975	582.975	582.975
2025	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2026	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2027	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2028	128.574	128.574	128.574	244.146	244.146	244.146	149.377	149.377	149.377	128.574	128.574	128.574	20.947	20.947	20.947
2029	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2031	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2032	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2033	128.574	128.574	128.574	244.146	244.146	244.146	149.377	149.377	149.377	128.574	128.574	128.574	20.947	20.947	20.947
2034	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2035	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2036	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2037	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2038	128.574	128.574	128.574	244.146	244.146	3.233.007	149.377	149.377	149.377	128.574	128.574	128.574	20.947	20.947	20.947
2039	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.574.018	-	-	-
2040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2041	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2042	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2043	128.574	128.574	128.574	244.146	244.146	244.146	149.377	149.377	149.377	128.574	128.574	128.574	20.947	20.947	20.947
2044	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2045	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2046	-	-	-	-	-	-	-	-	1.828.691	-	-	-	-	-	-
2047	-	-	-	-	2.988.861	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2048	128.574	128.574	128.574	244.146	244.146	244.146	149.377	149.377	149.377	128.574	128.574	128.574	20.947	20.947	20.947
2049	-	-	1.574.016	2.988.861	-	-	-	-	-	-	1.574.018	-	-	-	256.441
2050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2051	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2052	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.574.018	-	-	-	-	-
2053	128.574	128.574	128.574	244.146	244.146	244.146	149.377	149.377	149.377	128.574	128.574	128.574	20.947	20.947	20.947
2054	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2055	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2056	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2057	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 24** se presentan los flujos por periodo en costos por concesión y escenario económico.

**Tabla 24.** Valores de costos (UF) por concesión y escenario económico

Año	AN			CHCO			CC			3P			RI		
	Pesimista	Tendencial	Optimista	Pesimista	Tendencial	Optimista	Pesimista	Tendencial	Optimista	Pesimista	Tendencial	Optimista	Pesimista	Tendencial	Optimista
2023	361.220	361.220	361.220	524.534	524.534	524.534	327.610	327.610	327.610	303.838	303.838	303.838	43.024	43.024	43.024
2024	361.220	361.220	361.220	524.534	524.534	524.534	327.610	327.610	327.610	303.838	303.838	303.838	43.024	43.024	43.024
2025	361.220	361.220	361.220	524.534	524.534	524.534	327.610	327.610	327.610	303.838	303.838	303.838	43.024	43.024	43.024
2026	361.220	361.220	361.220	524.534	524.534	524.534	327.610	327.610	327.610	303.838	303.838	303.838	43.024	43.024	43.024
2027	365.964	365.964	365.964	533.542	533.542	533.542	333.122	333.122	333.122	308.582	308.582	308.582	43.797	43.797	43.797
2028	365.964	365.964	365.964	533.542	533.542	533.542	333.122	333.122	333.122	308.582	308.582	308.582	43.797	43.797	43.797
2029	365.964	365.964	365.964	533.542	533.542	533.542	333.122	333.122	333.122	308.582	308.582	308.582	43.797	43.797	43.797
2030	365.964	365.964	365.964	533.542	533.542	533.542	333.122	333.122	333.122	308.582	308.582	308.582	43.797	43.797	43.797
2031	365.964	365.964	365.964	533.542	533.542	533.542	333.122	333.122	333.122	308.582	308.582	308.582	43.797	43.797	43.797
2032	370.709	370.709	370.709	542.551	542.551	542.551	338.634	338.634	338.634	313.326	313.326	313.326	44.569	44.569	44.569
2033	370.709	370.709	370.709	542.551	542.551	542.551	338.634	338.634	338.634	313.326	313.326	313.326	44.569	44.569	44.569
2034	370.709	370.709	370.709	542.551	542.551	542.551	338.634	338.634	338.634	313.326	313.326	313.326	44.569	44.569	44.569
2035	370.709	370.709	370.709	542.551	542.551	542.551	338.634	338.634	338.634	313.326	313.326	313.326	44.569	44.569	44.569
2036	370.709	370.709	370.709	542.551	542.551	542.551	338.634	338.634	338.634	313.326	313.326	313.326	44.569	44.569	44.569
2037	375.453	375.453	375.453	551.560	551.560	661.849	344.146	344.146	344.146	318.071	318.071	318.071	45.342	45.342	45.342
2038	375.453	375.453	375.453	551.560	551.560	661.849	344.146	344.146	344.146	318.071	318.071	376.152	45.342	45.342	45.342
2039	375.453	375.453	375.453	551.560	551.560	661.849	344.146	344.146	344.146	318.071	318.071	376.152	45.342	45.342	45.342
2040	375.453	375.453	375.453	551.560	551.560	661.849	344.146	344.146	344.146	318.071	318.071	376.152	45.342	45.342	45.342
2041	375.453	375.453	375.453	551.560	551.560	661.849	344.146	344.146	344.146	318.071	318.071	376.152	45.342	45.342	45.342
2042	380.198	380.198	380.198	560.569	560.569	670.858	349.658	349.658	349.658	322.815	322.815	380.897	46.115	46.115	46.115
2043	380.198	380.198	380.198	560.569	560.569	670.858	349.658	349.658	349.658	322.815	322.815	380.897	46.115	46.115	46.115
2044	380.198	380.198	380.198	560.569	560.569	670.858	349.658	349.658	349.658	322.815	322.815	380.897	46.115	46.115	46.115
2045	380.198	380.198	380.198	560.569	560.569	670.858	349.658	349.658	417.137	322.815	322.815	380.897	46.115	46.115	46.115
2046	380.198	380.198	380.198	560.569	560.569	670.858	349.658	349.658	417.137	322.815	322.815	380.897	46.115	46.115	46.115
2047	384.942	384.942	384.942	569.578	679.867	679.867	355.170	355.170	422.649	327.560	327.560	385.641	46.888	46.888	46.888
2048	384.942	384.942	443.023	679.867	679.867	679.867	355.170	355.170	422.649	327.560	385.641	385.641	46.888	46.888	56.351
2049	384.942	384.942	443.023	679.867	679.867	679.867	355.170	355.170	422.649	327.560	385.641	385.641	46.888	46.888	56.351
2050	384.942	384.942	443.023	679.867	679.867	679.867	355.170	355.170	422.649	327.560	385.641	385.641	46.888	46.888	56.351
2051	384.942	384.942	443.023	679.867	679.867	679.867	355.170	355.170	422.649	385.641	385.641	385.641	46.888	46.888	56.351
2052	389.686	389.686	447.767	688.876	688.876	688.876	360.682	360.682	428.161	390.385	390.385	390.385	47.661	47.661	57.124
2053	389.686	389.686	447.767	688.876	688.876	688.876	360.682	360.682	428.161	390.385	390.385	390.385	47.661	47.661	57.124
2054	389.686	389.686	447.767	688.876	688.876	688.876	360.682	360.682	428.161	390.385	390.385	390.385	47.661	47.661	57.124
2055	389.686	389.686	447.767	688.876	688.876	688.876	360.682	360.682	428.161	390.385	390.385	390.385	47.661	47.661	57.124
2056	389.686	389.686	447.767	688.876	688.876	688.876	360.682	360.682	428.161	390.385	390.385	390.385	47.661	47.661	57.124
2057	389.686	389.686	447.767	688.876	688.876	688.876	360.682	360.682	428.161	390.385	390.385	390.385	47.661	47.661	57.124

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 25** se presentan los valores residuales por concesión dependiendo de la cantidad de años de la concesión.

**Tabla 25.** Valores de residuales (UF) por concesión

Concesión	Valor residual (UF)		
	25 años	30 años	35 años
AN	5.481.930	4.796.689	4.209.339
CHCO	7.960.400	6.965.350	6.112.450
CC	4.971.860	4.350.378	3.817.678
3P	4.611.088	4.034.702	3.540.657
RI	652.932	571.316	501.359

**Fuente:** Elaboración propia

#### 8.4. Anexo 4. Datos modelo con variabilidad

En la **Tabla 26** se presentan los datos que fueron utilizados para el cálculo de tarifa en el modelo con variabilidad. Se muestran por escenario económico y debido a que la distribución utilizada fue una triangular, su valor mínimo, máximo y promedio.

**Tabla 26.** Valores para simulación según ruta concesionada

	AN			3P			RI			CC			CHCO		
	Flujo vehicular	Inversión	Costos	Flujo vehicular	Inversión	Costos	Flujo vehicular	Inversión	Costos	Flujo vehicular	Inversión	Costos	Flujo vehicular	Inversión	Costos
Pesimista	228.951.876	9.441.697	6.018.006	368.210.151	8.360.127	5.164.022	179.199.336	1.139.491	724.178	223.966.439	8.650.003	5.501.075	429.664.662	14.663.197	9.045.752
Tendencial	241.809.567	9.441.697	6.018.006	396.454.536	8.417.533	5.210.730	190.729.327	1.139.491	724.178	238.834.153	8.650.003	5.501.075	440.028.948	14.745.255	9.112.518
Optimista	323.563.842	9.863.294	6.139.916	474.864.595	8.682.673	5.426.461	263.308.941	1.208.178	744.040	316.983.817	9.217.022	5.705.529	482.068.523	15.231.868	9.508.448
Mínimo	228.951.876	9.441.697	6.018.006	368.210.151	8.360.127	5.164.022	179.199.336	1.139.491	724.178	223.966.439	8.650.003	5.501.075	429.664.662	14.663.197	9.045.752
Máximo	323.563.842	9.863.294	6.139.916	474.864.595	8.682.673	5.426.461	263.308.941	1.208.178	744.040	316.983.817	9.217.022	5.705.529	482.068.523	15.231.868	9.508.448
Promedio	264.775.095	9.582.229	6.058.643	413.176.427	8.486.778	5.267.071	211.079.202	1.162.387	730.799	259.928.136	8.839.009	5.569.227	450.587.378	14.880.107	9.222.239

Fuente: Elaboración propia

## 8.5. Anexo 5. Cálculo de tarifa mínima

En el Anexo 5 se muestra a modo de ejemplo la forma de cálculo de la tarifa a través de Microsoft Excel para la ruta AN.

**Ilustración 4.** Variación de parámetros cálculo de tarifa mínima para AN

Parámetros	
Tasa Impuestos	27%
Tasa descuento	5%
Escenario	2
Kilómetros (km)	89
Valor residual (VR)	4209339
Plazo concesión	35
Plazo descuento VR	100
Tarifa decreciente (g)	1,00%
Sensibilización inversión inicial	100,0%

**1= Pesimista, 2 = Tendencial, 3 = Optimista**

**% baja anual**

Fuente: Elaboración propia

**Ilustración 5.** Resultados obtenidos ruta AN

Tarifa Resultante (UF/km)		Cálculos auxiliares para comprobación	
Tarifa veh livianos (UF/km) que hace que VAN (PP) sea	0,000886040598	VAN (PP)	\$0,000
Tarifa Resultante (UF/km) por categoría de vehículo (tarifa constante, sin YMG)			
Vehículos livianos	0,00088604		
Buses 2 ejes	0,00181909		
Camiones 2 ejes	0,00181909		
Camiones +2 ejes	0,00313288		

Fuente: Elaboración propia

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

Departamento de Ingeniería		Industrial	
Título		Recomendaciones de tarifa por uso efectivo en rutas concesionadas del Biobío	
Nombre Memorista		Matías Felipe Cuevas Torres	
Modalidad		Investigación	
Concepto		Profesor(es) Patrocinante	
Calificación		Marcela Parada Contzen Tomas Echaveguren Navarro	
Fecha	23 de agosto 2023	Ingeniero Supervisor	Institución
		-	-
Comisión (Nombre y Firma)			
Resumen			
<p>En las rutas concesionadas de la Región del Biobío no se suele cobrar por uso efectivo. En esta Memoria de Título, se estudió el comportamiento de la tarifa considerando un cobro por uso efectivo en las rutas concesionadas de la Región del Biobío, es decir cobro por kilómetro recorrido. Esto haciendo que el valor actual neto (VAN) de la concesión vial sea cero bajo una tasa de descuento determinada e identificando las principales variables que afectan a la tarifa.</p> <p>En esta Memoria de Titulo se consideran 3 modelos. (1) Modelo base que calcula la tarifa haciendo que el VAN de la concesión sea cero bajo una tasa de descuento determinada, (2) modelo de subsidios cruzados que calcula una tarifa única para todas las concesiones viales de la Región del Biobío y (3) modelo con variabilidad que mantiene el supuesto del modelo base, pero calculando la tarifa a través de una simulación de Monte Carlo.</p>			

