



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**PROPUESTA METODOLÓGICA DE INTEGRACIÓN BICICLETA-TREN,  
APLICADA AL CASO DEL BIOTREN EN CONCEPCIÓN**

POR

**Samuel Ignacio Fernández Rojas**

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

Profesor Guía  
Dr. Juan Antonio Carrasco Montagna

Profesor Comisión  
Dr. Alejandro Maximiliano Tudela Román

Abril 2024  
Concepción (Chile)

© 2024 Samuel Ignacio Fernández Rojas

© 2024 Samuel Ignacio Fernández Rojas

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

## RESUMEN

El crecimiento de la población mundial en las zonas urbanas durante los últimos años se ha transformado en un desafío para la planificación de transporte, por el creciente uso de modos masivos de transporte público de las ciudades, como el tren, donde no sólo aumenta la cantidad de viajes principales a bordo, sino también los viajes de acceso a las estaciones. Ante esta problemática, los sistemas integrados bicicleta-tren han sido estudiados e implementados satisfactoriamente en varios países, incentivando además el uso de modos sustentables. Chile aún no cuenta con una metodología de implementación de estos sistemas, que se ajuste a la realidad local y que permita optimizar la implementación de biciestacionamientos, lo cual es fundamental para lograr un cambio cultural en la sociedad en torno a la movilidad en bicicleta.

El objetivo de esta investigación fue elaborar las bases de un proyecto de implementación de un sistema integrado bicicleta-tren, aplicado al caso del Biotren en Concepción. Se elaboró una propuesta metodológica con etapas y lineamientos definidos a partir de una exhaustiva revisión bibliográfica de los antecedentes nacionales e internacionales de estos sistemas. Luego, esta propuesta metodológica se aplicó parcialmente al caso de Concepción, partiendo por el diseño y aplicación de una encuesta de preferencias declaradas a 42 usuarios del Biotren en la Estación Lomas Coloradas. Posterior a ello, se realizó un análisis descriptivo de los resultados y, utilizando un modelo de elección discreta, se obtuvo una demanda estimada de 157 usuarios potenciales diarios en esa estación.

Por último, se elaboró una propuesta del tipo de infraestructura requerida para los biciestacionamientos, indicando que sea techado, cerrado, visible, funcional y cómodo. Además, se realizó una serie de recomendaciones finales acerca de la seguridad e iluminación del espacio, junto con medidas para incentivar el uso de los biciestacionamientos a nivel nacional.

## **ABSTRACT**

The growth of world's population in urban areas in the recent years has become a challenge for transport planning, due to the increased use of popular modes of public transportation in cities, such as trains, where not only the number of main trips on board increases, but also the number of trips to access stations. Faced with this problem, integrated bicycle-train systems have been studied and successfully implemented in several countries, promoting in this way the use of sustainable modes. Chile does not yet have a methodology for the implementation of these systems that fits the local reality and allows optimizing the implementation of bicycle parking, which is essential to achieve a cultural change in the society around bicycle mobility.

The objective of this research was to elaborate the basis for future projects of integrated bicycle-train systems, particularly applied to the case of the Biotren in Concepción. A methodological proposal with well-defined stages and guidelines was elaborated, based on an exhaustive bibliographic review of the national and international background of these systems. This methodological proposal was then partially applied to the case of Concepción, starting with the design and application of a survey of stated preferences to 42 Biotren users, at the Lomas Coloradas Station. Subsequently, a descriptive analysis of the results was carried out and, using a discrete choice model, an estimated demand of 157 potential daily users was obtained at that station.

Finally, a proposal was prepared for the type of bicycle parking infrastructure, indicating that it be roofed, enclosed, visible, functional, and comfortable. In addition, a series of final recommendations were made regarding the security and lighting of the space, together with measures to encourage the use of bicycle parking at the national level.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi profesor guía Juan Antonio Carrasco por permitirme realizar esta investigación bajo su dirección y orientarme en todo el proceso. Debo destacar su encomiable disposición y paciencia al recibirme en su oficina semana a semana, ya que estas reuniones fueron claves para la realización del trabajo. Agradezco también a mi profesor de comisión Alejandro Tudela por las oportunas recomendaciones brindadas y su continuo apoyo durante el desarrollo de la Memoria.

A mis amigos, mis compañeros de generación, con los cuales comencé esta etapa, y a todas las amistades que fui formando con el pasar de los años. Me siento afortunado de haber compartido con ustedes este largo camino y sin duda son lo máspreciado que me llevaré de mi estadía en la Universidad.

A mis hermanos, Camila, Carla y Enrique, quienes desde pequeño fueron un ejemplo a seguir para mí. A mis padres, Juan Enrique y Ana María, por su incansable esfuerzo en darnos la mejor educación posible a cada uno de sus hijos, especialmente a mi madre, que siempre encontraba las palabras indicadas para motivarme a seguir adelante en los momentos que más lo necesitaba. Y, a toda mi familia en general, sobrinos, cuñados y abuelos, por su cariño y apoyo incondicional.

Finalmente, le agradezco a Dios por haberme guiado y dado la fortaleza necesaria para afrontar y sobrepasar cada uno de los desafíos que surgieron en este arduo pero inolvidable camino.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1    Motivación .....	1
1.2    Objetivos .....	2
1.2.1    Objetivo general .....	2
1.2.2    Objetivos específicos.....	2
1.3    Metodología de trabajo.....	2
1.4    Principales resultados .....	3
1.5    Organización de la Memoria .....	4
CAPÍTULO 2 ESTADO DEL ARTE .....	5
2.1    Introducción .....	5
2.2    Sistema de integración Bicicleta-Tren .....	6
2.3    Experiencias internacionales .....	7
2.4    Contexto nacional.....	10
2.5    Conclusión.....	13
CAPÍTULO 3 MÉTODOS.....	14
3.1    Introducción .....	14
3.2    Aplicación de la metodología al caso de Concepción.....	16
3.2.1    Diagnóstico inicial.....	16
3.2.2    Entrevistas semiestructuradas de los actores principales .....	16
3.2.2.1    Marco teórico entrevistas .....	16
3.2.2.2    Diseño y aplicación de entrevistas .....	17
3.2.3    Técnica de preferencias declaradas .....	18
3.2.3.1    Preferencias Declaradas .....	18
3.2.3.2    Diseño de la encuesta .....	23

3.2.3.3	Aplicación de la encuesta.....	23
3.2.3.4	Modelación y análisis de resultados.....	24
3.3	Propuesta de infraestructura y recomendaciones .....	25
3.3.1	Propuesta de infraestructura .....	25
3.3.2	Recomendaciones.....	25
3.4	Conclusión.....	25
<b>CAPÍTULO 4 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.....</b>		<b>26</b>
4.1	Introducción .....	26
4.2	Diagnóstico inicial.....	26
4.3	Actores principales.....	29
4.3.1	Diseño y aplicación entrevista.....	29
4.3.2	Resultados y análisis .....	31
4.4	Oferta y demanda .....	33
4.4.1	Definición población objetivo.....	33
4.4.2	Oferta y demanda actual.....	34
4.4.3	Oferta y demanda proyectada.....	34
4.4.3.1	Diseño de la encuesta .....	34
4.4.3.2	Aplicación de la encuesta.....	39
4.4.3.3	Modelación.....	41
4.4.3.4	Resultados y análisis .....	44
4.5	Conclusión.....	50
<b>CAPÍTULO 5 PROPUESTA DE INFRAESTRUCTURA Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>52</b>
5.1	Introducción .....	52
5.2	Propuesta del tipo de infraestructura a implementar .....	52
5.3	Recomendaciones.....	54
5.4	Conclusión.....	56

CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES.....	57
REFERENCIAS .....	59
ANEXOS.....	63
ANEXOS CAPÍTULO 4.....	63
A.1 Tablas complementarias .....	63
A.2 Pauta entrevista semi-estructurada .....	66
A.3 Diseño final encuesta de preferencias declaradas .....	67
A.4 Carta de consentimiento informado .....	81
A.5 Códigos modelos .....	82

### Índice de tablas

<b>Tabla 4.1</b> Porcentaje de respuestas encuesta de micromovilidad EFE Sur.....	28
<b>Tabla 4.2</b> Puntos claves y recomendaciones señalados por los entrevistados.....	32
<b>Tabla 4.3</b> Tiempo promedio de acceso a la estación.....	36
<b>Tabla 4.4</b> Niveles del tiempo de viaje.....	37
<b>Tabla 4.5</b> Niveles del costo de viaje.....	37
<b>Tabla 4.6</b> Niveles del costo del biciestacionamiento.....	37
<b>Tabla 4.7</b> Plan maestro adaptado.....	38
<b>Tabla 4.8</b> Variables consideradas para la modelación en Apollo.....	42
<b>Tabla 4.9</b> Coeficientes considerados para la modelación en Apollo.....	43
<b>Tabla 4.10</b> Porcentaje de respuestas encuesta de preferencias declaradas y diferencia porcentual con respecto a la encuesta de EFE Sur.....	44
<b>Tabla 4.11</b> Resultados Test-t de los modelos logit multinomial.....	46
<b>Tabla 4.12</b> Resultados test de razón de verosimilitud.....	47
<b>Tabla 4.13</b> Porcentajes de la probabilidad de elección de los modos de transporte.....	48
<b>Tabla 4.14</b> Comparación elección actual, declarada y modelada.....	49

<b>Tabla 4.15</b> Variación de usuarios potenciales en función de la elasticidad del costo asociado al biciestacionamiento. ....	50
<b>Tabla 4.16</b> Variación de usuarios potenciales en función de la elasticidad del tiempo de viaje en bicicleta. ....	50
<b>Tabla A.4.1</b> Catastro de Biciestacionamientos Biotren. ....	63
<b>Tabla A.4.2</b> Niveles del tiempo de viaje para una distancia inicial de 0,5 km. ....	63
<b>Tabla A.4.3</b> Niveles del tiempo de viaje para una distancia inicial de 1,0 km. ....	64
<b>Tabla A.4.4</b> Niveles del tiempo de viaje para una distancia inicial de 1,5 km. ....	64
<b>Tabla A.4.5</b> Plan Maestro 3 de Kocur. ....	64
<b>Tabla A.4.6</b> Cantidad de respuestas del nivel de influencia por cada uno de los factores. ....	64
<b>Tabla A.4.7</b> Porcentajes de respuestas del nivel de influencia por cada uno de los factores. ....	65
<b>Tabla A.4.8</b> Cantidad de respuestas por formulario de la sección 2. ....	65
<b>Tabla A.4.9</b> Probabilidad de elección de los modos de transporte. ....	65
<b>Tabla A.4.10</b> Porcentajes partición modal de elección actual, declarada y modelada. ....	65

## Índice de figuras

Figura 2.1 Comparación del nivel de accesibilidad y velocidad del modo combinado bicicleta-tren versus otros modos de transporte. Adaptado de: Weliwitiya & Eng, 2020. ....	5
Figura 2.2 Sistemas de integración bicicleta-tren. Adaptado de: van Mil et al., 2021. ....	6
Figura 3.1 Propuesta metodológica de integración bicicleta-tren. ....	15
Figura 4.1 Emplazamiento general estaciones Biotren. Fuente: EFE Sur, 2023. ....	27
Figura 4.2 Puntos de referencia y radios utilizados para la estimación del tiempo de viaje. ....	36
Figura 4.3 Escenario 1 del formulario “Bicicleta vs Auto – 500 m”. ....	39
Figura 4.4 Extracto planilla de base de datos para la modelación. ....	41
Figura 4.5 Nivel de influencia de los factores al realizar el viaje de acceso en bicicleta. ....	45
Figura 5.1 Esquema de la disposición del biciestacionamiento propuesto. ....	53

Figura 5.2 Fotomontaje del proyecto de biciestacionamientos, Universidad de Concepción. Fuente: UDEC, 2023.....	54
---	----

### Índice de ecuaciones

Ecuación (3.1) Tamaño muestral .....	20
Ecuación (3.2) Utilidad aleatoria .....	20
Ecuación (3.3) Utilidad sistemática .....	21
Ecuación (3.4) Probabilidad de elección.....	21
Ecuación (3.5) Test-t.....	21
Ecuación (3.6) Test-t simplificado .....	21
Ecuación (3.7) Test de razón de verosimilitud.....	22
Ecuación (3.8) Máxima verosimilitud.....	22
Ecuación (3.9) Verificación test de razón de verosimilitud .....	22
Ecuación (4.1) Tamaño muestral encuesta.....	40
Ecuación (4.2) Función de utilidad modelo general 1 .....	43
Ecuación (4.3) Función de utilidad modelo general 2 .....	43

## CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

### 1.1 Motivación

La movilidad sustentable se ha transformado en uno de los principales enfoques a abordar dentro de las políticas de transporte y estrategias de movilidad a nivel mundial, primordialmente en respuesta al incremento considerable de las externalidades negativas que provoca el uso del automóvil en las ciudades, tales como contaminación, congestión vehicular, etc. Estas nuevas políticas y estrategias contribuyen al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible propuestos por la ONU en la agenda 2030 (Naciones Unidas, 2018), especialmente al objetivo 11 “Ciudades y sociedades más sostenibles”, en el cual se menciona que los sistemas de transporte deben ser seguros, asequibles y sustentables.

En este sentido, en Chile el año 2021 se presentó la Estrategia Nacional de Movilidad Sostenible (MTT, 2021a) que, tiene como objetivo general alcanzar la carbono-neutralidad al año 2050. Para ello, se fijaron siete objetivos específicos junto con una serie de medidas asociadas, una de ellas corresponde a la promoción de la intermodalidad entre ciclos (modos de transporte no motorizados) y el transporte público.

Con respecto a lo anterior, uno de los sistemas integrados e intermodales con mayor cantidad de beneficios asociados involucra al tren y a la bicicleta. El resultado de la sinergia de la alta velocidad que puede alcanzar el tren con la amplia accesibilidad que permite la bicicleta brinda al sistema integrado unas características únicas, convirtiéndolo así en una potencial competencia de los modos de transporte motorizados particulares.

Ante los numerosos beneficios que presentan los sistemas de integración, en diversos países se han formulado metodologías y estrategias de implementación de estos sistemas durante los últimos años. Sin embargo, en Chile aún no existe una metodología que se ajuste a la realidad local, lo cual es necesario sobre todo en ciudades como Concepción donde el uso del Biotren cobra cada vez mayor relevancia en la movilidad de los habitantes de la zona. Esta metodología permitiría responder las siguientes preguntas claves: ¿Cuál es la demanda potencial de los biciestacionamientos? ¿cuáles son

los factores que tienen mayor incidencia en la intermodalidad bicicleta-tren? ¿cuáles son las condiciones de infraestructura necesarias para aplicar un sistema integrado bicicleta-tren?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Elaborar las bases de un proyecto de implementación de un sistema integrado bicicleta-tren, aplicado al caso del Biotren en Concepción.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- 1) Elaborar una metodología para implementar un sistema integrado bicicleta-tren en Chile, en base a experiencias previas, normativas vigentes y brechas detectadas.
- 2) Aplicar un instrumento de recopilación de información que permita estimar la demanda potencial de usuarios en el caso del Biotren en Concepción.
- 3) Proponer una infraestructura que entregue factibilidad al sistema y esté acorde a la demanda estimada, y brindar recomendaciones para su ejecución.

## **1.3 Metodología de trabajo**

Se elaboró una propuesta metodológica para la implementación de estos sistemas, adaptada al contexto local nacional. A partir de una revisión bibliográfica de los sistemas de integración bicicleta-tren, sus características principales, factores influyentes, experiencias previas, y marco normativo.

Esta metodología se aplicó parcialmente en el contexto del Biotren en Concepción, en tres etapas consecutivas. La primera etapa consideró el diagnóstico inicial en base a la información recopilada. En la segunda, se realizaron entrevistas del tipo semiestructuradas a los actores claves identificados para el estudio. En la tercera etapa, se analizó la demanda proyectada a partir del diseño y realización de una encuesta piloto de preferencias declaradas a los usuarios de una estación. Con los datos

obtenidos de la encuesta, se generó un modelo de elección discreta Logit Multinomial, para observar los factores más influyentes en la elección modal de los usuarios, y la elasticidad del costo y tiempo de viaje en bicicleta.

En base a la demanda proyectada y la recopilación inicial de antecedentes, se generó una propuesta del tipo de infraestructura a implementar, junto con una serie de recomendaciones.

#### **1.4 Principales resultados**

Se logró aplicar las entrevistas semiestructuradas a los actores principales obteniendo definiciones sobre los sistemas integrados, ejemplos o experiencias previas, puntos claves a considerar y recomendaciones, con respuestas bastante similares por parte de los entrevistados en temas de seguridad, conexión con ciclovías y metodología de evaluación a utilizar en estos proyectos.

También, se diseñó una encuesta de Preferencias Declaradas, buscando que fuera lo más sencilla de contestar y así obtener la información necesaria. Luego del diseño, se aplicó la encuesta a una muestra representativa de 42 usuarios de la Estación Lomas Coloradas, con un total de 266 escenarios evaluados, en donde un 58,9% de los usuarios optaron por la bicicleta como modo de acceso por sobre los otros modos y obteniéndose una variación considerable entre los escenarios en los que se incluía un costo asociado por biciestacionamiento y los que no lo incluían. Finalmente, mediante la encuesta se obtuvo una demanda estimada de 157 biciestacionamientos.

Con los resultados de la encuesta, se aplicó un modelo de elección discreta Logit Multinomial, mediante el cual se identificó la influencia de los factores de diseño y se obtuvieron las elasticidades del costo del biciestacionamiento y del tiempo de viaje en bicicleta, ambas negativas y, por ende, indican que, a un mayor costo o tiempo de viaje, disminuirían los usuarios potenciales.

Finalmente, se generó una propuesta del tipo de infraestructura a implementar en base a guías de diseño internacionales y una serie de recomendaciones con relación a dos ejes principales: seguridad, e iluminación, los cuales fueron considerados unos de los factores más influyentes entre los usuarios del Biotren al momento de elegir la bicicleta como modo de acceso, siendo también mencionados en reiteradas ocasiones por los actores principales en las entrevistas.

## **1.5 Organización de la Memoria**

Esta Memoria está organizada en seis capítulos, partiendo por la introducción de los objetivos, metodología y principales resultados que ha sido presentada en este primer capítulo. El Capítulo 2 corresponde a la revisión del estado del arte de los sistemas de integración bicicleta-tren, a nivel nacional e internacional, sus características principales, factores influyentes, experiencias previas y marco normativo. En el Capítulo 3 se presenta la propuesta metodológica aplicada en este trabajo y se describen los métodos a utilizar, instrumentos de recopilación de información utilizados para la aplicación de la metodología, la propuesta de infraestructura y las recomendaciones, mientras que en el Capítulo 4 se detalla y profundiza lo realizado en la aplicación de la metodología, con el diagnóstico inicial, entrevista a actores claves, diseño e implementación de la encuesta de preferencias declaradas y la modelación en base a los resultados de la encuesta. En el Capítulo 5 se detalla la propuesta de infraestructura a implementar y se brindan ciertas recomendaciones. Por último, el Capítulo 6 corresponde a las conclusiones del estudio.

## CAPÍTULO 2 ESTADO DEL ARTE

### 2.1 Introducción

En la actualidad más de la mitad de la población mundial habita en áreas urbanas y en las próximas décadas se prevé que esta población urbana se duplicará. Esto se ha transformado en un desafío en el área de planificación de transportes, ya que será necesario un aumento en la capacidad del transporte público para no mermar las condiciones actuales de movilidad y accesibilidad de las ciudades. Aumentando, por ejemplo, la cantidad de viajes en modos de transporte público masivo como el tren, y, por ende, los viajes de acceso a las estaciones. Es en esos viajes donde se han centrado diversos estudios sobre intermodalidad, y en específico de sistemas integrados bicicleta-tren, debido al potencial que implica combinar la flexibilidad y accesibilidad amplia de la bicicleta, con la velocidad y comodidad del tren, tal como se muestra en la Figura 2.1.

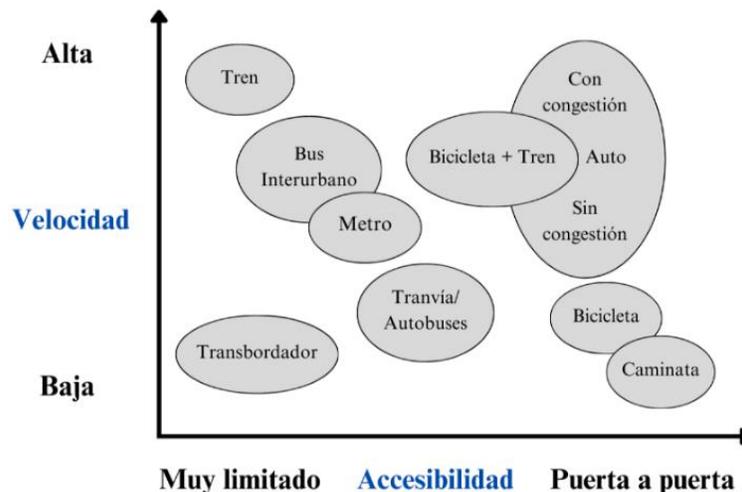


Figura 2.1 Comparación del nivel de accesibilidad y velocidad del modo combinado bicicleta-tren versus otros modos de transporte. Adaptado de: Welivitiya & Eng, 2020.

En este capítulo, se realiza una revisión y discusión del estado del arte de los sistemas de integración bicicleta-tren, comenzando con un análisis de sus principales características, motivaciones y beneficios asociados. Luego se describen las experiencias a nivel nacional e internacional, junto con el marco normativo ligado a la movilidad sostenible en Chile. Por último, se realiza un análisis y síntesis de las principales metodologías utilizadas como base para la propuesta de esta Memoria.

## 2.2 Sistema de integración Bicicleta-Tren

Se han definido dos tipos principales de sistemas integrados que involucran al tren y a la bicicleta, “Bike and Ride” y “Bike on Board” (van Mil et al., 2021). En el primero de ellos, el usuario puede aparcar su bicicleta en la estación de trenes y, por lo tanto, puede utilizarla en el viaje de acceso y/o el viaje de salida de la estación, mientras que en el segundo se puede trasladar la bicicleta al interior del tren, como se grafica en la Figura 2.2.

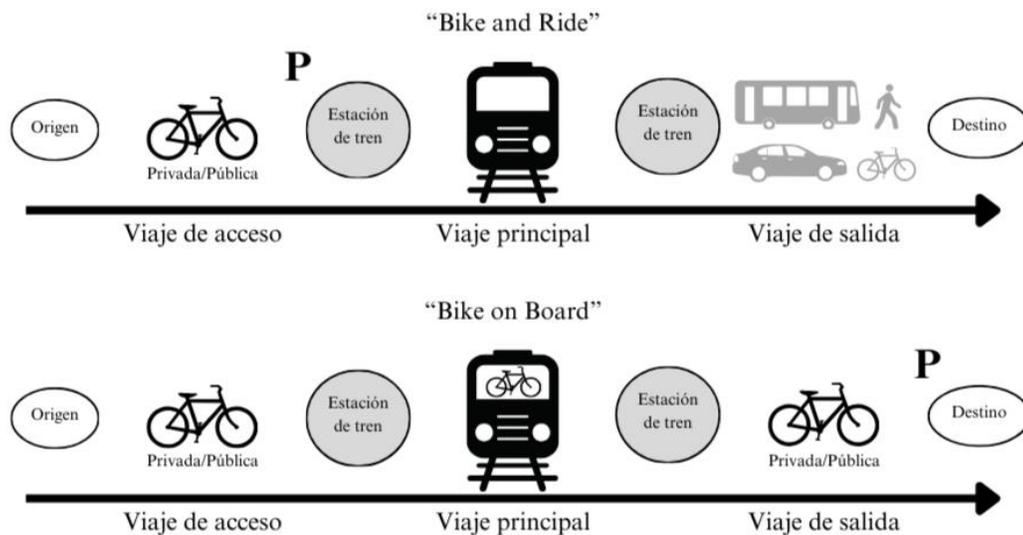


Figura 2.2 Sistemas de integración bicicleta-tren. Adaptado de: van Mil et al., 2021.

Si bien los usuarios preferirían la implementación del sistema “Bike on Board”, por la comodidad que implica utilizar la bicicleta en ambos extremos del viaje, este presenta diversas complicaciones operacionales que dificultan su implementación. Primero, en la circulación del usuario por las instalaciones de la estación existe el riesgo de que pase a llevar a otro pasajero o que el mismo no tenga el espacio suficiente para poder transitar junto a la bicicleta. Luego, en el viaje principal, la incorporación de bicicletas dentro de los vagones limita considerablemente su capacidad. Por estas razones, la tendencia principal es implementar el sistema “Bike and Ride” con la provisión de aparcamientos amplios, protegidos y seguros, o permitir sólo el acceso de bicicletas plegables a bordo del tren.

La elección de la bicicleta como modo de acceso a la estación está fuertemente influenciada por el contexto social y cultural del individuo, y las principales motivaciones son el ahorro de tiempo, evitar la congestión de las vías y realizar actividad física (Sherwin et al., 2011).

Asimismo, el uso de la bicicleta proporciona beneficios asociados al entorno, reduciendo la congestión y los niveles de contaminación atmosférica, y a los ciudadanos, mejorando su salud y calidad de vida. Además, permite incrementar sustantivamente el área de atracción de las estaciones, pasando de una distancia caminable equivalente a 1 kilómetro, a una distancia de 5 a 7 kilómetros en bicicleta (Kager et al., 2016).

En el caso de los viajes integrados del tipo “Bike and Ride”, para poder visualizar la cantidad y el tipo de usuarios potenciales, es necesario analizar múltiples factores se pueden clasificar en ocho grandes tópicos: infraestructura del entorno, infraestructura de las estaciones, calidad del servicio de transporte público, instalaciones para modos competidores, características del viaje y del usuario, condiciones meteorológicas y seguridad, factores latentes y medidas políticas. (Weliwitiya & Eng, 2020)

Algunos factores inciden positivamente en la atracción de ciclistas como:

- Alto nivel de calidad y cantidad de infraestructura ciclista aledaña a la estación.
- Alta provisión y disponibilidad de biciestacionamientos.
- Alto nivel de seguridad de los biciestacionamientos.

Mientras que existen otros con una clara incidencia negativa como:

- Zonas de alta afluencia y velocidad de automóviles.
- Grandes distancias de acceso a la estación.
- Clima adverso (lluvia, vientos extremos, etc.).

Por último, existen factores como el propósito del viaje, la edad y el género del usuario; donde su incidencia varía según el contexto en el cual se está estudiando el sistema (Weliwitiya & Eng, 2020).

### **2.3 Experiencias internacionales**

A nivel internacional, existen diversos ejemplos de experiencias de implementación de estos sistemas integrados, de los cuales cuatro se detallan a continuación, por su exitosa ejecución a partir de políticas públicas apropiadas.

En Países Bajos, desde la década de los setenta, se ha promovido activamente el uso de la bicicleta, donde la primera prioridad fue la construcción de ciclovías. En los años ochenta, el uso combinado de la bicicleta y el transporte público comenzó a cobrar mayor relevancia, y por parte del Gobierno se realizó una gran inversión en aparcamientos para bicicletas en las estaciones de tren, con el fin de dar continuidad y aumentar el uso combinado de la bicicleta y el tren. A fines de los años noventa, prácticamente todas las estaciones de tren principales estaban equipadas con biciestacionamiento, y el número de aparcamientos para bicicletas en las estaciones holandesas aumentó de 183.000 en 1985 a 279.000 en 1999 (Martens, 2007). En la actualidad, de los 1,2 millones de usuarios diarios del tren que existen en Países Bajos, alrededor del 47% llegan a sus estaciones de acceso utilizando la bicicleta (Kager et al., 2016). Esto respalda la idea de que la construcción de biciestacionamientos seguros y atractivos para los usuarios es efectivo en promover el uso de la bicicleta para viajes de acceso a las estaciones.

En Estados Unidos, por su parte, desde la década de los noventa se han desarrollado una serie de programas y políticas focalizadas en integrar la bicicleta con el transporte público. Al año 2000, el porcentaje de autobuses con portabicicletas ya casi se había triplicado, y en el transcurso de esos diez años, hubo un aumento considerable del número de biciestacionamientos así como mejoras en la comodidad, la seguridad y la protección de estos. La oferta de biciestacionamientos en 2008 alcanzó la cifra de 24.178 espacios disponibles en las estaciones de ferrocarril estadounidenses. Un año después, en 2009, el servicio de transporte público para el área metropolitana de Portland “TriMet” tenía en total 670 espacios disponibles en las paradas de autobús y tren ligero (Pucher et al., 2009). Actualmente, según cifras que señala TriMet, disponen de 1.800 biciestacionamientos. (TRIMET, 2024)

Las características de los biciestacionamientos varían dependiendo del tiempo de permanencia permitido, el lugar y el contexto del entorno con el objetivo de cumplir con los mismos estándares de calidad, diseño y funcionamiento, se han desarrollado guías de diseño para este tipo de infraestructura (Gobierno D.F. & UNAM, 2017). De esta forma, las personas que buscan promover la implementación de estacionamientos para bicicleta (organizadores, municipalidades, operadores, etc.) puedan utilizarlas como herramienta de apoyo en sus proyectos.

En Latinoamérica, se tienen los ejemplos de Colombia y México donde se han desarrollado guías de diseño de biciestacionamientos, que además incorporan una estrategia de integración de bicicletas a la red de transporte público. En ellas se sugiere que el estacionamiento se implemente en estaciones de origen debido a su mayor probabilidad de uso.

La estrategia de integración de bicicletas al transporte público en Colombia consta de ocho etapas totales (Espacio & ITDP, 2013). En las primeras cuatro etapas se desarrolla el diagnóstico de la situación inicial evaluando la operación del servicio del transporte público, la existencia de una infraestructura destinada para biciestacionamientos y la infraestructura ciclo-inclusiva existente en el entorno de las estaciones. La etapa 5 corresponde a la estimación de la demanda potencial, realizada en base a datos de demanda de transporte público, bicicletas y de otros modos en las zonas de las estaciones en estudio. Las etapas 6 y 7 consisten en la elaboración del diseño y presupuesto de implementación de los biciestacionamientos. Finalmente, la etapa 8 corresponde a la implementación en detalle del proyecto junto a la evaluación de su funcionamiento posterior.

Por otro lado, la estrategia de integración de bicicletas al transporte público en México consta de siete etapas totales (Gobierno D.F. & UNAM, 2017). La primera etapa corresponde a la identificación de los nodos de transporte para la instalación de biciestacionamientos, definiendo en primera instancia la zona de interés, y luego realizando un análisis y diagnóstico de la movilidad actual en esta zona. La etapa 2 consiste en la identificación de los actores principales, que en su mayoría corresponden a instituciones que administran los diferentes sistemas de transporte y programas que puedan relacionarse con el uso de la bicicleta. La etapa 3 corresponde a la identificación de los usuarios potenciales, los cuales se cuantifican en base a datos disponibles como la densidad de población urbana, el número de bicicletas y el porcentaje de viajes en bicicleta. La etapa 4 consiste en la priorización de los nodos en base a sus usuarios potenciales y se determina la ubicación, tamaño y tipo de infraestructura a implementar. La etapa 5 consiste en el diseño, construcción e instalación de los biciestacionamientos. Finalmente, en la etapa 6 y 7 se insta a utilizar estrategias de comunicación e información para optimizar el servicio, y se recomienda una evaluación periódica posterior a la implementación del servicio.

Ambas estrategias, a pesar de presentar etapas y características distintas, han sido aplicadas exitosamente, destacando los casos de Bogotá y Ciudad de México, ciudades que actualmente constan

con un sistema integrado bicicleta-tren consolidado. Transmilenio, sistema de transporte masivo de Bogotá, al año 2022 contaba con 26 biciestacionamientos y un total de 6.499 espacios para bicicletas (TRANSMILENIO, 2023). Mientras, las estaciones de metro en Ciudad de México al año 2023 contaban con 10 biciestacionamientos masivos y semi-masivos gratuitos con capacidades que varían entre los 80 y 408 espacios para bicicletas (Naciones Unidas México, 2022).

## **2.4 Contexto nacional**

A nivel nacional, existen una serie de planes, leyes y manuales, relacionada con el desarrollo de la movilidad sostenible, el uso de la bicicleta en las ciudades y los biciestacionamientos. A continuación, se presenta una breve reseña de los documentos principales que abordan estas temáticas.

En 2013 se publicó el “Manual de biciestacionamientos en el espacio público” desarrollado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU, 2013). Este documento señala la importancia de contar con biciestacionamientos, incorpora solo recomendaciones para su localización, diseño, construcción e instalación. Con respecto al diseño de los bicicleteros, se señala que existen diversas formas que cumplirían los aspectos funcionales requeridos, pero se propone la U invertida como primera alternativa a implementar, dado su sencillo diseño.

Mas tarde, en el año 2015, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo publicó el “Manual de vialidad ciclo-inclusiva” (MINVU, 2015), que pone el foco fundamentalmente en la construcción de ciclovías para incorporar a la bicicleta y otros ciclos como parte esencial de los proyectos de transporte a implementar en las ciudades. Además, señala la importancia de una buena oferta de biciestacionamientos para que los actuales y potenciales usuarios tengan la opción de aparcar sus bicicletas mientras desarrollan sus actividades diarias.

En el año 2018, se publicó la Ley 21088 en el Diario Oficial (MTT, 2018), que incorpora disposiciones sobre convivencia vial entre los distintos medios de transporte y los nuevos modos, diferenciando los motorizados de los no motorizados. El cambio más relevante implementado a través de esta ley fue la disminución de la velocidad máxima en las zonas urbanas, de 60 a 50 km/h.

Con respecto a experiencias nacionales de implementación en estaciones de tren o metro, se pueden destacar dos que han resultado relativamente exitosas. La primera de ellas corresponde al proyecto EFE Bike de la Empresa de los Ferrocarriles del Estado, que en su Memoria Anual 2022 señaló “EFE Bike es una red de bicicleteros gratuitos presente actualmente en las estaciones de Rancagua, Graneros, Paine y Buin, y que esperamos extender en todo nuestro servicio. Con EFE Bike puedes dejar tu bicicleta en un espacio seguro para continuar así tu viaje en tren. El espacio cuenta con cámaras de seguridad en su interior y la inscripción no tiene costo”. (EFE Central, 2023)

Este proyecto promueve la intermodalidad, favoreciendo la movilidad de los usuarios de modos no motorizados que han aumentado sustancialmente en el último tiempo. Este es el caso de Rancagua, capital de la región de O’Higgins, que registra uno de los mayores porcentajes de uso de bicicleta a nivel país. El servicio en esta estación originalmente presentaba una capacidad de 30 bicicletas, la cual se duplicó en el año 2022, en respuesta a la necesidad de los usuarios.

En cada estación existe un reglamento, y en el caso de EFE Bike Rancagua, los usuarios deben registrarse vía correo o presencial en la estación, antes de utilizar el servicio. Una vez en la estación, deben presentar su identificación personal y la tarjeta de Tren Central, y deben firmar un registro de ingreso previo a aparcar la bicicleta. Finalmente, al retornar, deben firmar un registro de salida para retirar la bicicleta. (EFE, 2020)

La segunda experiencia interesante por analizar a nivel nacional, es el proyecto Línea Cero, que forma parte de las diversas iniciativas que Metro de Santiago ha implementado por años para promover la intermodalidad con la bicicleta, junto a otras destacables como “BiciMetro”. La primera generación del proyecto Línea Cero puso a disposición estacionamientos de bicicletas en Línea 6 del Metro, pero contemplaba un costo asociado que se tradujo en un desincentivo para los usuarios a la hora de utilizar el biciestacionamiento y por esto el servicio fracasó. Teniendo en cuenta este antecedente, en la segunda generación del proyecto se consideró un nuevo modelo de estacionamientos gratuitos para bicicletas y en agosto de 2019 se instalaron los tres primeros (Metro de Santiago, 2021).

Estos nuevos biciestacionamientos gratuitos, se ubicaron en las estaciones El Parrón, Cardenal Caro y Fernando Castillo Velasco, y cuentan con una cubierta, luminarias y estaciones de servicio (donde es posible realizar reparaciones menores a la bicicleta), y teniendo una capacidad de 40 bicicletas.

Cabe mencionar que posteriormente se eliminó el cobro de todos los estacionamientos de Línea Cero ubicados en la Línea 6, y al año 2020 Metro sumaba el total de 477 estacionamientos de bicicletas en la red (Cuevas, 2020).

Ahora bien, para el desarrollo de este tipo de proyectos, es conveniente contar con una metodología específica, que actualmente no existe para proyectos de biciestacionamientos en Chile. En este caso, la única alternativa es utilizar la metodología general de preparación y evaluación de proyectos desarrollada por el Ministerio de Desarrollo Social (MDS, 2013).

Esta metodología consta de 4 etapas, con una serie de lineamientos generales asociados a cada una de ellas. La primera etapa consiste en la identificación del problema, a través de observaciones de la realidad, detectando disfuncionalidades o contrastando la situación a analizar respecto a estándares establecidos. La etapa 2 corresponde al diagnóstico de la situación actual, donde se identifican el área de estudio y el área de influencia, se proyecta la población objetivo, y se estima oferta y demanda del escenario basal y el proyectado. La etapa 3 consiste en identificar las posibles alternativas que permitan dar solución al problema definido, en base a tres factores principales: el tamaño, la localización y la tecnología. Finalmente, la etapa 4 corresponde a la evaluación del proyecto, la cual se puede realizar mediante dos enfoques (costo-beneficio o costo eficiencia) dependiendo si es posible cuantificar los beneficios del proyecto.

La Empresa de los Ferrocarriles del Estado, considerando todos sus servicios a nivel país, pasó de trasladar a 24 millones de pasajeros el año 2020, a un total de 56 millones de pasajeros el año 2022 (EFE, 2022). A lo largo de toda la red son 101 estaciones totales, de las cuales 25 pertenecen al servicio del Biotren que corresponde al tercero con más pasajeros transportados.

Teniendo en cuenta el antecedente anterior, y sumado a que la población de la comuna de Concepción se estima crecerá un 15% al año 2050 (MTT, 2021b). Surge la necesidad de poder implementar nuevas soluciones que mejoren la accesibilidad de las estaciones; en ese contexto, la existencia de una metodología adaptada a la realidad nacional permitiría optimizar la implementación de sistemas integrados bicicleta-tren para los viajes de acceso a la estación.

## **2.5 Conclusión**

En el presente capítulo, se describieron los sistemas de integración bicicleta-tren, los distintos tipos y sus principales características. Luego se detallaron las experiencias internacionales más importantes, la normativa vigente a nivel nacional sobre movilidad sostenible y las experiencias nacionales de EFE Bike en Rancagua y Línea Cero en Santiago. Además, se mostraron dos metodologías de integración desarrolladas en Latinoamérica, y la metodología general de proyectos de Chile que rige a aquellos que no tienen una metodología específica.

## CAPÍTULO 3 MÉTODOS

### 3.1 Introducción

A partir de los antecedentes recopilados en el capítulo anterior, en especial las tres metodologías descritas, se elaboró una metodología de integración bicicleta-tren adaptada a la realidad nacional.

Esta metodología consta de seis etapas principales. La primera de ellas corresponde al diagnóstico inicial donde se identifican el área de estudio y el área de influencia y, además, se evalúan las condiciones preexistentes de infraestructura y movilidad, con énfasis en los datos sobre la infraestructura ciclo-inclusiva (ciclovías y biciestacionamientos) y el uso de la bicicleta. La segunda etapa consiste en la identificación y aplicación de entrevistas semiestructuradas a actores principales, que corresponden a profesionales o expertos con experiencia en proyectos nacionales exitosos de sistemas integrados o proyectos en los cuales el eje central estuviera en la promoción del uso de la bicicleta.

Para la tercera etapa, en primer lugar, se define la población objetivo del proyecto, luego de esto se estima la oferta y demanda actual a partir de los datos obtenidos del diagnóstico inicial y, por último, se estima la oferta y demanda actual en base a la aplicación de la técnica de Preferencias Declaradas. La tercera etapa consiste en la determinación de la ubicación, tamaño y tipo de infraestructura y, además, la elaboración del presupuesto y diseño detallado de la misma. La quinta etapa corresponde a la evaluación social del proyecto y la posterior priorización de las estaciones en base a los resultados obtenidos. Por último, la sexta etapa consiste en la construcción e instalación de la infraestructura, junto a medidas ligadas a la promoción, evaluación y mejoramiento continuo del servicio.

La Figura 3.1. muestra esquemáticamente las seis etapas de la propuesta metodológica, con los lineamientos principales de cada una de ellas.



Figura 3.1 Propuesta metodológica de integración bicicleta-tren.

En el presente capítulo se describen los métodos utilizados en la aplicación parcial de esta metodología al servicio del Biotren en Concepción, y en la definición de una propuesta de infraestructura a implementar y recomendaciones finales. Además, se describe el diseño, la aplicación y el posterior análisis de cada uno de los diversos instrumentos de recopilación de información utilizados, los cuales, dependiendo del tipo de información requerida, se pueden clasificar en tres tipos principales: documental, cuantitativo y cualitativo.

## **3.2 Aplicación de la metodología al caso de Concepción**

A continuación, se detallan los métodos utilizados en la aplicación de las tres primeras etapas de la metodología de integración, que corresponden a las etapas de diagnóstico inicial, actores principales, y oferta y demanda.

### **3.2.1 Diagnóstico inicial**

Para el diagnóstico de la situación actual, se identificó el área de estudio y el área de influencia, correspondientes al Gran Concepción y el entorno de las estaciones del Biotren respectivamente. Luego, se extrajeron datos generales sobre la movilidad en el área de estudio del “Plan de Movilidad 2050 del Gran Concepción” (MTT, 2021b). Por otro lado, se describió la disponibilidad y uso de ciclovías utilizando datos del documento “Análisis de Contadores de Ciclovías” (MINVU, 2018). Con respecto a datos de movilidad específicos del Biotren, se recabaron algunos antecedentes directamente en las Oficinas de EFE Sur, quienes pusieron a disposición de la investigación los resultados de una encuesta de micromovilidad realizada el año 2023 (EFE Sur, 2023). Por último, para obtener datos actualizados de la condición de los biciestacionamientos existentes en la red, se realizó un catastro presencial recorriendo todas las estaciones.

### **3.2.2 Entrevistas semiestructuradas de los actores principales**

En la etapa 2 de la metodología de integración, se propone identificar y entrevistar a los actores principales, lo que implica indagar acerca del tipo de entrevista que resultaría efectiva para este fin y cómo proceder en su aplicación. En ese sentido, a continuación, se detalla el marco teórico al respecto, así como el diseño y aplicación de las entrevistas realizadas.

#### **3.2.2.1 Marco teórico entrevistas**

Las entrevistas corresponden a uno los métodos cualitativos de recopilación de información más utilizados al realizar una investigación. La entrevista semiestructurada, en particular, es una técnica que presenta múltiples ventajas debido a su diseño flexible y versátil, ofreciendo al entrevistado plena libertad de expresión.

Se pueden distinguir cinco grandes etapas en el diseño de las entrevistas (Kallio et al., 2016):

- I. Requisitos mínimos para su aplicación: esta técnica es adecuada para estudios que buscan conocer las percepciones y opiniones de las personas sobre un tópico en específico.
- II. Recuperar y utilizar conocimientos previos: es necesario que el entrevistador adquiriera una comprensión global y adecuada del tema de la investigación, y así pueda elaborar las preguntas de la entrevista en base a los conocimientos adquiridos.
- III. Formulación de la entrevista semiestructurada preliminar: guión organizado a partir de ejes temáticos de reflexión y preguntas de profundización.
- IV. Prueba piloto del guión de la entrevista: confirmar la pertinencia de las preguntas incluidas y reformular las preguntas en caso de ser necesario.
- V. Aplicación de la entrevista semiestructurada completa: utilizando la versión final del guion se aplica la entrevista completa a los sujetos seleccionados.

La realización de estas etapas permite asegurar un procedimiento riguroso en la recopilación de la información, lo cual influye en la calidad y fiabilidad de los resultados a obtener.

Para el registro de estas entrevistas se recomienda realizar grabaciones o, en caso de no existir esta opción, notas de campo que permitan replicar fielmente las respuestas de los entrevistados. Por último, el proceso de la entrevista finaliza con la categorización y la posterior teorización de la información obtenida, permitiendo al investigador realizar conclusiones con una argumentación consistente (Tonon, 2010).

### **3.2.2.2 Diseño y aplicación de entrevistas**

Teniendo en consideración el marco teórico de las entrevistas semiestructuradas, en primer lugar, se procedió a definir cuáles serían los actores principales. Para el caso de Concepción, al no existir ejemplos exitosos de aplicación de sistemas intermodales bicicleta-tren, se recurrió a profesionales o expertos que tuvieran alguna vinculación con proyectos similares, o bien con proyectos sobre alguno de los modos en cuestión. Así, se contactaron a cuatro posibles entrevistados, dos de ellos formaron parte del Proyecto EFE Bike en Rancagua, el tercero es coordinador de una ONG de bicicletas en Concepción, y el último trabaja para la Secretaría de Transportes en Santiago (SECTRA) y ha estado ligado a un sinnúmero de proyectos sobre bicicletas. Se agendó una entrevista con cada uno de ellos.

Una vez identificados y definidos los actores principales a entrevistar, se diseñó la entrevista, en torno a cuatro ejes centrales de conversación: definiciones, ejemplos o experiencias previas, puntos claves a considerar y recomendaciones. Además, se incluyeron preguntas de profundización a las cuales recurrir en caso de ser necesario. Luego de revisar el guión y realizar una prueba del desarrollo de la entrevista, se realizaron las entrevistas definitivas. El Anexo A.2 muestra la pauta final de la entrevista.

Al concluir las entrevistas, en base a lo registrado, se resumieron las principales definiciones y ejemplos o experiencias previas. Además, se registraron en una tabla los puntos claves a considerar y recomendaciones, donde se pudo apreciar una cierta reiteración en los conceptos que mencionaron los entrevistados, sobre todo en relación a la seguridad del biciestacionamiento y la necesidad de conexión a ciclovías.

### **3.2.3 Técnica de preferencias declaradas**

El objetivo de la etapa 3 de la metodología de integración, es determinar la oferta y demanda actual, y la oferta y demanda proyectada. A través de la información recopilada en el diagnóstico inicial fue posible obtener la oferta y demanda actual. Para calcular la demanda futura, fue necesario aplicar una encuesta de Preferencias Declaradas, con la posterior estimación por medio de un modelo de elección discreta. A continuación, se detalla el marco teórico y métodos utilizados seguido de un resumen del diseño y aplicación de las encuestas. Por último, se detalla la modelación y el análisis de los resultados.

#### **3.2.3.1 Preferencias Declaradas**

Se denominan técnicas de Preferencias Declaradas, a aquéllas que basan la estimación de la demanda en un análisis de las respuestas dadas por individuos acerca de cómo actuarían frente a diversos escenarios hipotéticos (Sartori, 2006). A continuación, se detalla el marco teórico y metodológico necesario para la aplicación de estas técnicas (Ortúzar & Willumsen, 2008).

Existen dos tipos de encuestas que permiten obtener los datos necesarios para medir la demanda por modos de transporte: encuesta de Preferencias Reveladas (PR) y Preferencias Declaradas (PD). El primero de ellos se fundamenta en elecciones y decisiones observadas en experiencias actuales de los

individuos, mientras la encuesta de preferencias declaradas (instrumento que se utilizará en la presente Memoria) se basa en la elección de las personas respecto a cómo actuarían ante escenarios hipotéticos.

La encuesta de preferencias declaradas posee tres categorías, según el tipo de respuesta a obtener a través del instrumento: (Sartori, 2006)

- Escalamiento: la respuesta es organizada en una escala numérica o semántica que indica satisfacción, atractivo o probabilidad de uso de la alternativa.
- Jerarquización: en cada respuesta se comparan y ordenan todas las alternativas según atractivo o preferencia.
- Elección: el encuestado simplemente debe escoger la alternativa que considere mejor, dentro del conjunto disponible de alternativas presentadas.

El diseño de la encuesta consiste en una serie de variables independientes (atributos) que están relacionadas con una variable dependiente (la elección de la alternativa), donde cada variable independiente se caracteriza por tener una determinada cantidad de niveles. El número de atributos ( $a$ ) y el número de niveles ( $n$ ), determinan un diseño factorial con una cantidad de escenarios ( $n^a$ ).

Para seleccionar el diseño experimental factorial adecuado se utilizan tablas, denominadas planes maestros (Kocur et al., 1982), las cuales proporcionan el número de escenarios hipotéticos necesarios que garanticen la ortogonalidad, es decir, la independencia entre las distintas alternativas.

Al aplicar una encuesta de preferencias declaradas se deben seguir las siguientes etapas (Ortúzar & Willumsen, 2008):

- I. Identificación de los atributos clave de cada alternativa y construcción de las combinaciones que conforman las distintas opciones de elección.
- II. Diseño del cuestionario a utilizar.
- III. Desarrollo de una estrategia de muestreo que asegure un conjunto de datos suficiente y representativo.
- IV. Realización apropiada de la encuesta, supervisando e intentando asegurar la calidad de los resultados.
- V. Utilización de técnicas adecuadas de estimación de modelos.

Como este tipo de encuestas comúnmente es “a la vera del camino”, la fórmula para obtener el tamaño muestral está definida como sigue:

$$n \geq \frac{p * (1 - p)}{\left(\frac{e}{z}\right)^2 + \frac{p * (1 - p)}{N}} \quad (3.1)$$

Donde:  $n$ : Tamaño muestral

$N$ : Tamaño de la población

$z$ : Parámetro estadístico que depende del nivel de confianza

$e$ : Error de estimación

$p$ : Probabilidad de ocurrencia de evento

El número de encuestas mínimas necesarias a realizar será igual al tamaño muestral dividido el total de escenarios considerados.

Los modelos seleccionados para la estimación de la demanda son los modelos de elección discreta, donde “la probabilidad de que los individuos elijan una determinada alternativa es función de sus características socioeconómicas y de la relativa atractividad de la alternativa” (Ortúzar & Willumsen, 2008).

Para la aplicación de este tipo de modelos, se deben tener en cuenta ciertas consideraciones, como la existencia de individuos pertenecientes a una población homogénea, las características o atributos de los individuos, las alternativas de elección, y las cualidades o características de las alternativas.

El modelo de elección discreta se enmarca en la teoría de utilidad aleatoria, la cual señala que el individuo elige la alternativa que maximiza su utilidad. Cabe mencionar que las alternativas no generan la utilidad, sino que esta es consecuencia de los atributos de los modos considerados y sus características socioeconómicas. Entonces, la utilidad puede expresarse por medio de la siguiente fórmula:

$$U_{jq} = V_{jq} + \varepsilon_{jq} \quad (3.2)$$

Donde:  $U_{jq}$ : Utilidad aleatoria

$\varepsilon_{jq}$ : Errores estocásticos

$V_{jq}$ : Utilidad sistemática

A partir de la formulación anterior, reordenando y considerando que los residuos  $\varepsilon$  son variables aleatorias con media cero, la ecuación queda como sigue:

$$V_{jq} = \sum \theta_{kj} * X_{jkq} \quad (3.3)$$

Donde:  $V_{jq}$ : Utilidad sistemática

$\theta_{kj}$ : Coeficientes constantes propios de cada atributo, pudiendo variar según la alternativa

$X_{jkq}$ : Conjunto de atributos medibles del individuo

La estimación es posible realizarla mediante el modelo logit multinomial (MNL), el más sencillo, versátil y popularmente utilizado en la elección discreta. Para este modelo el error aleatorio es independiente e idénticamente distribuido entre las variables y además dicho error presenta una distribución del tipo Gumbel. Teniendo en cuenta esto, la estimación viene dada por la siguiente fórmula:

$$P_{iq} = \frac{\exp(\beta * V_{iq})}{\sum \exp(\beta * V_{jq})} \quad (3.4)$$

Donde:  $P_{iq}$ : Probabilidad de elección

$\beta$ : Parámetro cuyo valor en la práctica se normaliza a uno porque no puede ser estimado separadamente de los parámetros  $\theta$

$V_{jq}$ : Utilidad sistemática

Una vez estimados los modelos, corresponde aplicar un test de significancia de los parámetros considerados. El más común es el Test-t para la significatividad de un parámetro  $\theta_k$ , donde  $S_{kk}^2$  corresponde a la varianza estimada y se tiene una distribución Normal estándar, se define como sigue:

$$\frac{(\theta_k^* - \theta_k)}{\sqrt{S_{kk}}} \approx N(0,1) \quad (3.5)$$

Bajo la hipótesis nula:  $H_0: \theta_k = 0$ , se tiene:

$$t = \frac{\theta_k^*}{\sqrt{S_{kk}}} \quad (3.6)$$

Si  $t \geq t_{crit,\alpha}$ , entonces se rechaza  $H_0$ .

Luego de comprobar el cumplimiento del test, es posible realizar otro tipo de comprobaciones más informales, tales como observar el signo del coeficiente estimado y verificar si es consecuente con la teoría y/o lo esperado.

La buena práctica recomienda incluir una variable relevante o de intervención política con signo correcto aun cuando no haya pasado el test de significancia, mientras las variables del tipo “otras” con signo incorrecto debieran rechazarse siempre. La eliminación en general dependerá del nivel de significación, y normalmente se deja fuera si no es significativa a un nivel del 80%. (Ortúzar & Willumsen, 2008)

Por otro lado, existe una serie de test asociados a analizar la bondad de ajuste de los modelos, entre ellos el test de razón de verosimilitud (LR). Este permite probar si es aceptable un modelo que implica un conjunto ( $r$ ) de restricciones lineales sobre un modelo más general, definido como sigue:

$$LR = -2 * \{LL^*(\theta_{restringido}) - LL^*(\theta)\} \quad (3.7)$$

Donde LL corresponde a la máxima verosimilitud, concepto que consiste en estimar los coeficientes  $\theta_{kj}$  y viene dado por el producto de las probabilidades de que cada individuo elija la opción que realmente seleccionó, definido mediante la siguiente formulación matemática:

$$LL = l(\hat{\theta}) = \sum_{q=1}^Q \sum_{A_j \in A(q)} g_{jq} * \ln (P_{jq}) \quad (3.8)$$

Luego, la verificación del test se realiza mediante la siguiente desigualdad:

$$LR \leq X_{r,a}^2 \quad (3.9)$$

Si esta desigualdad se cumple entonces se acepta la hipótesis nula de que la verosimilitud del modelo con la restricción es lo suficientemente buena para ser utilizado.

Finalmente, también se pueden calcular algunos indicadores asociados a la importancia de ciertos atributos y uno de ellos es la elasticidad, que representa el cambio porcentual en una respuesta causado por un cambio en el porcentaje de un determinado atributo.

### 3.2.3.2 Diseño de la encuesta

Teniendo en consideración el marco teórico de las encuestas de preferencias declaradas, se dividió la encuesta en tres secciones. La primera corresponde a las preguntas relativas a las variables sociodemográficas y las variables de viaje, donde se consultó por la edad, frecuencia de viaje en Biotren durante la semana, modo de acceso a la estación, distancia a la estación desde el origen y motivo del viaje. Estas respuestas fueron recolectadas a través de preguntas con respuestas cerradas que permitían elegir entre opciones preestablecidas. En la última pregunta de esta sección, se consultó por los factores más influyentes al tomar la decisión de realizar el viaje de acceso a la estación en bicicleta, para lo cual se utilizó una pregunta con la Escala de Likert, permitiendo que los usuarios pudieran ordenar de menor a mayor importancia los cinco factores presentados. Esta escala permite medir variables actitudinales por medio de un conjunto de ítems, que se presentan en forma de afirmaciones o juicios, a los cuales los individuos le deben asignar una valoración (Likert, 1932).

En la segunda sección, se presentaron los escenarios hipotéticos, comparando la bicicleta con el actual modo de transporte de acceso a la estación que utiliza el usuario. Se consideraron ocho escenarios totales, donde se fueron modificando las variables de tiempo de viaje, costo del viaje y costo del biciestacionamiento; en cada uno de ellos, se le pidió al usuario elegir el modo de acceso que utilizaría. Cabe mencionar que los escenarios presentados a cada usuario dependían de su modo de acceso actual y de la distancia a la que se encuentra la estación de su origen, teniendo un total de seis posibles formularios a presentar en esta sección. Por último, en la tercera sección, se agregaron las observaciones del entrevistador, donde se registró el género del usuario, si viajaba con o sin carga y si viajaba acompañado. El Anexo A.3 muestra el desarrollo de la encuesta completa.

Además, se incluyó un documento de consentimiento informado, explicando el objetivo del estudio y el carácter voluntario, anónimo y confidencial de la encuesta, el cual se presentó a los usuarios previo a la aplicación de la encuesta.

### 3.2.3.3 Aplicación de la encuesta

Como no fue posible realizar un estudio en todas las estaciones, debido a la extensión que esto implica, se decidió seleccionar una estación de la red para aplicar una encuesta piloto, y así obtener una

estimación de la demanda. La estación seleccionada fue Lomas Coloradas, debido a las condiciones favorables que presenta en ubicación y nivel de afluencia, donde se aplicó la encuesta piloto del 21 al 24 de noviembre del 2023, entre las 7:30 – 9:00 am (horario punta mañana).

El instrumento fue aplicado en formato presencial por dos encuestadores en el andén de la estación, los cuales iban seleccionando en forma aleatoria a un usuario que viajaba en dirección a Concepción. En cada caso, primero se realizó una pregunta inicial respecto a la posesión de una bicicleta propia. Cuando la respuesta era afirmativa y el usuario estaba dispuesto a cooperar con la encuesta, se le presentaba el consentimiento informado y se le aplicaba la encuesta en un lapso menor a 10 minutos, considerando que el tiempo promedio de espera en el andén en ese horario es de 15 minutos. Durante los cuatro días se registraron 42 encuestas de forma completa y correcta, lo que equivale a un total de 266 escenarios evaluados.

#### **3.2.3.4 Modelación y análisis de resultados**

Una vez obtenidos los resultados de la encuesta, se procesó la base de datos para la modelación. Luego se aplicaron dos modelos generales de estimación del tipo logit multinomial y además se aplicaron otros dos modelos restringidos a partir de los anteriores. La estimación de estos modelos se realizó mediante el lenguaje de programación R, donde se utilizó el paquete de software Apollo, el cual contiene una serie de funciones preestablecidas de los modelos de elección discreta. Para el uso correcto de esta herramienta, se utilizó como referencia el “Manual de Apollo versión 0.2.0” (Hess & Palma, 2020). Al estimar los modelos generales se realizaron las comprobaciones de los test t, eliminando los parámetros que no cumplían con las condiciones necesarias de significancia para el modelo y se aplicaron nuevamente las estimaciones, pero con los modelos restringidos. A partir de los modelos generales y restringidos, se aplicó el test de razón de verosimilitud para verificar que el modelo restringido fuese lo suficientemente bueno para ser utilizado. Así, se seleccionó el modelo restringido que incluía variables sociodemográficas para realizar los posteriores análisis.

Con respecto a los resultados de este modelo, se realizó un análisis estadístico descriptivo y se compararon porcentualmente estos resultados con los obtenidos en la encuesta de micromovilidad (EFE Sur, 2023). Además, se determinó la demanda y oferta proyectada, y las elasticidades del tiempo de viaje en bicicleta y del costo del biciestacionamiento.

### **3.3 Propuesta de infraestructura y recomendaciones**

A continuación, se detallan los métodos utilizados para definir una propuesta de infraestructura y las recomendaciones de ejecución, que corresponden a un antecedente inicial para una futura realización de las etapas finales de la propuesta metodológica (diseño de la infraestructura, evaluación social del proyecto, implementación del proyecto), no abordadas en este estudio.

#### **3.3.1 Propuesta de infraestructura**

A partir de los antecedentes recopilados de experiencias nacionales e internacionales, sumado a las metodologías de diseño de referencia, se propuso el diseño de biciestacionamientos del tipo techado y cerrado, con una ubicación segura y conveniente para el uso (con espacio suficiente para maniobrar), planteando la necesidad de que la infraestructura presentara una entrada distinta de la salida.

#### **3.3.2 Recomendaciones**

En base a los antecedentes recopilados, las recomendaciones de los actores principales y los factores más influyentes elegidos por los encuestados, se definieron una serie de recomendaciones ligadas a la seguridad y la iluminación de los biciestacionamientos. Además, se realizaron recomendaciones acerca de cómo evaluar este tipo de proyectos, y las medidas que podrían optimizar su funcionamiento.

### **3.4 Conclusión**

En este capítulo se describieron los métodos utilizados en la aplicación de la metodología de integración propuesta en el caso del Biotren en Concepción, donde se detalló el marco teórico, diseño y el posterior análisis de los dos instrumentos de recopilación más importantes utilizados en la investigación, la entrevista a los actores principales y la encuesta de preferencias declaradas. Además, se describieron las etapas del diagnóstico inicial realizado y la propuesta de infraestructura con las recomendaciones finales de ejecución.

## **CAPÍTULO 4    APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA**

### **4.1 Introducción**

Las etapas consideradas para la aplicación de la metodología en el caso del Biotren en Concepción fueron las tres iniciales, diagnóstico inicial, actores principales, y oferta y demanda. En este capítulo se detalla y profundiza lo realizado en cada una de estas etapas, los resultados obtenidos y los análisis respectivos de cada uno de ellos.

### **4.2 Diagnóstico inicial**

El área de estudio del proyecto corresponde al Gran Concepción, conurbación compuesta por diez comunas y ubicada en la región del Biobío, Chile. Esta posee una población de 995.608 hab. (INE, 2018) y una superficie aproximada de 2.100 km<sup>2</sup>. En el Gran Concepción, actualmente la Empresa de los Ferrocarriles del Estado, a través de su filial Ferrocarriles del Sur (EFE Sur), opera el servicio de Biotren, en una red compuesta por dos líneas y 25 estaciones totales, tal como se aprecia en la Figura 4.1. Debido a que en estas estaciones se pretende estudiar la factibilidad de la aplicación de la metodología de integración, el área de influencia del proyecto corresponde al entorno de las 25 estaciones, lo que implica un radio aproximado de un kilómetro desde cada estación (equivalente al área de atracción actual de las estaciones).



Figura 4.1 Emplazamiento general estaciones Biotren. Fuente: EFE Sur, 2023.

Con respecto a la movilidad en el Gran Concepción, el año 2021 el Ministerio de Transporte elaboró un reporte del Plan de Movilidad 2050 (MTT, 2021b), en el cual se muestra la distribución de viajes por modo. Los resultados muestran un alto uso del transporte público con un 40% del total, un 24% de uso de vehículos livianos, caminata un 23%, otros modos un 11%; por último, el uso de la bicicleta corresponde a solo un 2% del total de viajes. Sin embargo, es probable que esta distribución se haya visto afectada ante el aumento considerable que ha tenido el uso del Biotren, pasando de transportar cerca de 4 millones de pasajeros al año 2021 a más de 9 millones de pasajeros el año 2022 (EFE, 2022). Al mes de noviembre de 2023, de acuerdo con datos entregados por EFE Sur para esta investigación, se registró un nivel de afluencia de pasajeros promedio de 45.000 diarios.

En la región del Biobío, actualmente existen 184 km de red de ciclovías, lo que equivale a 11 km por cada 100.000 hab. (MTT, 2024). El año 2018, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo presentó un análisis de contadores de ciclovías, instrumentos instalados en 48 ejes distribuidos a lo largo del país, los cuales contaban la cantidad de pasadas de bicicletas, donde el promedio diario fue 211 pasadas por las ciclovías (MINVU, 2018). Se estudiaron distintas variables de accesibilidad, diseño y climáticas, observando cómo estas afectaban el número de pasadas. Una de las variables estudiadas

fue la presencia de biciestacionamientos, registrando un aumento en el promedio diario de un 26% ante la presencia de estas facilidades en las cercanías de la ciclovía.

A fines del año 2023, EFE Sur realizó una encuesta de micromovilidad para estudiar servicios de arriendo o estacionamiento de bicicletas y/o scooter (EFE Sur, 2023). En ella, se realizaron preguntas de caracterización del usuario y del viaje, y preguntas específicas ligadas a estos nuevos servicios. La encuesta fue aplicada vía online y se obtuvieron 943 respuestas, donde el tiempo de respuesta promedio fue de 6 minutos. Como resultados se obtuvo que un 86,2% de los encuestados estaría dispuesto a pagar por alguno de los servicios mencionados. Los usuarios indicaron que los montos que estarían dispuestos a pagar por un estacionamiento seguro, obteniéndose que los valores más señalados fueron \$500 y \$1.000. Por último, en la Tabla 4.1, se detallan las variables más importantes del viaje y del usuario obtenidas a partir de la encuesta.

**Tabla 4.1** Porcentaje de respuestas encuesta de micromovilidad EFE Sur.

<b>Variable</b>	<b>Valores</b>	<b>Porcentaje de respuestas (%)</b>
Edad usuario	18 años	1,5
	18-30 años	49,7
	31-45 años	40,4
	46-65 años	7,6
	65 años o más	0,8
Frecuencia de uso del Biotren	1-2 días	21,4
	3-4 días	24,4
	5 días o más	54,2
Modo de acceso a estación de origen	Caminata	74,1
	Auto	6,3
	Otro	19,6
Distancia a estación de origen	1 a 5 cuadras	30,1
	6 a 9 cuadras	27,3
	10 o más cuadras	42,6
Motivo de viaje	Trabajo	63,2
	Estudio	27,9
	Otro	8,9

En 17 de las 25 estaciones totales del servicio de Biotren, existe un espacio cerrado y techado destinado a aparcar la bicicleta ubicado en un costado por fuera de las estaciones. Para el presente

estudio, se realizó un catastro del estado de estas instalaciones, donde fue posible observar que las capacidades variaban entre 8 y 18 espacios para bicicletas, el área de la infraestructura fluctuaba entre 6 y 20 m<sup>2</sup>, y sólo en cinco de estas estaciones se registró la existencia de alguna ciclovía que tuviera conexión directa. En Anexo A.1 se muestra la tabla de registro del catastro realizado en las estaciones.

Es fundamental precisar que solo en una de estas estaciones actualmente el servicio se encuentra habilitado, que es el caso de la Estación Hualqui, donde se le permite exclusivamente a usuarios frecuentes del Biotren dejar su bicicleta aparcada en la estación y retirarla al momento de retornar. En todas las demás estaciones no se presta este servicio, debido a que han ocurrido hurtos de bicicletas dentro de las mismas instalaciones, lo que evidencia que éstas no presentaban las condiciones mínimas de funcionamiento en cuanto a seguridad, iluminación y estado de la propia infraestructura.

### **4.3 Actores principales**

Como se detalló en el diagnóstico inicial, si bien existían antecedentes de implementación de biciestacionamientos en la red del Biotren, este proyecto, por distintos motivos, no resultó ser exitoso. Por esta razón, se consideró oportuno realizar entrevistas a profesionales o expertos, que pudieran aportar su experiencia en la elaboración del proyecto, y que realizaran recomendaciones para su implementación.

#### **4.3.1 Diseño y aplicación entrevista**

Para las entrevistas, en primer lugar, se definieron los actores principales a entrevistar, recurriendo a profesionales que estuvieran involucrados en experiencias nacionales exitosas de sistemas integrados o proyectos en los cuales el eje central estuviera en la promoción del uso de la bicicleta. Luego de una exhaustiva búsqueda, y consultando por la disposición y disponibilidad para ser parte del estudio, se encontraron cuatro actores que cumplían las características previstas. Para preservar la confidencialidad no se mencionarán los nombres de los entrevistados, pero para identificarlos a continuación se detalla brevemente el perfil de cada uno de ellos:

- I. Entrevistado 1: Ingeniero Civil consultor, formó parte del proyecto EFE Bike y del plan de fomento del uso de la bicicleta en Rancagua.

- II. Entrevistado 2: Arquitecto consultor, formó parte del proyecto EFE Bike y del plan de fomento del uso de la bicicleta en Rancagua.
- III. Entrevistado 3: Ingeniero Civil, profesional que trabaja en la Secretaría de Transportes (SECTRA), con amplia experiencia en proyectos de infraestructura para las bicicletas.
- IV. Entrevistado 4: Coordinador de la ONG “Pedal Autónomo”, agrupación de la región del Biobío dedicada a la promoción del uso de la bicicleta como modo de transporte.

Paralelamente a la búsqueda de los entrevistados, se preparó el diseño de la entrevista semiestructurada. El diseño consistió en cuatro ejes centrales de conversación y una serie de preguntas de profundización para aplicar en caso de que el entrevistador lo creyera necesario. Luego, se aplicó una prueba del desarrollo de la entrevista, donde se estimó el tiempo de realización y se pudo corroborar la pertinencia del diseño planteado. Los ejes de conversación y las preguntas consideradas en el guion de la encuesta definitiva fueron los siguientes:

1. Definiciones de conceptos ligados al proyecto.

Preguntas: ¿Cuáles conceptos cree que sería necesario considerar en la definición del proyecto?

2. Ejemplos o experiencias previas en proyectos similares.

Preguntas: ¿Ha trabajado o tiene conocimiento de algún proyecto similar que se haya implementado en Chile?, ¿Qué destacaría en la realización de ese proyecto que pueda replicarse en otro de similares características?

3. Puntos claves a considerar para una implementación exitosa de los biciestacionamientos.

Preguntas: ¿Qué elementos habría que considerar para que la implementación de los biciestacionamientos sea óptima?

4. Recomendaciones generales.

Preguntas: ¿De qué forma evaluaría este tipo de proyectos?, ¿Cómo se podría optimizar el funcionamiento de los biciestacionamientos?

Luego, se contactaron a los cuatro actores principales, solicitándoles agendar una reunión para la realización de las entrevistas. Las entrevistas se realizaron entre agosto y septiembre del año 2023, tres por vía telemática y la restante en formato presencial, con una duración aproximada de una hora por entrevista. Como introducción de la conversación, se describió brevemente los objetivos del

proyecto del estudio, mencionando que consistía en la aplicación de la propuesta metodológica del sistema integrado en el caso del Biotren en Concepción. El registro de las entrevistas fue realizado a través de notas de campo, replicando las respuestas de los entrevistados.

### 4.3.2 Resultados y análisis

A través de las entrevistas se obtuvo una importante cantidad de información, resumiendo los principales resultados obtenidos en cada uno de los ejes considerados, como se muestra a continuación.

#### Eje 1: Definiciones

- Los sistemas de integración son una evolución necesaria e involucran proyectos que son de bajo costo y alto impacto.
- Es necesario generar un cambio cultural paulatino en cuanto a movilidad activa y esto es posible mediante acciones concretas como la implementación de biciestacionamientos seguros.
- El sistema óptimo para viajes tren-bicicleta, debe incluir bicicletas públicas/compartidas para brindar también una opción intermodal en la estación de destino del viaje.
- Las comunas con mayor potencialidad de uso de los biciestacionamientos serían Chiguayante, Hualpén y Talcahuano, principalmente debido al uso actual de la bicicleta en estas comunas.

#### Eje 2: Ejemplos o Experiencias previas

- EFE Bike: En Rancagua, se presentaron varios elementos que favorecieron la implementación de esta infraestructura. Existía una autoridad local, con visión de futuro y voluntad política, un plan regulador regional que reconoce la red de ciclovías, y un plan de fomento del uso de la bicicleta de la municipalidad, mediante el cual se consolidó la red de ciclovías en el centro de la ciudad. Así, con un diseño realizado por la municipalidad y la implementación del proyecto por parte de EFE, el proyecto de biciestacionamientos se ejecutó en la estación del centro de la ciudad con capacidad de 30 bicicletas, lo que se duplicó al año 2022, debido al alto nivel de demanda de los usuarios.

- Línea cero: Este proyecto, realizado por Metro de Santiago, en un comienzo fracasó debido a que incluía un pago asociado y un funcionamiento deficiente que conllevaba a trabas y demoras para los usuarios. Actualmente el servicio es gratuito y el éxito es disímil dependiendo de la estación.

**Eje 3 y 4:**

La Tabla 4.2 presenta los puntos claves y recomendaciones que señaló cada entrevistado. Conceptos como la seguridad de las instalaciones, la conexión con ciclovías y la gratuidad del servicio, fueron mencionados por más de un encuestado, dando cuenta de la importancia transversal que tienen estos puntos al momento de implementar el proyecto.

**Tabla 4.2** Puntos claves y recomendaciones señalados por los entrevistados.

Entrevistados	Puntos claves a considerar	Recomendaciones
Entrevistado 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conexión de estaciones con ciclovías.</li> <li>• Los biciestacionamientos deben ser accesibles, seguros y gratuitos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generar estándares mínimos, a utilizar en proyectos futuros.</li> <li>• Utilizar metodología de evaluación social con enfoque costo-eficiencia.</li> </ul>
Entrevistado 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deben estar establecidas las responsabilidades con respecto a la seguridad del servicio.</li> <li>• Conexión directa de estaciones con ciclovías.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incorporar actividades de promoción de los biciestacionamientos.</li> <li>• Incorporar mayor tecnología al servicio y brindar ventajas a los usuarios que utilizan la bicicleta.</li> </ul>
Entrevistado 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los biciestacionamientos no deben tener un costo asociado.</li> <li>• La seguridad no debe significar pérdida en el nivel de operación de la estación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evitar evaluar con enfoque costo-beneficio.</li> <li>• Utilizar metodología de evaluación de ciclovías, lógica de costo-efectividad.</li> </ul>
Entrevistado 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seguridad del servicio de biciestacionamientos.</li> <li>• Los biciestacionamientos deben ser visibles y atractivos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilitar al máximo la intermodalidad.</li> <li>• Incorporar servicios complementarios:                             <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Mini talleres dentro de la estación.</li> <li>b. Beneficios asociados, con descuentos en talleres, restaurantes, etc.</li> </ol> </li> </ul>

La información recopilada a través de las entrevistas fue útil para la realización de las etapas 4, 5 y 6 de la metodología, las cuales se resumen en el Capítulo 5 de la presente Memoria, donde se incorporaron varias recomendaciones mencionadas por los actores principales.

## **4.4 Oferta y demanda**

### **4.4.1 Definición población objetivo**

Dado que el área de influencia considera el entorno de las 25 estaciones pertenecientes a la red, para acotar el estudio y definir la población objetivo se decidió seleccionar una estación como referencia para realizar el análisis de oferta y demanda.

Luego de un análisis de las condiciones de las estaciones de la red, se seleccionó la Estación Lomas Coloradas, dado que cumplía con una serie de condiciones favorables para la implementación del biciestacionamiento. En primer lugar, está ubicada en un sector residencial, donde la mayor parte de los habitantes que viven en esta zona se trasladan a las comunas aledañas por motivos de estudio o trabajo. Además, en este sector prácticamente no existen líneas de buses que realicen viajes por las calles interiores lo que repercute en un alto nivel de uso del servicio de Biotren, al cual los usuarios acceden comúnmente caminando o en auto.

De acuerdo con información brindada por EFE Sur, la Estación Lomas Coloradas presenta uno de los mayores niveles de afluencia a lo largo de la red, correspondiente al 6,5% del total del servicio. Si nos centramos en el periodo punta mañana, correspondiente al horario de 7 a 9 am, con un total de 1.248 pasajeros que transitan por la estación.

Idealmente se debería considerar como parte de la población objetivo a los usuarios actuales y potenciales del Biotren que habitan en el entorno de la estación. Sin embargo, se debió priorizar a los actuales usuarios, y en particular a aquellos que viajan en el horario punta mañana y que cuenten con una bicicleta personal. De esta manera, los usuarios que cumplen con estas condiciones corresponden a la población objetivo del proyecto.

#### **4.4.2 Oferta y demanda actual**

La estación de Lomas Coloradas cuenta con un espacio cerrado y techado ubicado al exterior con un área de 12 m<sup>2</sup> y con una capacidad de 10 espacios para bicicletas. La empresa EFE Sur decidió dejar de prestar este servicio ante el riesgo de vandalización y posibles hurtos de bicicletas, riesgo que se incrementa al existir una infraestructura de biciestacionamientos que no presenta las mejores condiciones para su funcionamiento en cuanto a seguridad e iluminación. Por lo tanto, la oferta actual de biciestacionamientos para la población objetivo es nula.

Con respecto a la demanda actual, ante la carencia de un lugar seguro donde dejar la bicicleta, prácticamente no existen usuarios que realicen su viaje de acceso a la estación en bicicleta. Cabe mencionar que, en la encuesta de micromovilidad realizada por EFE Sur, la estación en la que se obtuvo una mayor cantidad de respuestas fue precisamente la estación de Lomas Coloradas, mostrando un importante interés en la implementación de medidas que permitan la intermodalidad en sus viajes de acceso, como la habilitación de un biciestacionamiento seguro. Sin embargo, en la actualidad la demanda al igual que la oferta es nula para la estación en estudio.

#### **4.4.3 Oferta y demanda proyectada**

Para la estimación de la demanda, se diseñó y aplicó la técnica de Preferencias Declaradas a una muestra representativa de la población objetivo. Una vez obtenida la demanda, se determinó la oferta estimada inicial para el proyecto. La técnica consta de cuatro etapas principales: diseño de la encuesta, aplicación de la encuesta, modelación y análisis de los resultados, las cuales se detallan y profundizan a continuación.

##### **4.4.3.1 Diseño de la encuesta**

En la primera sección de la encuesta, se consideraron preguntas de caracterización del viaje y del usuario, donde se consultó por la edad del usuario, frecuencia de viajes en Biotren durante la semana, modo de acceso a la estación de origen, distancia del origen a la estación y motivo del viaje. En cada una de estas preguntas se le presentaron alternativas de respuesta a los encuestados, donde estos podían elegir la que coincidía con su caso particular.

Para la última pregunta de esta sección se consultó por los factores más influyentes al tomar la decisión de realizar el viaje de acceso a la estación en bicicleta, utilizando la Escala de Likert, tal que los usuarios pudieran ordenar de menor a mayor importancia los siguientes factores:

- Estado de calles o ciclovías, correspondiente a la calidad de infraestructura por la cual debe transitar el usuario para llegar a la estación, además del grado de seguridad que brindan estas vías al usuario.
- Iluminación y señalética del biciestacionamiento, correspondiente a la existencia de un nivel de iluminación mínimo necesario para el espacio y señaléticas alusivas a la instalación.
- Seguridad y disponibilidad del biciestacionamiento, correspondiente a la existencia de un biciestacionamiento con un alto nivel de seguridad.
- Clima: condiciones climáticas adversas, tales como temperaturas mínimas, vientos o lluvias fuertes.
- Condición física o edad, los que corresponden a condiciones limitantes del usuario para el uso de la bicicleta.

En la segunda sección, se plantearon una serie de escenarios hipotéticos con el fin de evaluar la probabilidad de uso de la bicicleta como modo de transporte de acceso a la estación versus el actual modo que utiliza el usuario. En la Estación Lomas Coloradas se identificaron dos competencias directas de la bicicleta: el automóvil y la caminata, por ende, en el diseño de los escenarios, solo se consideraron estos modos. Para el diseño experimental se utilizaron las tablas del plan maestro de Kocur, necesarias para generar las combinaciones de las variables analizadas en cada uno de los escenarios. A continuación, se describen las variables y niveles respectivos utilizados:

- I. Tiempo de viaje: tiempo que necesita el usuario para realizar el viaje de acceso a la estación en auto, caminando o en bicicleta. Para la estimación de los tiempos de viaje, se consideraron los rangos de distancia utilizados en la pregunta de la sección 1 y se definieron tres radios alrededor de la estación, a 500 metros, 1 kilómetro y 1,5 kilómetros (4, 8 y 12 cuadras respectivamente). En cada uno de los radios se escogieron cinco puntos de referencia, y se estimaron los tiempos de viaje desde estos puntos a la estación, como se muestra en la Figura 4.2



Figura 4.2 Puntos de referencia y radios utilizados para la estimación del tiempo de viaje.

La estimación de los tiempos de viaje se realizó por medio de la herramienta Google Maps, la que utiliza una serie de supuestos tales como velocidad, condición ideal de la vía, entre otros. Considerando que el tiempo estimado de los cinco puntos pertenecientes a un mismo radio no eran iguales, estos se promediaron para obtener el tiempo de acceso asociado a cada uno de los radios, tal como se muestra en la Tabla 4.3.

**Tabla 4.3** Tiempo promedio de acceso a la estación.

Distancia (km)	Tiempo promedio (min)		
	Bicicleta	Caminata	Automóvil
0,5	2	8	2
1,0	4	14	3
1,5	6	20	4

Con respecto a los niveles de esta variable, como uno de los objetivos de los escenarios de Preferencias Declaradas es que estos sean lo más realistas posibles para los usuarios. Se definió como situación base el tiempo promedio de la distancia inicial de acceso del encuestado, y para las alternativas el tiempo se obtiene al sumar y restar el rango de variación de cada modo, como se muestra en la Tabla 4.4.

**Tabla 4.4** Niveles del tiempo de viaje.

	Variación en tiempo (min)			Nivel
	Bicicleta	Caminata	Automóvil	
Situación Base	Tiempo asociado a distancia inicial a estación			0
Alternativa 1	-2	-6	-1	1
Alternativa 2	+2	+6	+1	2

II. Costo de viaje: corresponde al valor monetario enfrenta al usuario a realizar el viaje de acceso a la estación en automóvil. En esta investigación, se consideraron dos niveles, para el primero de ellos se calculó el valor promedio de la bencina en Chile al mes de noviembre de 2023, correspondiente a 1.382 \$/l, el que se dividió por el rendimiento promedio de un automóvil, aproximadamente 11 km/l. Para el segundo nivel se consideró un aumento del 30% con respecto al nivel anterior, debido a las posibles alzas futuras en el valor de la bencina. De esta forma se obtuvieron dos costos fijos por viaje realizado, considerando que un viaje de acceso a la estación en promedio es de 1 km. Sin embargo, se realizó un leve ajuste de estas cifras en pos de una mejor interpretación por parte de los usuarios al aplicar la encuesta. En la Tabla 4.5, se presentan los niveles con sus respectivos valores.

**Tabla 4.5** Niveles del costo de viaje.

Costo de viaje calculado (\$/km)	Costo de viaje ajustado (\$/km)	Nivel
126	130	0
163	160	1

III. Costo del biciestacionamiento: corresponde al valor monetario que le cuesta al usuario dejar su bicicleta en la estación. En esta investigación, se consideraron dos niveles, comparando el costo gratuito con un monto fijo diario a pagar por el servicio del biciestacionamiento. Este monto se estimó en base a las respuestas recopiladas por la encuesta de micromovilidad realizada por EFE Sur. En la Tabla 4.6, se presentan los niveles con sus respectivos valores.

**Tabla 4.6** Niveles del costo del biciestacionamiento.

Costo del biciestacionamiento (\$/día)	Nivel
0	0
500	1

Una vez definidas las variables a utilizar con sus respectivos niveles (una variable de tres niveles y dos variables de dos niveles), se identificó el código del plan experimental (Kocur et al., 1982), que para el presente estudio corresponde al Plan 44a, el cual indica la cantidad de escenarios hipotéticos, número de plan maestro y número de columnas que se deben utilizar para el diseño. De esta forma, se consideraron 8 escenarios hipotéticos y se utilizaron las columnas 2, 6 y 7 del Plan Maestro n.º 3.

En Anexo A.1 se muestra el Plan Maestro número 3 completo con los valores de cada columna, mientras que la Tabla 4.9 muestra el Plan Maestro, adaptado con las variables y las columnas que fueron utilizadas.

**Tabla 4.7** Plan maestro adaptado.

Escenarios	Tiempo de viaje	Costo de viaje	Costo del Biciestacionamiento
1	0	0	0
2	0	1	1
3	1	0	0
4	1	1	1
5	2	0	1
6	2	1	0
7	1	0	1
8	1	1	0

A partir del Plan Maestro, fue posible construir los ocho escenarios, los que varían dependiendo del modo de acceso actual del usuario a la estación y de la distancia a la cual se encontraba la estación respecto a su origen.

Teniendo en consideración lo anterior, se construyeron un total de seis formularios a presentar en la sección 2, diferenciándolos de la siguiente forma:

- Formulario 1: Bicicleta vs Caminata – 500 m
- Formulario 2: Bicicleta vs Auto – 500 m
- Formulario 3: Bicicleta vs Caminata – 1 km
- Formulario 4: Bicicleta vs Auto – 1 km
- Formulario 5: Bicicleta vs Caminata – 1,5 km
- Formulario 6: Bicicleta vs Auto – 1,5 km

En el caso de los formularios que presentaban las alternativas de bicicleta y caminata, se reiteraban dos escenarios idénticos dada la combinación del plan maestro, por lo cual se tuvo que eliminar estos escenarios duplicados. Quedando un total de seis escenarios a evaluar en los formularios 1, 4 y 5, y ocho escenarios para los formularios 2, 4 y 6.

El Anexo A.2 presenta el diseño final de todos los formularios con sus respectivos escenarios. A modo de ejemplo, la Figura 4.3 muestra el escenario 1 del formulario “Bicicleta vs Auto – 500 m”.

<b>Escenario 1</b>		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Auto</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	2 minutos	2 minutos
<b>Costo de Viaje de acceso</b>	-	\$130
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	Gratuito	-

Figura 4.3 Escenario 1 del formulario “Bicicleta vs Auto – 500 m”.

Finalmente, la tercera sección de la encuesta incluye las observaciones del entrevistador, donde se registró el género del usuario, si viajaba con o sin carga y si viajaba acompañado.

#### 4.4.3.2 Aplicación de la encuesta

Se diseñó un tiempo de 10 minutos por encuesta aplicada, teniendo en cuenta que el rango promedio entre pasadas del tren equivale a 15 minutos en el período de interés, lo que permitió tener tiempo suficiente para realizar la encuesta en el andén de la estación mientras el usuario esperaba la llegada del tren. Sin embargo, para la franja de 7:00 a 7:30 existía un servicio adicional que aumentaba la frecuencia a 7 minutos entre cada tren, limitando así las posibilidades de realizar la encuesta en esa franja en particular. Por esa razón, se determinó que el horario definitivo de aplicación sería de 7:30 a 9:00 am, en ese rango horario, según información brindada por EFE Sur, transitan por la estación un total de 755 pasajeros.

Previo a la realización de la encuesta, se calculó la cantidad de encuestas mínimas a realizar. Para lo cual se utilizó la fórmula (3.1), teniendo en consideración los 755 pasajeros como tamaño de población, un error de estimación del 5%, un intervalo de confianza del 95% (parámetro  $z = 1,96$ ) y una probabilidad de ocurrencia de 0,5 (valor más conservador). Considerando que la encuesta posee ocho escenarios, el tamaño muestral queda como sigue:

$$n \geq \frac{\left( \frac{0,5 * (1 - 0,5)}{\left( \frac{0,05}{1,96} \right)^2 + \frac{0,5 * (1 - 0,5)}{755}} \right)}{8} \quad (4.1)$$

Donde  $n$  corresponde al tamaño muestral. Al desarrollar la ecuación anterior, se obtiene un valor de  $n$  igual a 32. Por ende, la cantidad de encuestas mínimas que se debían aplicar eran 32 encuestas.

Además, se elaboró una carta de consentimiento informado, explicando el objetivo del estudio y el carácter voluntario, anónimo y confidencial de la encuesta. En Anexo A.3 se muestra este documento. Por último, con el fin de optimizar los procesos de recolección de información de cada una de las secciones de la encuesta, se traspasó el diseño completo (con los seis formularios posibles para la sección 2) a la herramienta Google Forms, que permitió obtener una planilla inicial de Excel con las respuestas obtenidas.

Una vez definido el tamaño muestral, elaborada la carta de consentimiento informado y traspasado el diseño al formato digital; se aplicaron las encuestas en la Estación Lomas Coloradas, los días 21 al 24 de noviembre del 2023 entre las 7:30 – 9:00 am.

En cada uno de los períodos, estuvieron presentes dos encuestadores en el andén de la estación, los cuales iban seleccionando en forma aleatoria a un usuario que viajaba en dirección a Concepción. En cada caso, primero se realizó una pregunta inicial respecto a la posesión de una bicicleta propia. Cuando la respuesta era afirmativa y el usuario estaba dispuesto a cooperar con la encuesta, se le entregaba una copia de la carta del consentimiento informado y se le aplicaba la encuesta utilizando un dispositivo electrónico digital (Tablet). Durante los 4 días de aplicación se registraron correctamente 42 respuestas, identificadas cada una de ellas por un ID ingresado por el encuestador al comenzar la encuesta. El tiempo promedio de respuesta fue de 8 minutos por encuesta y en total se evaluaron 266 escenarios.

### 4.4.3.3 Modelación

Como se señaló anteriormente, a través de Google Forms se obtuvo una planilla inicial de Excel con las respuestas de las encuestas. Ordenando esta planilla, y generando una fila por cada escenario considerado, se generó la base de datos para la modelación, como se muestra en el extracto de la Figura 4.4.

ID	SECCIÓN 1 (Preguntas 1-6)										SECCIÓN 2 (Escenarios)		SECCIÓN 3 (Observaciones)		
	EDAD	FRECUENCIA	MODO	DISTANCIA	MOTIVO	ESTADO	ILUMINACIÓN	SEGURIDAD	CLIMA	CONDICIÓN	ESCENARIO	ELECCIÓN	SEXO	CARGA	COMPañÍA
2005	31 a 45 años	5 días o más	En Auto	1 a 5 cuadras	Trabajo	3	4	5	2	1	1	Bicicleta	Mujer	Con	Sin
2005	31 a 45 años	5 días o más	En Auto	1 a 5 cuadras	Trabajo	3	4	5	2	1	2	Bicicleta	Mujer	Con	Sin
2005	31 a 45 años	5 días o más	En Auto	1 a 5 cuadras	Trabajo	3	4	5	2	1	3	Bicicleta	Mujer	Con	Sin
2005	31 a 45 años	5 días o más	En Auto	1 a 5 cuadras	Trabajo	3	4	5	2	1	4	Bicicleta	Mujer	Con	Sin
2005	31 a 45 años	5 días o más	En Auto	1 a 5 cuadras	Trabajo	3	4	5	2	1	5	Bicicleta	Mujer	Con	Sin
2005	31 a 45 años	5 días o más	En Auto	1 a 5 cuadras	Trabajo	3	4	5	2	1	6	Bicicleta	Mujer	Con	Sin
2005	31 a 45 años	5 días o más	En Auto	1 a 5 cuadras	Trabajo	3	4	5	2	1	7	Bicicleta	Mujer	Con	Sin
2005	31 a 45 años	5 días o más	En Auto	1 a 5 cuadras	Trabajo	3	4	5	2	1	8	Bicicleta	Mujer	Con	Sin
1005	18 a 30 años	3-4 días	Caminando	6 a 9 cuadras	Trabajo	3	2	5	4	1	1	Bicicleta	Mujer	Con	Con
1005	18 a 30 años	3-4 días	Caminando	6 a 9 cuadras	Trabajo	3	2	5	4	1	2	Caminata	Mujer	Con	Con
1005	18 a 30 años	3-4 días	Caminando	6 a 9 cuadras	Trabajo	3	2	5	4	1	3	Bicicleta	Mujer	Con	Con
1005	18 a 30 años	3-4 días	Caminando	6 a 9 cuadras	Trabajo	3	2	5	4	1	4	Caminata	Mujer	Con	Con
1005	18 a 30 años	3-4 días	Caminando	6 a 9 cuadras	Trabajo	3	2	5	4	1	5	Caminata	Mujer	Con	Con
1005	18 a 30 años	3-4 días	Caminando	6 a 9 cuadras	Trabajo	3	2	5	4	1	6	Bicicleta	Mujer	Con	Con
2009	46 a 65 años	3-4 días	Caminando	6 a 9 cuadras	Trabajo	3	4	5	2	1	1	Bicicleta	Mujer	Con	Sin
2009	46 a 65 años	3-4 días	Caminando	6 a 9 cuadras	Trabajo	3	4	5	2	1	2	Caminata	Mujer	Con	Sin
2009	46 a 65 años	3-4 días	Caminando	6 a 9 cuadras	Trabajo	3	4	5	2	1	3	Bicicleta	Mujer	Con	Sin
2009	46 a 65 años	3-4 días	Caminando	6 a 9 cuadras	Trabajo	3	4	5	2	1	4	Caminata	Mujer	Con	Sin
2009	46 a 65 años	3-4 días	Caminando	6 a 9 cuadras	Trabajo	3	4	5	2	1	5	Bicicleta	Mujer	Con	Sin
2009	46 a 65 años	3-4 días	Caminando	6 a 9 cuadras	Trabajo	3	4	5	2	1	6	Bicicleta	Mujer	Con	Sin

Figura 4.4 Extracto planilla de base de datos para la modelación.

Sin embargo, para que el software Apollo pudiera procesar los datos, estos debían cumplir las siguientes condiciones: los encabezados de la base de datos deben estar compuestos por la forma en que se llamen a las variables en la modelación y los valores que asumen las variables se tienen que representar en forma numérica. La Tabla 4.8 detalla las variables consideradas según estos requerimientos, con una breve descripción de ellas.

**Tabla 4.8** Variables consideradas para la modelación en Apollo.

<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>
EDAD <sub>i</sub>	Variable binaria que indica si el individuo pertenece al rango de edad “i”, para $i = 1,2,3,4,5$ .
FRECUENCIA <sub>i</sub>	Variable binaria que indica el rango de frecuencia de viaje en Biotren “i” del individuo, para $i = 1,2,3$ .
DISTANCIA <sub>i</sub>	Variable binaria que indica el rango de distancia de viaje de acceso “i” del individuo, para $i = 1,2,3$ .
MODO	Variable binaria que indica si el factor “modo” es considerado entre los tres más influyentes por el individuo.
ESTADO	Variable binaria que indica si el factor estado es considerado entre los tres más influyentes por el individuo.
ILUMINACION	Variable binaria que indica si el factor iluminación es considerado entre los tres más influyentes por el individuo.
SEGURIDAD	Variable binaria que indica si el factor seguridad es considerado entre los tres más influyentes por el individuo.
CLIMA	Variable binaria que indica si el factor clima es considerado entre los tres más influyentes por el individuo.
SEXO	Variable binaria que indica el sexo del individuo, donde hombre = 0 y mujer = 1.
TV_CAM	Tiempo de viaje del individuo mediante la caminata.
TV_AUTO	Tiempo de viaje del individuo mediante el automóvil.
TV_BICI	Tiempo de viaje del individuo mediante la bicicleta.
CV_AUTO	Costo que implica viajar en automóvil.
CE_BICI	Costo que implica usar el biciestacionamiento.

Además, se definieron los coeficientes a utilizar en la función utilidad, los cuales se enumeran en la Tabla 4.9 con una breve descripción de cada uno de ellos.

**Tabla 4.9** Coeficientes considerados para la modelación en Apollo.

<b>Coeficiente</b>	<b>Descripción</b>
$\theta_j$	Coeficiente constante del modo $j$ , siendo $\theta_j, bicicleta = 0$ .
$\theta_{TV,j}$	Coeficiente del tiempo de viaje del modo $j$ .
$\theta_C$	Coeficiente del costo generalizado.
$\theta_{EDAD3,j}$	Coeficiente relacionado a individuos de edad del rango 3 al viajar mediante el modo $j$ .

Cabe mencionar que, al utilizar un coeficiente del costo generalizado, teniendo un costo de viaje en automóvil por kilómetro y un costo asociado al biciestacionamiento diario, se tuvo que unificar la unidad de medida para introducir las variables al modelo. Bajo el supuesto de que el usuario al realizar su viaje de acceso a la estación en automóvil utilizaría este mismo modo para el viaje de retorno, se duplicó el valor inicial considerado para ambos niveles, obteniendo así un costo de viaje diario en automóvil correspondiente a \$260 para el nivel 0 y \$320 para el nivel 1.

Para la estimación se plantearon dos posibles modelos logit multinomial, definiendo la función utilidad de cada uno utilizando la fórmula (3.3), como se muestra a continuación:

- Modelo Logit Multinomial 1 (MNL 1):

Para todos los modos se utilizó la función de utilidad solo con las variables de costo y tiempo.

$$V_{j,q} = \theta_j + \theta_{TV,j} * TV_{j,q} + \theta_C * C_{j,q} \quad (4.2)$$

- Modelo Logit Multinomial 2 (MNL 2):

Para el modo automóvil se utilizó la función de utilidad (4.2). En el caso de los modos bicicleta y caminata, se introdujo además la variable asociada al rango de edad 3 (variable sociodemográfica), como sigue:

$$V_{j,q} = \theta_j + (\theta_{TV,j} + \theta_{EDAD3,j} * EDAD3) * TV_{j,q} + \theta_C * C_{j,q} \quad (4.3)$$

Para la codificación del modelo en el software, en ambos casos se estimó la función utilidad con todas las variables posibles, y luego se revisaron los resultados del test-t descartando las variables que no eran estadísticamente significativas para un nivel del 80%. De esta forma, se generaron dos nuevos

modelos restringidos, analizando su bondad de ajuste con respecto al modelo general. Además, se realizó el cálculo de la elasticidad del tiempo de viaje y del costo asociado al biciestacionamiento. En la siguiente sección, se presentan los resultados del modelo y un análisis en profundidad de ellos. El Anexo A.4 presenta el desarrollo del código utilizado para cada uno de los modelos en el software R.

#### 4.4.3.4 Resultados y análisis

A través de la aplicación de la técnica de encuestas de Preferencias Declaradas, se obtuvieron una serie de resultados que se exponen y analizan a continuación. En primer lugar, se realizó un análisis descriptivo de la base de datos obtenida. La Tabla 4.10 detalla las variables del viaje y del usuario que fue posible extraer a partir de las respuestas a las cinco primeras preguntas de la encuesta. Además, se incorporó una columna adicional con la variación porcentual de estas variables con respecto a la encuesta de micromovilidad realizada por EFE Sur (Tabla 4.1).

**Tabla 4.10** Porcentaje de respuestas encuesta de preferencias declaradas y diferencia porcentual con respecto a la encuesta de EFE Sur.

<b>Variable</b>	<b>Valores</b>	<b>Porcentaje de respuestas (%)</b>	<b>Diferencia porcentual con Encuesta EFE Sur (%)</b>
<b>Edad usuario</b>	18 años	7,1	-5,6
	18-30 años	21,4	28,3
	31-45 años	40,5	-0,1
	46-65 años	26,2	-18,6
	65 años o más	4,8	-4,0
<b>Frecuencia de uso del Biotren</b>	1-2 días	12,0	9,4
	3-4 días	19,0	5,4
	5 días o más	69,0	-14,8
<b>Modo de acceso a estación de origen</b>	Caminando	81,0	-6,9
	Auto	16,7	-10,4
	Otro	2,3	17,3
<b>Distancia a estación de origen</b>	1 a 5 cuadras	40,5	-10,4
	6 a 9 cuadras	23,8	3,5
	10 o más cuadras	35,7	6,9
<b>Motivo de viaje</b>	Trabajo	66,7	-3,5
	Estudio	23,8	4,1
	Otro	9,5	-0,6

A partir de la tabla anterior se destaca que un 81,0% de los encuestados realizó el viaje de acceso caminando, un 66,7% viajó por motivo de trabajo y un 23,8% lo hizo por estudio. La diferencia porcentual entre los valores de ambas encuestas no supera el 10% en la mayoría de los casos, lo cual indica que la muestra obtenida con 42 respuestas es bastante representativa al compararla con la muestra de la encuesta realizada por EFE donde se obtuvieron un total de 943 respuestas.

Luego, en base a las respuestas de la pregunta 6, donde se consultaba por los factores más influyentes al tomar la decisión de realizar el viaje de acceso a la estación en bicicleta, se obtuvo la distribución de la relevancia de los factores, como se muestra en la Figura 4.5

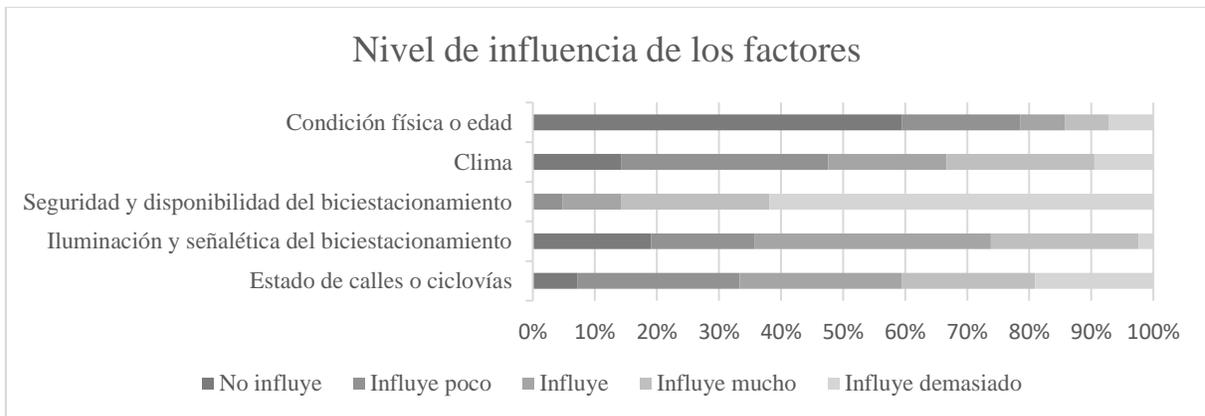


Figura 4.5 Nivel de influencia de los factores al realizar el viaje de acceso en bicicleta

En el gráfico se destaca que un 95,2% de los encuestados consideró dentro de sus tres factores prioritarios la seguridad y disponibilidad del biciestacionamiento, luego el 66,7% y 64,3% consideró dentro de sus tres factores prioritarios al estado de calles o ciclovías y la iluminación y señalética del biciestacionamiento respectivamente. Por último, el clima y la condición física o edad fueron los factores que menor influencia le asignaron los encuestados.

Con respecto a los formularios de la sección 2, el que presentó una mayor cantidad de respuestas fue el primero (Bicicleta vs Caminata – 500 m) con 15 encuestados, equivalente al 35,7% del total. Por otro lado, el único formulario del cual no se obtuvo respuestas fue el cuarto (Bicicleta vs Auto – 1 km). El Anexo A.4.8 presenta la cantidad de respuestas obtenidas en cada uno de los formularios.

Finalmente, de las observaciones registradas por los encuestadores se destaca que del total de encuestados 20 fueron hombres y 22 mujeres, lo que representa un 47,6% y 52,4% respectivamente. También se observó que un 90,5% de los encuestados viajaba con alguna carga (mochila o bolso) y un 19% realizaba su viaje acompañado.

A continuación, se presentan los resultados de los modelos propuestos que se obtuvieron por medio del software Apollo. En la Tabla 4.11 se muestran la influencia relativa de los coeficientes y sus valores del Test-t en los modelos generales y restringidos, considerando un intervalo de confianza del 80% y por ende un valor mínimo de 1,282 para descartar una variable. En los modelos generales, como se definió anteriormente, se realizó la estimación con todas las variables posibles; mientras que, en los modelos restringidos, se estimó descartando aquellas variables que no cumplían con el nivel de significancia estadística. Cabe mencionar que la bicicleta fue utilizada como escenario base por lo que su constante asociada ( $\theta_{bici}$ ) se fijó con el valor cero.

**Tabla 4.11** Resultados Test-t de los modelos logit multinomial.

Coeficiente	MNL1				MNL2			
	General		Restringido		General		Restringido	
	Coef.	Test-t	Coef.	Test-t	Coef.	Test-t	Coef.	Test-t
$\theta_{cam}$	-0.324	-0.874	-	-	-0.306	-0.824	-	-
$\theta_{auto}$	-2.448	-1.873	-	-	-2.395	-1.815	-	-
$\theta_{bici}$	0	NA	0	NA	0	NA	0	NA
$\theta_{TV,cam}$	-0.336	-1.915	-0.563	-4.013	-0.355	-2.003	-0.575	-4.053
$\theta_{TV,auto}$	-0.515	-0.472	-1.522	-3.287	-0.452	-0.412	-1.519	-3.243
$\theta_{TV,bici}$	-0.807	-1.399	-2.230	-3.262	-0.822	-1.410	-2.114	-3.059
$\theta_C$	-0.004	-6.821	-0.004	-6.898	-0.004	-6.840	-0.004	-6.922
$\theta_{EDAD3,cam}$	-	-	-	-	0.074	1.639	0.078	1.751
$\theta_{EDAD3,bici}$	-	-	-	-	0.152	1.164	0.169	1.323

Para el primer modelo, los signos de los coeficientes estuvieron dentro de lo esperable, ya que al ser negativos demuestran el desincentivo que provoca un mayor costo y tiempo de viaje. Con respecto a los coeficientes ligados al automóvil, llamó la atención la magnitud de la constante específica ( $\theta_{auto}$ ), sobre todo considerando la diferencia existente con los demás coeficientes. Teniendo en cuenta lo anterior, y considerando que interesaba cuantificar lo mejor posible los efectos del tiempo y costo, se determinó eliminar la constante asociada al automóvil para el modelo restringido. Además, se eliminó

la constante asociada a la bicicleta, dado que esta no presentaba un valor significativo con un Test-t menor a 1,282.

Analizando ahora el modelo restringido (MNL1), se verificó que todos los coeficientes mantuvieron su signo negativo y cumplieron con el nivel de significancia estadística.

En el caso del segundo modelo, los signos de los coeficientes de costo y tiempo de viaje estuvieron dentro de lo esperable, al igual que el coeficiente asociado al rango de edad 3 (equivalente a edades de 31 a 45 años) para bicicleta y caminata, el cual se esperaba que fuera positivo ya que en este rango etario las personas tienden a ser más activas y estar dispuestas a realizar desplazamientos en bicicleta. Siguiendo el razonamiento utilizado para el primer modelo, se eliminaron también las constantes asociadas al automóvil y a la bicicleta para el modelo restringido.

Analizando ahora el modelo restringido (MNL2), se verificó que todos los coeficientes mantuvieron su signo y cumplieron con el nivel de significancia estadística.

También se analizó la bondad de ajuste de los modelos restringidos mediante el test de razón de verosimilitud (LR). La Tabla 4.12 se muestra los resultados de este test.

**Tabla 4.12** Resultados test de razón de verosimilitud.

<b>Parámetro</b>	<b>MNL1</b>	<b>MNL2</b>
LL <sub>General</sub>	-138.8	-137.33
LL <sub>Restringido</sub>	-141.03	-139.41
LR	4.46	4.16
r	2	2
X <sup>2</sup> <sub>r,α</sub>	5.99	5.99

En vista de que ambos modelos cumplieron con  $LR \leq X^2_{r,\alpha}$ , se verificó que los modelos restringidos cumplían con la hipótesis nula, es decir que la verosimilitud del modelo restringido es lo suficientemente buena para ser utilizado a un 95% de nivel de confianza estadística.

Aplicando el mismo test entre ambos modelos restringidos se obtuvo un LR igual a 3.24, para valores de r y X<sup>2</sup><sub>r,α</sub> iguales a los de la Tabla 4.12, cumpliendo con la hipótesis nula. Por ende, se concluyó que

el modelo “MNL 1 restringido” era el con mejor ajuste para ser utilizado. Esto implica que las variables asociadas al rango de edad 3, a pesar de cumplir con el test-t, no aportaron una mayor especificación al modelo.

A partir de los coeficientes obtenidos del modelo “MNL 1 restringido” se calculó el valor subjetivo del tiempo (VST), como la razón entre los coeficientes de las variables tiempo de viaje y costo. Usualmente este valor corresponde a la disponibilidad a pagar para reducir el tiempo de viaje, pero la interpretación microeconómica depende de los datos ingresados al modelo (Ortúzar & Willumsen, 2008). Considerando que para el modo bicicleta se ingresó un costo diario asociado al uso del biciestacionamiento y que el tiempo promedio de viaje en bicicleta era de 4 minutos, se obtuvo un VST Bicicleta igual a 91 (\$/min), lo que se traduce en la disponibilidad del usuario a pagar por estacionamiento en relación con su tiempo de viaje de acceso a la estación. Al comparar este valor con el obtenido para VST Auto, igual a 267 (\$/min), es razonable ya que los usuarios de automóvil, versus los de bicicleta, tienden a tener una mayor disposición a pagar por reducir el tiempo de su viaje.

Luego, se procedió a evaluar las funciones de utilidad y la probabilidad de elección de cada alternativa. La Tabla 4.13 presenta los porcentajes de probabilidad de elección de las alternativas (modo de transporte) en cada uno de los escenarios. Para obtener estos porcentajes, en primer lugar, se calcularon las probabilidades de elección utilizando la fórmula (3.4), valores que se muestran en la Tabla A.4.9 de Anexos.

**Tabla 4.13** Porcentajes de la probabilidad de elección de los modos de transporte.

<b>Escenarios</b>	<b>Bicicleta vs Caminata</b>		<b>Bicicleta vs Automóvil</b>	
	<b>P Bici. (%)</b>	<b>P Cam. (%)</b>	<b>P Bici. (%)</b>	<b>P Auto. (%)</b>
Escenario 1	84,9	15,1	76,0	24,0
Escenario 2	41,3	58,7	39,3	60,7
Escenario 3	65,3	34,7	84,3	15,7
Escenario 4	25,1	74,9	46,1	53,9
Escenario 5	50,0	50,0	23,1	76,9
Escenario 6	88,8	11,2	66,7	33,3
Escenario 7			40,0	60,0
Escenario 8			87,3	12,7

La tabla muestra una tendencia clara de los escenarios 1, 3, 6 y 8, en los cuales el costo asociado al biciestacionamiento era igual a \$0, y donde el porcentaje de probabilidad de elección de la bicicleta fue bastante superior al modo en comparación. En contra parte, para los escenarios 2, 4, 5 y 7, donde el costo asociado al biciestacionamiento era igual a \$500, se visualiza que los niveles de elección de la caminata y el automóvil incrementaron sustantivamente, siendo igual o superiores al porcentaje de elección de bicicleta en estos escenarios.

La elección modelada de cada uno de los modos, calculada a través de la suma de probabilidades obtenidas, se comparó con la elección de modo actual de los usuarios y la elección que realizaron los entrevistados en cada uno de los escenarios planteados (elección declarada), como se muestra en la Tabla 4.14.

**Tabla 4.14** Comparación elección actual, declarada y modelada.

	<b>Caminata</b>	<b>Auto</b>	<b>Bicicleta</b>	<b>Total</b>
<b>Elección actual</b>	204,0	56,0	6,0	266,0
<b>Elección declarada</b>	84,0	22,0	160,0	266,0
<b>Elección modelada</b>	85,6	23,6	156,8	266,0

Al comparar los resultados de la elección modelada con los de la elección declarada, se obtuvo un error menor al 8% en los tres modos analizados, lo cual indica que el modelo utilizado se ajusta de buena forma a lo esperado.

A partir del modelo se obtuvo que un 58,9% de los usuarios elegirían la bicicleta como modo de acceso a la estación, correspondiente a un total de 157 usuarios potenciales. Considerando esta demanda estimada de biciestacionamientos y el espacio existente para la instalación de la infraestructura en la Estación Lomas Coloradas, se propone una oferta inicial de 40 biciestacionamientos, supliendo un cuarto de la demanda proyectada y con la posibilidad de aumentar su capacidad en un futuro (las especificaciones de la propuesta se abordarán en el capítulo siguiente).

Finalmente, utilizando el software Apollo, se calculó la elasticidad del costo del biciestacionamiento y del tiempo de viaje en bicicleta. A continuación, en las Tablas 4.15 y 4.16 se muestran los valores de elasticidad obtenidos junto con ejemplos de casos en los cuales se aplicó una variación en el atributo y como influyó esto en los usuarios potenciales del sistema.

**Tabla 4.15** Variación de usuarios potenciales en función de la elasticidad del costo asociado al biciestacionamiento.

<b>Elasticidad costo biciestacionamiento</b>	<b>Variación porcentual costo</b>	<b>Costo biciestacionamiento (\$)</b>	<b>Variación porcentual demanda</b>	<b>Usuarios potenciales</b>
-0.38	-100%	0	38%	55
	0%	500	0%	40
	100%	1.000	-38%	25

**Tabla 4.16** Variación de usuarios potenciales en función de la elasticidad del tiempo de viaje en bicicleta.

<b>Elasticidad tiempo de viaje en bicicleta</b>	<b>Variación porcentual tiempo</b>	<b>Tiempo de viaje en bicicleta (min)</b>	<b>Variación porcentual demanda</b>	<b>Usuarios potenciales</b>
-1.73	-50%	2	87%	75
	0%	4	0%	40
	50%	6	-87%	5

La elasticidad dio negativa en ambos casos, signo esperable ya que, al aumentar el tiempo o el costo, estos actúan como desincentivo para el usuario y provocan una disminución de la probabilidad de elección de la alternativa en cuestión, en este caso de la bicicleta.

Para el costo del biciestacionamiento se consideró como escenario base un costo de \$500 y 40 usuarios potenciales, al aumentar el costo en un 100% la demanda se redujo en un 38%, quedando un total de 25 usuarios potenciales, 15 menos que en el escenario basal. En el caso del tiempo de viaje de bicicleta de los usuarios se consideró como escenario base un tiempo de viaje de 4 minutos y 40 usuarios potenciales, al aumentar el tiempo en un 50% la demanda se redujo en un 87%, quedando un total de cinco usuarios potenciales, 35 menos que en el escenario basal. Al disminuir en un mismo porcentaje los atributos se produjo el efecto inverso, aumentando la cantidad de usuarios potenciales y por ende la demanda de biciestacionamientos.

#### 4.5 Conclusión

El diagnóstico inicial permitió establecer las condiciones preexistentes del área de estudio, donde se revisó datos relativos a la movilidad en el Gran Concepción, infraestructura y servicio del Biotren, e infraestructura ciclo-inclusiva en la región del Biobío. Esa revisión permitió observar la nula existencia de oferta y la demanda actual de biciestacionamientos en la Estación Lomas Coloradas.

Además, la aplicación de las entrevistas semiestructuradas a los actores principales permitió recabar valiosa información para la realización de las etapas posteriores de la metodología. A través de su experiencia en diversos ámbitos del desarrollo de proyectos afines, cada uno de los entrevistados entregó ideas o lineamientos que se podían incorporar en el diseño, evaluación e implementación de los sistemas integrados.

Si bien las 42 respuestas obtenidas de las encuestas de Preferencias Declaradas cumplieron con el mínimo establecido de acuerdo con el cálculo del tamaño muestral de la población objetivo, esta cantidad sigue siendo reducida para extrapolar conclusiones a la totalidad de las estaciones de la red, pero sí suficiente para obtener conclusiones respecto a la misma encuesta y los resultados finales que se obtuvieron.

Dentro de los resultados, se puede destacar que, en los escenarios donde no se incluía un costo asociado al biciestacionamiento, se observó un incremento en la elección de la bicicleta, que, en el promedio del total de los escenarios, tuvo un 58,9% de elección versus los otros modos de transporte. La demanda estimada que se obtuvo fue de 157 usuarios potenciales diarios y la oferta inicial que se planteó corresponde a 40 biciestacionamientos, sujeto a un aumento de capacidad futuro. Finalmente, el cálculo de la elasticidad del tiempo de viaje de la bicicleta y del costo del biciestacionamiento, permitió observar que estos atributos al aumentar su valor desincentivan el uso de la bicicleta como modo de acceso, y, por ende, esto se traduce en una menor cantidad de usuarios potenciales.

# CAPÍTULO 5 PROPUESTA DE INFRAESTRUCTURA Y RECOMENDACIONES

## 5.1 Introducción

Los usuarios que requieren dejar la bicicleta en los biciestacionamientos ubicados en estaciones de tren sólo lo realizan si se sienten seguros de viajar y que su bicicleta estará intacta al regresar, ya que usualmente se movilizan por motivos de estudio o trabajo y no retornan en una gran cantidad de horas. Por esta razón, la infraestructura que se implemente debe cumplir con ciertos requerimientos mínimos.

En el presente capítulo, se detalla la propuesta de la infraestructura a implementar, la ubicación, tamaño y tipo de infraestructura acorde a los usuarios potenciales, y se realizan recomendaciones para las etapas 5 y 6 de la metodología de integración, evaluación y mejoramiento del proyecto respectivamente.

## 5.2 Propuesta del tipo de infraestructura a implementar

La infraestructura que se propone para implementar en las estaciones de tren es del tipo techada y cerrada, donde la cubierta cumple el rol de proteger la bicicleta contra la intemperie y el cerco exterior evita posibles actos vandálicos como el robo de bicicletas.

En cuanto a la ubicación del biciestacionamiento, debe ser visible y reconocible para todos los usuarios del espacio público, y se debe minimizar la interferencia con las condiciones preexistentes de circulación peatonal. Lo ideal es que se ubique a nivel de calle, evitando el uso de peldaños o rampas de acceso, y de esta forma optimizar la accesibilidad al lugar.

Al momento de diseñar estas instalaciones, los conceptos de funcionalidad y comodidad son esenciales. El espacio debe ser funcional, es decir, planeado de tal forma que el usuario pueda realizar las maniobras dentro de las instalaciones sin problemas y con comodidad, permitiendo que cualquier usuario pueda estacionar su bicicleta de manera rápida y sin mayor esfuerzo físico. Otra medida que permite optimizar la funcionalidad del espacio es tener una entrada y salida diferenciadas.

De acuerdo con lo señalado en el Manual de Biciestacionamientos del MINVU, el dispositivo más apropiado para estacionar bicicletas es el de tipo U invertida, debido a que son cómodos, estables y ofrecen diversas alternativas para los sistemas de sujeción. Además, el manual detalla los rangos de las dimensiones y espaciamientos a respetar, y recomendaciones para la construcción e instalación de estos. En el caso de biciestacionamientos con disposición concentrada, como pueden ser aquéllos que se ubican en estaciones de tren, el espaciamiento debe estar en el rango de 600 a 1000 mm (MINVU, 2013).

En función de todas las condiciones mencionadas, y acorde a la demanda de usuarios potenciales obtenida en el capítulo anterior para la Estacion Lomas Coloradas, se elaboró una propuesta de la disposición de un biciestacionamiento con dimensiones de 12,4 metros de largo por 3 metros de ancho. Se consideró la instalación de 20 dispositivos U invertida para cubrir una capacidad de 40 bicicletas. El detalle del esquema y las medidas correspondientes del espaciamiento considerado, los que se muestran en la Figura 5.1.

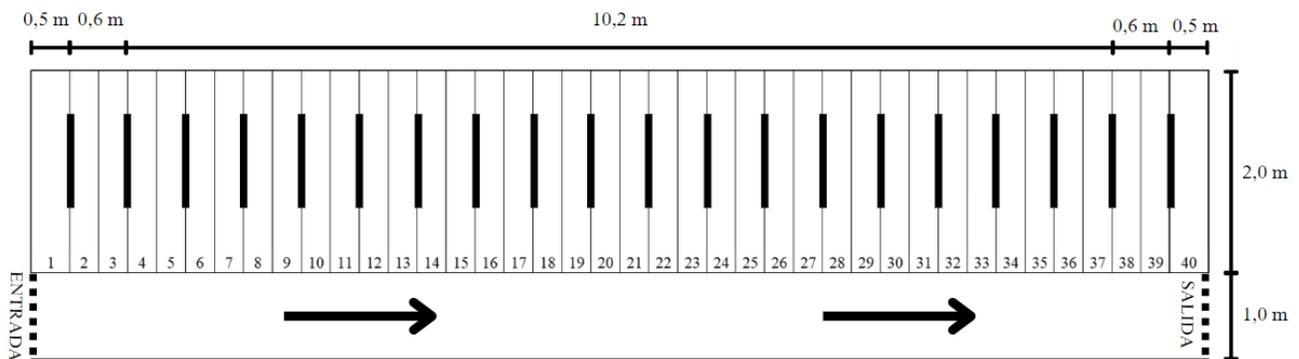


Figura 5.1 Esquema de la disposición del biciestacionamiento propuesto.

En cuanto a los materiales para la construcción de la infraestructura, se propuso considerar los materiales utilizados por la Dirección de Servicios de la Universidad de Concepción en el proyecto de biciestacionamientos implementado el año 2023. Este proyecto consistió en la implementación de dos módulos con una capacidad de 66 bicicletas, medidas de 7,5 m de largo por 2,5 m de ancho y dos tipos de dispositivos disponibles: U invertida y enganches verticales. De acuerdo con información entregada por la misma Dirección de Servicios, ambos módulos se construyeron con una base de hormigón en la cual se instaló la estructura de acero galvanizado con una cubierta de policarbonato monolítico y alveolar, material que destaca por su elevada resistencia al impacto y gran transparencia. La Figura 5.2 muestra un fotomontaje del proyecto de la Universidad de Concepción.



Figura 5.2 Fotomontaje del proyecto de biciestacionamientos, Universidad de Concepción. Fuente: UDEC, 2023.

La figura anterior es sólo referencial para la construcción del proyecto, ya que hay diversos materiales y formas que pueden utilizarse. Lo fundamental en el diseño de estas instalaciones es tener un modelo flexible, contemplando áreas contiguas a la infraestructura ante una posible ampliación de capacidad.

### 5.3 Recomendaciones

Para la elaboración del diseño detallado del proyecto, en base a la información recopilada en las entrevistas, encuestas y las guías de diseño internacionales revisadas (Espacio & ITDP, 2013; Gobierno D.F. & UNAM, 2017), se recomienda incluir especificaciones ligadas a dos aspectos que son fundamentales para el éxito de un biciestacionamiento; la seguridad y la iluminación.

Con respecto a la seguridad, la ubicación seleccionada juega un rol importante, ya que, por medio del flujo continuo de transeúntes, existe una vigilancia natural del espacio. Por otro lado, el biciestacionamiento debe estar al alcance de la vista del guardia de la estación, y dentro de sus responsabilidades debe quedar estipulado el resguardo de este espacio. Además, se recomienda instalar una cámara de seguridad apuntando al sector y una alarma que puede activarse en caso de emergencias.

Otras medidas que permitirían inhibir las acciones vandálicas o de delincuencia son:

- Realizar un registro de los usuarios que utilizan el sistema.
- Utilizar una tarjeta especial, que permita el acceso a estas instalaciones.
- Utilizar materiales que permitan la visibilidad del interior al exterior del espacio, y viceversa.
- Utilizar colores llamativos, ya que estos producen la percepción de mayor seguridad.

Se debe garantizar una iluminación adecuada tanto al interior como al exterior del espacio, evitando espacios oscuros o escondidos. Para iluminación interior, se debe incluir una canalización eléctrica para instalar uno o más focos dependiendo de las dimensiones del espacio y, para la exterior, se recomienda elegir un espacio que esté en el campo de iluminación de una luminaria pública, en caso de no existir esta opción se debe instalar un poste de iluminación fuera de la infraestructura.

Para la evaluación del proyecto, se descarta el uso del enfoque costo- beneficio, ya que los beneficios del proyecto no se traducen en beneficios de tiempo, sino en el aumento en los viajes de bicicleta. En cuanto al enfoque costo-efectividad, mencionado por uno de los entrevistados, quizás sea útil en un futuro, pero no se tienen mayores antecedentes sobre este por lo que también se descarta. Finalmente, se recomienda el enfoque de costo-eficiencia para la evaluación, teniendo ciertos cuidados en su aplicación. En función de los resultados de la evaluación, se debe priorizar la implementación de la infraestructura en aquellas estaciones donde se estime una mayor demanda.

En la implementación del proyecto, uno de los puntos importantes a considerar es el costo del biciestacionamiento. Lo recomendable es que sea gratuito ya que, como se mostró en los resultados del capítulo anterior, a mayor costo se reducen los usuarios potenciales del sistema. De todas formas, en caso de fijar un costo asociado, se debe considerar un valor asequible para los usuarios.

Otras medidas que permitirían incentivar el uso del biciestacionamiento, son las siguientes:

- Mejorar la accesibilidad en bicicleta a la estación, impulsando medidas políticas para que exista una conexión directa de las ciclovías con las estaciones de tren.
- Implementar una señalética para indicar la presencia del biciestacionamiento.
- Realizar estrategias de promoción del servicio.
- Ofrecer servicios adicionales que motiven la práctica ciclista y la hagan más atractiva (talleres de reparación, beneficios por utilizar la bicicleta, etc.).

## 5.4 Conclusión

En base a las experiencias nacionales e internacionales, se elaboró una propuesta del tipo de infraestructura a implementar considerando ciertos lineamientos que debía cumplir, entre los cuales se puede mencionar que éste debe ser un espacio techado, cerrado, visible, funcional y cómodo. Cabe mencionar que las dimensiones del espacio se calcularon acorde a la cantidad de dispositivos (U invertida) necesarios para cumplir con la demanda obtenida; sin embargo, estas pueden ser modificadas en función de la demanda particular de cada estación y las características del espacio disponible.

Teniendo en cuenta las recomendaciones de los actores principales y los factores más influyentes elegidos por los encuestados, se definieron ciertos requerimientos o condiciones mínimas que deben cumplir los biciestacionamientos para optimizar e incentivar su uso. Se realizaron recomendaciones acerca de la seguridad e iluminación del espacio, el enfoque de evaluación a utilizar, y las medidas a implementar durante la ejecución del proyecto y posteriores a la puesta en marcha del servicio.

## CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES

En esta investigación, se realizó una revisión de los sistemas de integración bicicleta- tren y del estado de la práctica de su implementación a nivel nacional e internacional, lo que permitió elaborar una metodología de integración adaptada a la realidad nacional, la cual consta de seis etapas generales y una serie de lineamientos específicos. La existencia de esta metodología se prevé que permita optimizar la implementación de estos sistemas, y con ello incrementar las opciones de acceso a las estaciones por parte de los usuarios. Lo anterior es cada vez más necesario ante el incremento de la población en el cono urbano de las ciudades y el aumento sustancial de pasajeros que ha evidenciado la Empresa de los Ferrocarriles del Estado durante los últimos años.

Entender el comportamiento y las preferencias de los usuarios es fundamental al momento de elaborar un proyecto o política de transporte, y sobre todo en aquellos ligados a la movilidad en bicicleta. Bajo este concepto, dentro de la aplicación de la metodología propuesta al caso del Biotren en Concepción, se diseñaron y aplicaron dos instrumentos de recopilación de información: las entrevistas semiestructuradas y la técnica de Preferencias Declaradas. El primero de ellos corresponde a la realización de entrevistas a cuatro actores principales, los cuales, en base a su experiencia en el desarrollo de proyectos afines, entregaron recomendaciones valiosas para el desarrollo de las etapas de diseño, evaluación e implementación de la metodología.

En el caso de la técnica de Preferencias Declaradas, se describió el proceso de diseño de la encuesta donde lo central fue la elaboración de los escenarios hipotéticos de elección modal en función de tres variables, tiempo de viaje, costo de viaje y costo del biciestacionamiento. La encuesta se les aplicó a 42 usuarios del Biotren en la Estación Lomas Coloradas, entre las 7:30 – 9:00 am, que corresponde a la muestra representativa de la población objetivo del estudio. A partir de las respuestas dadas por los individuos, se estimó la demanda utilizando un modelo de elección discreta (Logit Multinomial), donde se obtuvo que un 58,9% de los usuarios elegirían la bicicleta como modo de acceso, que comparado con el 2,3% de elección actual, se observó un aumento exponencial de la elección de la bicicleta como modo de acceso a la estación. La cantidad de usuarios potenciales se obtuvo ponderando la probabilidad de elección por el número total de casos, obteniéndose un total de 157 usuarios potenciales.

Teniendo en consideración los antecedentes revisados de experiencias similares, la realización de las entrevistas a los actores principales y la aplicación de las encuestas a los usuarios, se elaboró una propuesta del tipo de infraestructura a implementar acorde a la demanda potencial. Esta propuesta no entrega un modelo rígido a replicar en todas las estaciones, sino que en su mayoría son lineamientos de cómo debe implementarse. La implementación de este tipo de infraestructuras es el primer paso necesario para lograr un cambio cultural en las ciudades en torno a la movilidad en bicicleta. Para optimizar e incentivar su uso, se desarrollaron una serie de recomendaciones sobre las condiciones mínimas que deben cumplir en seguridad e iluminación del espacio. Además, se realizaron recomendaciones de otras medidas a considerar en la construcción y posterior puesta en marcha del servicio, en pos de maximizar los beneficios.

Dentro de las limitaciones del estudio, se puede mencionar que, en la aplicación de la encuesta, si bien se cumplió con el tamaño muestral mínimo, la cantidad de respuestas fue reducida para extrapolar las conclusiones a las demás estaciones de la red, las cuales además poseen diversos contextos y nivel de afluencia. Por otro lado, dentro de las variables definidas para el modelo, se consideraron variables binarias asociadas a los factores que ordenaron los encuestados según su influencia al momento de elegir la bicicleta como modo de acceso a la estación, sin embargo, estas no se incluyeron finalmente en los modelos debido a que ninguna de ellas fue significativa a un nivel del 80%.

El desarrollo de una exhaustiva revisión bibliográfica, la elaboración de la propuesta metodológica, la aplicación parcial de esta metodología al caso del Biotren en Concepción, la propuesta del tipo de infraestructura a implementar y las recomendaciones finales, permiten sentar las bases para la elaboración e implementación de futuros proyectos de sistemas integrados bicicleta-tren a nivel nacional.

Para futuras investigaciones, se recomienda trabajar en forma conjunta con EFE Sur para obtener la mayor cantidad de datos posibles, abordando las limitaciones mencionadas en este estudio y evaluando la implementación del proyecto en más de una estación.

## REFERENCIAS

- Cuevas, C. (2020). *Incentivo uso bicicleta Chile y en la experiencia comparada. Argentina, Canadá y Noruega*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.
- Despacio & ITDP. (2013). *Estacionamientos para Bicicletas: Guía de elección, servicio, integración y reducción de emisiones*. Despacio and Institute for Transportation & Development Policy.
- EFE. (2020). *Grupo EFE presenta primer bicicletero gratuito en Rancagua*. <https://www.efe.cl/grupo-efe-presenta-primer-bicicletero-gratuito-en-rancagua/> Visitado el 28/02/2024.
- EFE. (2022). *Memoria Integrada 2022*. Empresa de los Ferrocarriles del Estado.
- EFE Central. (2023). *Memoria Anual 2022*. Empresa de los Ferrocarriles del Estado.
- EFE Sur. (2023). *Encuesta de Micromovilidad*. Empresa de los Ferrocarriles del Estado.
- Gobierno D.F. & UNAM. (2017). *Guía de Diseño de Infraestructura y Equipamiento Ciclista: Estrategia de movilidad en bicicleta de la ciudad de México*. Secretaría del Medio Ambiente, Gobierno del Distrito Federal y Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hess, S., & Palma, D. (2020). *Apollo: a flexible, powerful and customisable freeware package for choice model estimation and application Version 0.2.0*. Choice Modelling Centre, University of Leeds. [www.ApolloChoiceModelling.com](http://www.ApolloChoiceModelling.com)
- INE. (2018). *CENSO 2017 Resultados Población Provincia de Concepción*. Instituto Nacional de Estadísticas, Chile.

- Kager, R., Bertolini, L., & Te Brömmelstroet, M. (2016). Characterisation of and reflections on the synergy of bicycles and public transport. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 85, 208–219. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.01.015>
- Kallio, H., Pietilä, A. M., Johnson, M., & Kangasniemi, M. (2016). Systematic methodological review: developing a framework for a qualitative semi-structured interview guide. In *Journal of Advanced Nursing* (Vol. 72, Issue 12, pp. 2954–2965). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/jan.13031>
- Kocur, G., Adler, T., Hyman, W., & Aunet, B. (1982). *Guide to Forecasting Travel Demand with Direct Utility Assessment*. U.S. Department of Transportation.
- Likert, R. (1932). *A technique for the measurement of attitudes*. *Archives of psychology*. 140. 1-55.
- Martens, K. (2007). Promoting bike-and-ride: The Dutch experience. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(4), 326–338. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2006.09.010>
- MDS. (2013). *Metodología General de Preparación y Evaluación de Proyectos*. Ministerio de Desarrollo Social, Gobierno de Chile.
- Metro de Santiago. (2021). *Proyecto Línea Cero. Postulación a SOCHITRAN 2021*. Empresa de Transporte de Pasajeros Metro S.A.
- MINVU. (2013). *Movilidad Urbana Vol. 1: Biciestacionamientos en el espacio público*. Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Gobierno de Chile.
- MINVU. (2015). *Vialidad Ciclo-Inclusiva: Recomendaciones de diseño*. Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Gobierno de Chile.
- MINVU. (2018). *Análisis de Contadores de Ciclovías*. Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Gobierno de Chile.

- MTT. (2018). *Ley 21088*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.
- MTT. (2021a). *Estrategia Nacional de Movilidad Sostenible*. Programa de Vialidad y Transporte Urbano, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Gobierno de Chile.
- MTT. (2021b). *Plan de Movilidad 2050, por un Gran Concepción sostenible*. Programa de Vialidad y Transporte Urbano, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Gobierno de Chile.
- MTT. (2024). *Visor de Ciclovías*. <https://ciclovias.visorterritorial.cl/> Visitado el 28/02/2024.
- Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. [www.issuu.com/publicacionescepal/stacks](http://www.issuu.com/publicacionescepal/stacks)
- Naciones Unidas México. (2022). *La bicicleta y el transporte público: la pareja perfecta*. <https://mexico.un.org/es/170217-la-bicicleta-y-el-transporte-p%C3%BAblico-la-pareja-perfecta> Visitado el 28/02/2024.
- Ortúzar, J., & Willumsen, L. (2008). *Modelos de Transporte*. Editorial Universidad de Cantabria: Santander.
- Pucher, J., Buehler, R., & Tech, V. (2009). Integrating Bicycling and Public Transport in North America. *Journal of Public Transportation*, 12(3), 5.
- Sartori, J. (2006). Diseño de un experimento de preferencias declaradas para la elección de modo de transporte urbano de pasajeros. *Cuarta Época*, 44(2), 81–123. <http://revistas.unc.edu.ar/index.php/indexhttp://revistas.unc.edu.ar/index.php/REyE/article/view/3832>
- Sherwin, H., Parkhurst, G., Robbins, D., & Walker, I. (2011). Practices and motivations of travellers making rail-cycle trips. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Transport*, 164(3), 189–197. <https://doi.org/10.1680/tran.2011.164.3.189>

- Tonon, G. (2010). *Reflexiones Latinoamericanas Sobre Investigacion Cualitativa*. Departamento de Derecho y Ciencia Política de la Universidad Nacional de La Matanza, Argentina.
- TRANSMILENIO. (2023). *Transmilenio en Cifras. Estadísticas de oferta y demanda del sistema integrado de transporte público - SITP*. Transmilenio S.A.
- TRIMET. (2024). *Bike Parking*. <https://bikeparking.trimet.org/> Visitado el 28/02/2024.
- UDEC. (2023, June 22). *Programa Cuidemos Nuestro Campus aborda seguridad, limpieza y convivencia desde una mirada integral en la UdeC*. <https://noticias.udec.cl/programa-cuidemos-nuestro-campus-aborda-seguridad-limpieza-y-convivencia-desde-una-mirada-integral-en-la-udec/>. Visitado el 28/02/2024.
- van Mil, J. F. P., Leferink, T. S., Annema, J. A., & van Oort, N. (2021). Insights into factors affecting the combined bicycle-transit mode. *Public Transport*, 13(3), 649–673. <https://doi.org/10.1007/s12469-020-00240-2>
- Weliwitiya, H., & Eng, B. (2020). *Bicycle train intermodality: Exploring mode choice decisions and mode shift potential*. Monash University.

## ANEXOS

## ANEXOS CAPÍTULO 4

## A.1 Tablas complementarias

Tabla A.4.1 Catastro de Biciestacionamientos Biotren.

Nº	Línea	Estación	Capacidad	En funcionamiento	Conexión con ciclovías	Ancho (m)	Largo (m)
1	1	Chiguayante	16	NO	SI	2,5	3,0
2	1	Pedro Medina	14	NO	SI	2,2	9,0
3	1	Manquimávida	14	NO	NO	2,2	9,0
4	1	La Leonera	14	NO	NO	2,2	9,0
5	1	Hualqui	18	SI	NO	3,0	4,5
6	2	Juan Pablo II	10	NO	NO	2,0	6,0
7	2	Diagonal Biobío	15	NO	NO	2,0	6,0
8	2	Costa Mar	10	NO	NO	2,0	6,0
9	2	El Parque	8	NO	NO	2,5	2,7
10	2	Lomas Coloradas	10	NO	NO	2,0	6,0
11	2	C. Raúl Silva H.	8	NO	NO	2,5	2,7
12	2	Hito Galvarino	8	NO	NO	2,5	2,7
13	2	Los Canelos	8	NO	SI	2,5	2,7
14	2	Huinca	8	NO	SI	2,5	2,7
15	2	Cristo Redentor	8	NO	SI	2,5	2,7
16	2	Laguna Quiñenco	8	NO	NO	2,5	2,7
17	2	Coronel	8	NO	NO	2,5	2,7

Tabla A.4.2 Niveles del tiempo de viaje para una distancia inicial de 0,5 km.

Bicicleta		Caminata		Automóvil	
Tiempo (min)	Nivel	Tiempo (min)	Nivel	Tiempo (min)	Nivel
< 1	0	2	0	< 1	0
2	1	8	1	2	1
4	2	14	2	3	2

**Tabla A.4.3** Niveles del tiempo de viaje para una distancia inicial de 1,0 km.

<b>Bicicleta</b>		<b>Caminata</b>		<b>Automóvil</b>	
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Nivel</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Nivel</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Nivel</b>
2	1	8	1	2	1
4	2	14	2	3	2
6	1	20	1	4	1

**Tabla A.4.4** Niveles del tiempo de viaje para una distancia inicial de 1,5 km.

<b>Bicicleta</b>		<b>Caminata</b>		<b>Automóvil</b>	
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Nivel</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Nivel</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Nivel</b>
4	0	14	0	3	0
6	1	20	1	4	1
8	2	26	2	5	2

**Tabla A.4.5** Plan Maestro 3 de Kocur.

<b>Columnas</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Niveles de las variables</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	1	1	0	1	1	0	0	1	1
	1	1	0	1	1	1	1	0	0
	2	2	1	0	1	0	1	0	1
	2	2	1	0	1	1	0	1	0
	3	1	1	1	0	0	1	1	0
	3	1	1	1	1	0	1	0	1

**Tabla A.4.6** Cantidad de respuestas del nivel de influencia por cada uno de los factores.

<b>Nivel de influencia</b>	<b>Estado de calles o ciclovías</b>	<b>Iluminación y señalética del biciestacionamiento</b>	<b>Seguridad y disponibilidad del biciestacionamiento</b>	<b>Clima</b>	<b>Condición física o edad</b>
No influye (1)	3	8	0	6	25
Influye poco (2)	11	7	2	14	8
Influye (3)	11	16	4	8	3
Influye mucho (4)	9	10	10	10	3
Influye demasiado (5)	8	1	26	4	3

**Tabla A.4.7** Porcentajes de respuestas del nivel de influencia por cada uno de los factores.

<b>Nivel de influencia</b>	<b>Estado de calles o ciclovías</b>	<b>Iluminación y señalética del biciestacionamiento</b>	<b>Seguridad y disponibilidad del biciestacionamiento</b>	<b>Clima</b>	<b>Condición física o edad</b>
No influye (1)	7,1%	19,0%	0,0%	14,3%	59,5%
Influye poco (2)	26,2%	16,7%	4,8%	33,3%	19,0%
Influye (3)	26,2%	38,1%	9,5%	19,0%	7,1%
Influye mucho (4)	21,4%	23,8%	23,8%	23,8%	7,1%
Influye demasiado (5)	19,0%	2,4%	61,9%	9,5%	7,1%

**Tabla A.4.8** Cantidad de respuestas por formulario de la sección 2.

<b>Formulario</b>	<b>Cantidad de respuestas</b>	<b>Porcentaje de respuestas (%)</b>
Formulario 1	15	35,7
Formulario 2	2	4,8
Formulario 3	10	23,8
Formulario 4	0	0,0
Formulario 5	10	23,8
Formulario 6	5	11,9

**Tabla A.4.9** Probabilidad de elección de los modos de transporte.

<b>Escenarios</b>	<b>Bicicleta vs Caminata</b>		<b>Bicicleta vs Automóvil</b>	
	<b>Prob. Bici.</b>	<b>Prob. Cam.</b>	<b>Prob. Bici.</b>	<b>Prob. Auto.</b>
Escenario 1	29,7	5,3	5,3	1,7
Escenario 2	14,5	20,5	2,7	4,3
Escenario 3	22,8	12,2	5,9	1,1
Escenario 4	8,8	26,2	3,2	3,8
Escenario 5	17,5	17,5	1,6	5,4
Escenario 6	31,1	3,9	4,7	2,3
Escenario 7			2,8	4,2
Escenario 8			6,1	0,9
Total	124,4	85,6	32,4	23,6

**Tabla A.4.10** Porcentajes participación modal de elección actual, declarada y modelada.

	<b>Caminata</b>	<b>Auto</b>	<b>Bicicleta</b>
<b>Elección Actual</b>	76,7%	21,1%	2,3%
<b>Elección Declarada</b>	31,6%	8,3%	60,2%
<b>Elección Modelada</b>	32,2%	8,9%	58,9%

## A.2 Pauta entrevista semi-estructurada



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

### Pauta Entrevista Semi-Estructurada

**Proyecto de investigación:** Propuesta metodológica de integración bicicleta-tren, aplicada al caso del Biotren en Concepción.

**Objetivo general:** Elaborar las bases de un proyecto de implementación de un sistema integrado bicicleta-tren, aplicado al caso del Biotren en Concepción.

#### Ejes de conversación y preguntas de profundización:

Eje 1: Definiciones de conceptos ligados al proyecto.

*Preguntas: ¿Cuáles conceptos cree que sería necesario considerar en la definición del proyecto?*

Eje 2: Ejemplos o experiencias previas en proyectos similares.

*Preguntas: ¿Ha trabajado o tiene conocimiento de algún proyecto similar que se haya implementado en Chile?, ¿Qué destacaría en la realización de ese proyecto que pueda replicarse en otro de similares características?*

Eje 3: Puntos claves a considerar para una implementación exitosa de los biciestacionamientos.

*Preguntas: ¿Qué elementos habría que considerar para que la implementación de los biciestacionamientos sea óptima?*

Eje 4: Recomendaciones generales.

*Preguntas: ¿De qué forma evaluaría este tipo de proyectos?, ¿Cómo se podría optimizar el funcionamiento de los biciestacionamientos?*

### A.3 Diseño final encuesta de preferencias declaradas

## Encuesta Piloto de Preferencias Declaradas

\* Indica que la pregunta es obligatoria

ID Encuestado(a) \*

Tu respuesta \_\_\_\_\_

### I. Información usuario(a)

1. ¿Cuál es su edad? \*

Menor de 18 años

18 a 30 años

31 a 45 años

46 a 65 años

66 años o más

2. ¿Con que frecuencia viaja en Biotren durante la semana? \*

1-2 días

3-4 días

5 días o más

3. Normalmente, ¿Cómo llega a la estación? \*

- Caminando
- En Auto
- En Bicicleta
- Otro

4. Desde su origen, ¿A qué distancia se encuentra de la estación? \*

- 1 a 5 cuadras
- 6 a 9 cuadras
- 10 o más cuadras

5. ¿Cuál es el motivo de su viaje? \*

- Trabajo
- Estudio
- Otro

6. Si realizara su viaje de acceso a la estación en bicicleta ¿Cuál sería el factor más influyente a la hora de tomar la decisión? Ordene de menor a mayor importancia los siguientes factores: \*

**Estado de calles o ciclovías – Iluminación y señalética del Biciestacionamiento – Seguridad y disponibilidad del Biciestacionamiento – Clima – Condición física o edad**

1	2	3	4	5
No influye	Influye poco	Influye	Influye mucho	Influye demasiado

	1	2	3	4	5
Estado de calles o ciclovías	<input type="radio"/>				
Iluminación y señalética del Biciestacionamiento	<input type="radio"/>				
Seguridad y disponibilidad del Biciestacionamiento	<input type="radio"/>				
Clima	<input type="radio"/>				
Condición física o edad	<input type="radio"/>				

**II. Escenarios Hipotéticos**

A continuación, se mostrarán una serie de escenarios donde se compara la bicicleta vs su actual modo de transporte de acceso a la estación. En cada escenario irán variando las variables del tiempo y costo del viaje, y usted, en cada uno de estos, deberá marcar el modo que elegiría bajo esas condiciones.

Elegir un caso dependiendo el modo de acceso y distancia a la estación actual \*

- Caminata - 500m (1 a 5 cuadras)
- Auto - 500m (1 a 5 cuadras)
- Caminata - 1km (6 a 9 cuadras)
- Auto - 1km (6 a 9 cuadras)
- Caminata - 1.5 km (10 o más cuadras)
- Auto - 1.5 km (10 o más cuadras)

**Encuesta PD Bicicleta vs Caminata 500m**

Escenario 1. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

<b>Escenario 1</b>		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Caminata</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	2 minutos	8 minutos
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	Gratis	-

- Bicicleta
- Caminata

Escenario 2. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

<b>Escenario 2</b>		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Caminata</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	2 minutos	8 minutos
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	\$500 (por día)	-

- Bicicleta
- Caminata

Escenario 3. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

<b>Escenario 3</b>		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Caminata</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	Menos de 1 minuto	2 minutos
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	Gratuito	-

- Bicicleta
- Caminata

Escenario 4. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

<b>Escenario 4</b>		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Caminata</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	Menos de 1 minuto	2 minutos
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	\$500 (por día)	-

- Bicicleta
- Caminata

Escenario 5. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

<b>Escenario 5</b>		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Caminata</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	4 minutos	14 minutos
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	\$500 (por día)	-

- Bicicleta
- Caminata

Escenario 6. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

<b>Escenario 6</b>		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Caminata</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	4 minutos	14 minutos
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	Gratuito	-

- Bicicleta
- Caminata

**Encuesta PD Bicicleta vs Auto 500m**

Escenario 1. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

<b>Escenario 1</b>		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Auto</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	2 minutos	2 minutos
<b>Costo de Viaje de acceso</b>	-	\$130
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	Gratuito	-

Bicicleta  
 Auto

---

Escenario 2. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

<b>Escenario 2</b>		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Auto</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	2 minutos	2 minutos
<b>Costo de Viaje de acceso</b>	-	\$160
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	\$500 (por día)	-

Bicicleta  
 Auto

---

Escenario 3. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

<b>Escenario 3</b>		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Auto</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	Menos de 1 minuto	Menos de 1 minuto
<b>Costo de Viaje de acceso</b>	-	\$130
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	Gratuito	-

Bicicleta  
 Auto

---

Escenario 4. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

<b>Escenario 4</b>		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Auto</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	Menos de 1 minuto	Menos de 1 minuto
<b>Costo de Viaje de acceso</b>	-	\$160
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	\$500 (por día)	-

Bicicleta  
 Auto

Escenario 5. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

Escenario 5		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Auto</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	4 minutos	3 minutos
<b>Costo de Viaje de acceso</b>	-	\$130
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	\$500 (por día)	-

- Bicicleta  
 Auto

Escenario 6. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

Escenario 6		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Auto</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	4 minutos	3 minutos
<b>Costo de Viaje de acceso</b>	-	\$160
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	Gratuito	-

- Bicicleta  
 Auto

Escenario 7. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

Escenario 7		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Auto</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	Menos de 1 minuto	Menos de 1 minuto
<b>Costo de Viaje de acceso</b>	-	\$130
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	\$500 (por día)	-

- Bicicleta  
 Auto

Escenario 8. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

Escenario 8		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Auto</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	Menos de 1 minuto	Menos de 1 minuto
<b>Costo de Viaje de acceso</b>	-	\$160
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	Gratuito	-

- Bicicleta  
 Auto

## Encuesta PD Bicicleta vs Caminata 1km

Escenario 1. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

<b>Escenario 1</b>		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Caminata</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	4 minutos	14 minutos
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	Gratuito	-

- Bicicleta
- Caminata

Escenario 2. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

<b>Escenario 2</b>		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Caminata</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	4 minutos	14 minutos
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	\$500 (por día)	-

- Bicicleta
- Caminata

Escenario 3. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

<b>Escenario 3</b>		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Caminata</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	2 minutos	8 minutos
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	Gratuito	-

- Bicicleta
- Caminata

Escenario 4. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

<b>Escenario 4</b>		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Caminata</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	2 minutos	8 minutos
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	\$500 (por día)	-

- Bicicleta
- Caminata

Escenario 5. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

Escenario 5		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Caminata</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	6 minutos	20 minutos
<b>Costo asociado al biestacionamiento</b>	\$500 (por día)	-

- Bicicleta  
 Caminata

Escenario 6. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

Escenario 6		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Caminata</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	6 minutos	20 minutos
<b>Costo asociado al biestacionamiento</b>	Gratuito	-

- Bicicleta  
 Caminata

#### Encuesta PD Bicicleta vs Auto 1km

Escenario 1. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

Escenario 1		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Auto</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	4 minutos	3 minutos
<b>Costo de Viaje de acceso</b>	-	\$130
<b>Costo asociado al biestacionamiento</b>	Gratuito	-

- Bicicleta  
 Auto

Escenario 2. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

Escenario 2		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Auto</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	4 minutos	3 minutos
<b>Costo de Viaje de acceso</b>	-	\$160
<b>Costo asociado al biestacionamiento</b>	\$500 (por día)	-

- Bicicleta  
 Auto

Escenario 3. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

<b>Escenario 3</b>		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Auto</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	2 minutos	2 minutos
<b>Costo de Viaje de acceso</b>	-	\$130
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	Gratuito	-

- Bicicleta  
 Auto

Escenario 4. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

<b>Escenario 4</b>		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Auto</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	2 minutos	2 minutos
<b>Costo de Viaje de acceso</b>	-	\$160
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	\$500 (por día)	-

- Bicicleta  
 Auto

Escenario 5. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

<b>Escenario 5</b>		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Auto</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	6 minutos	4 minutos
<b>Costo de Viaje de acceso</b>	-	\$130
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	\$500 (por día)	-

- Bicicleta  
 Auto

Escenario 6. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

<b>Escenario 6</b>		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Auto</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	6 minutos	4 minutos
<b>Costo de Viaje de acceso</b>	-	\$160
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	Gratuito	-

- Bicicleta  
 Auto

Escenario 7. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

<b>Escenario 7</b>		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Auto</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	2 minutos	2 minutos
<b>Costo de Viaje de acceso</b>	-	\$130
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	\$500 (por día)	-

- Bicicleta
- Auto

Escenario 8. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

<b>Escenario 8</b>		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Auto</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	2 minutos	2 minutos
<b>Costo de Viaje de acceso</b>	-	\$160
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	Gratuito	-

- Bicicleta
- Auto

Encuesta PD Bicicleta vs Caminata 1.5 km

Escenario 1. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

<b>Escenario 1</b>		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Caminata</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	6 minutos	20 minutos
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	Gratuito	-

- Bicicleta
- Caminata

Escenario 2. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

<b>Escenario 2</b>		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Caminata</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	6 minutos	20 minutos
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	\$500 (por día)	-

- Bicicleta
- Caminata

Escenario 3. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

<b>Escenario 3</b>		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Caminata</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	4 minutos	14 minutos
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	Gratuito	-

- Bicicleta
- Caminata

Escenario 4. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

<b>Escenario 4</b>		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Caminata</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	4 minutos	14 minutos
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	\$500 (por día)	-

- Bicicleta
- Caminata

Escenario 5. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

<b>Escenario 5</b>		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Caminata</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	8 minutos	26 minutos
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	\$500 (por día)	-

- Bicicleta
- Caminata

Escenario 6. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

<b>Escenario 6</b>		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Caminata</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	8 minutos	26 minutos
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	Gratuito	-

- Bicicleta
- Caminata

**Encuesta PD Bicicleta vs Auto 1.5 km**

Escenario 1. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

<b>Escenario 1</b>		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Auto</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	6 minutos	4 minutos
<b>Costo de Viaje de acceso</b>	-	\$130
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	Gratuito	-

Bicicleta  
 Auto

---

Escenario 2. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

<b>Escenario 2</b>		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Auto</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	6 minutos	4 minutos
<b>Costo de Viaje de acceso</b>	-	\$160
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	\$500 (por día)	-

Bicicleta  
 Auto

---

Escenario 3. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

<b>Escenario 3</b>		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Auto</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	4 minutos	3 minutos
<b>Costo de Viaje de acceso</b>	-	\$130
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	Gratuito	-

Bicicleta  
 Auto

---

Escenario 4. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

<b>Escenario 4</b>		
	<i>Bicicleta</i>	<i>Auto</i>
<b>Tiempo de Viaje de acceso</b>	4 minutos	3 minutos
<b>Costo de Viaje de acceso</b>	-	\$160
<b>Costo asociado al biciestacionamiento</b>	\$500 (por día)	-

Bicicleta  
 Auto

Escenario 5. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

Escenario 5		
	Bicicleta	Auto
Tiempo de Viaje de acceso	8 minutos	5 minutos
Costo de Viaje de acceso	-	\$130
Costo asociado al biciestacionamiento	\$500 (por día)	-

- Bicicleta
- Auto

Escenario 6. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

Escenario 6		
	Bicicleta	Auto
Tiempo de Viaje de acceso	8 minutos	5 minutos
Costo de Viaje de acceso	-	\$160
Costo asociado al biciestacionamiento	Gratuito	-

- Bicicleta
- Auto

Escenario 7. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

Escenario 7		
	Bicicleta	Auto
Tiempo de Viaje de acceso	4 minutos	3 minutos
Costo de Viaje de acceso	-	\$130
Costo asociado al biciestacionamiento	\$500 (por día)	-

- Bicicleta
- Auto

Escenario 8. ¿Cuál modo elegirías para acceder a la estación? \*

Escenario 8		
	Bicicleta	Auto
Tiempo de Viaje de acceso	4 minutos	3 minutos
Costo de Viaje de acceso	-	\$160
Costo asociado al biciestacionamiento	Gratuito	-

- Bicicleta
- Auto

**III. Observaciones Encuestador**

Información adicional sobre el encuestado(a)

Sexo \*

Hombre

Mujer

Carga (mochila, bolso, etc.) \*

Con Carga

Sin Carga

Viaja acompañado \*

Sí

No

[Obtener vínculo](#)

#### A.4 Carta de consentimiento informado



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

##### Consentimiento Informado – Encuesta

En esta carta se invita a usted a participar del estudio titulado “Propuesta metodológica de prefactibilidad de integración bicicleta-tren en el contexto del Biotren en Concepción”, coordinado por el profesor de la Universidad de Concepción, Juan Antonio Carrasco Montagna.

El estudio busca conocer si los usuarios del Biotren estarían dispuestos a utilizar la bicicleta como modo de acceso a la estación y dejarla aparcada en la misma, en un espacio apto y seguro; y como influyen los diversos factores del viaje (frecuencia, distancia, motivo, tiempo y costo) en la toma de decisión.

La encuesta será registrada a través de un cuestionario de preguntas, donde el/la encuestador/a aplicará el instrumento a los/as encuestados/as en un lapso de **no más de 10 minutos**. La encuesta es de carácter **voluntaria, confidencial, anónima**, y solo conocida y analizada por el equipo de investigadoras/es que realiza el estudio. Finalmente, los resultados del estudio se utilizarán sólo en el marco de la investigación y estarán circunscritos exclusivamente al ámbito académico y universitario en el cual se inscribe el presente estudio.

##### Declaración de consentimiento:

- He sido informado sobre el proyecto de investigación.
- Se que la información que entregue será confidencial.
- Mis preguntas serán respondidas de forma transparente.
- Doy mi consentimiento para ser encuestado/a.

**SI:**

**NO:**

Este documento tendrá dos ejemplares (uno quedará en manos del entrevistado y el otro en manos del investigador responsable). Si tiene alguna duda, puede comunicarse con Juan Antonio Carrasco Montagna al correo electrónico: [j.carrasco@udec.cl](mailto:j.carrasco@udec.cl) o con Samuel Ignacio Fernández Rojas al correo electrónico: [sfernandez2017@udec.cl](mailto:sfernandez2017@udec.cl).

Nombre Investigador Responsable: Juan Antonio Carrasco Montagna

Nombre Alumno Memorista: Samuel Ignacio Fernández Rojas

## A.5 Códigos modelos

### MNL1 General:

```

1
2 # INSTALAR PAQUETE DE APOLLO
3 library(apollo)
4
5 # INICIO APOLLO
6 apollo_initialise()
7
8 # INGRESAR BASE DE DATOS
9 database = read.csv("DatosEncuestaPD.csv",header=TRUE)
10
11 # MODELO LOGIT MULTINOMIAL
12 apollo_control = list(
13   modelName = "MNL1_general",
14   modelDescr = "",
15   indivID = "ID")
16
17 #ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS
18 choiceAnalysis_settings <- list(
19   alternatives = c(caminata = 1, auto = 2, bicicleta = 3),
20   avail = list(caminata = database$AV_CAM, auto = database$AV_AUTO, bicicleta = database$AV_BICI),
21   choiceVar = database$ELECCION,
22   explanators = database[,c("EDAD1", "EDAD2", "EDAD3", "EDAD4", "EDAD5", "FRECUENCIA1", "FRECUENCIA2", "FRECUENCIA3",
23     "DISTANCIA1", "DISTANCIA2", "DISTANCIA3", "ESTADO", "ILUMINACION", "SEGURIDAD", "SEXO")]])
24 apollo_choiceAnalysis(choiceAnalysis_settings, apollo_control, database)
25
26 #DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MODELO
27 apollo_beta = c(theta_cam = 0,
28   theta_auto = 0,
29   theta_bici = 0,
30   b_time_cam = 0,
31   b_time_auto = 0,
32   b_time_bici = 0,
33   b_cost = 0)
34
35 #PARÁMETRO QUE SE MANTIENE FIJO EN LA ESTIMACIÓN
36 apollo_fixed = c("theta_bici")
37
38 #AGRUPAR Y VALIDAR ENTRADAS
39 apollo_inputs = apollo_validateInputs()
40
41 #DEFINIR MODELO Y FUNCIÓN DE MÁXIMA VEROSIMILITUD
42 apollo_probabilities = function(apollo_beta, apollo_inputs, functionality = "estimate"){
43
44   ## ADJUNTAR ENTRADAS DEL MODELO
45   apollo_attach(apollo_beta, apollo_inputs)
46   on.exit(apollo_detach(apollo_beta, apollo_inputs))
47
48   ## CREAR LISTA DE PROBABILIDADES P
49   P = list()
50
51   ## LISTA DE FUNCIONES DE UTILIDAD: DEBEN UTILIZAR LOS MISMOS NOMBRES QUE EN mn1_settings
52   V = list()
53   V[['caminata']] = theta_cam + b_time_cam * TV_CAM
54   V[['auto']] = theta_auto + b_time_auto * TV_AUTO + b_cost * CV_AUTO
55   V[['bicicleta']] = theta_bici + b_time_bici * TV_BICI + b_cost * CE_BICI
56
57   ## DEFINIR LA CONFIGURACIÓN DEL COMPONENTE DEL MODELO MNL
58   mnl_settings = list(
59     alternatives = c(caminata = 1, auto = 2, bicicleta = 3),
60     avail = list(caminata = AV_CAM, auto = AV_AUTO, bicicleta = AV_BICI),
61     choiceVar = ELECCION,
62     V = V)
63
64   ## CÁLCULO DE PROBABILIDADES MEDIANTE EL MODELO MNL
65   P[['model']] = apollo_mnl(mnl_settings, functionality)
66   P = apollo_panelProd(P, apollo_inputs, functionality)
67   P = apollo_prepareProb(P, apollo_inputs, functionality)
68   return(P)}
69
70 # ESTIMACIÓN DEL MODELO
71 model = apollo_estimate(apollo_beta, apollo_fixed, apollo_probabilities, apollo_inputs)
72
73 # SALIDAS DEL MODELO
74 apollo_modelOutput(model)
75 apollo_saveOutput(model)
76 MNL1_general <- model

```

## MNL1 Restringido:

```

1 |
2 # INSTALAR PAQUETE DE APOLLO
3 library(apollo)
4
5 # INICIO APOLLO
6 apollo_initialise()
7
8 # INGRESAR BASE DE DATOS
9 database = read.csv("DatosEncuestaPD.csv",header=TRUE)
10
11 # MODELO LOGIT MULTINOMIAL
12 apollo_control = list(
13   modelName = "MNL1_restringido",
14   modelDescr = "",
15   individ = "ID")
16
17 #ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS
18 choiceAnalysis_settings <- list(
19   alternatives = c(caminata = 1, auto = 2, bicicleta = 3),
20   avail = list(caminata = database$AV_CAM, auto = database$AV_AUTO, bicicleta = database$AV_BICI),
21   choiceVar = database$ELECCION,
22   explanators = database[,c("EDAD1", "EDAD2", "EDAD3", "EDAD4", "EDAD5", "FRECUENCIA1", "FRECUENCIA2", "FRECUENCIA3",
23     "DISTANCIA1", "DISTANCIA2", "DISTANCIA3", "ESTADO", "ILUMINACION", "SEGURIDAD", "SEXO")]])
24 apollo_choiceAnalysis(choiceAnalysis_settings, apollo_control, database)
25
26 #DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MODELO
27 apollo_beta = c(theta_bici = 0,
28   b_time_cam = 0,
29   b_time_bici = 0,
30   b_time_auto = 0,
31   b_cost= 0)
32
33 #PARÁMETRO QUE SE MANTIENE FIJO EN LA ESTIMACIÓN
34 apollo_fixed = c("theta_bici")
35
36 #AGRUPAR Y VALIDAR ENTRADAS
37 apollo_inputs = apollo_validateInputs()
38
39 #DEFINIR MODELO Y FUNCIÓN DE MÁXIMA VEROSIMILITUD
40 apollo_probabilities = function(apollo_beta, apollo_inputs, functionality = "estimate"){
41
42   ## ADJUNTAR ENTRADAS DEL MODELO
43   apollo_attach(apollo_beta, apollo_inputs)
44   on.exit(apollo_detach(apollo_beta, apollo_inputs))
45
46   ## CREAR LISTA DE PROBABILIDADES P
47   P = list()
48
49   ## LISTA DE FUNCIONES DE UTILIDAD: DEBEN UTILIZAR LOS MISMOS NOMBRES QUE EN mnl_settings
50   V = list()
51   V[['caminata']] = b_time_cam * TV_CAM
52   V[['auto']] = b_time_auto * TV_AUTO + b_cost * CV_AUTO
53   V[['bicicleta']] = theta_bici + b_time_bici * TV_BICI + b_cost * CE_BICI
54
55   ## DEFINIR LA CONFIGURACIÓN DEL COMPONENTE DEL MODELO MNL
56   mnl_settings = list(
57     alternatives = c(caminata = 1, auto = 2, bicicleta = 3),
58     avail = list(caminata = AV_CAM, auto = AV_AUTO, bicicleta = AV_BICI),
59     choiceVar = ELECCION,
60     V = V)
61
62   ## CÁLCULO DE PROBABILIDADES MEDIANTE EL MODELO MNL
63   P[['model']] = apollo_mnl(mnl_settings, functionality)
64   P = apollo_panelProd(P, apollo_inputs, functionality)
65   P = apollo_prepareProb(P, apollo_inputs, functionality)
66   return(P)}
67
68 #ESTIMACIÓN DEL MODELO
69 model = apollo_estimate(apollo_beta, apollo_fixed, apollo_probabilities, apollo_inputs)
70
71 # SALIDAS DEL MODELO
72 apollo_modelOutput(model)
73 apollo_saveOutput(model)
74 MNL1_restringido <- model

```

## MNL2 General:

```

1 |
2 # INSTALAR PAQUETE DE APOLLO
3 library(apollo)
4
5 # INICIO APOLLO
6 apollo_initialise()
7
8 # INGRESAR BASE DE DATOS
9 database = read.csv("DatosEncuestaPD.csv",header=TRUE)
10
11 # MODELO LOGIT MULTINOMIAL
12 apollo_control = list(
13   modelName = "MNL2_general",
14   modelDescr = "",
15   individ = "ID")
16
17 #ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS
18 choiceAnalysis_settings <- list(
19   alternatives = c(caminata = 1, auto = 2, bicicleta = 3),
20   avail = list(caminata = database$AV_CAM, auto = database$AV_AUTO, bicicleta = database$AV_BICI),
21   choiceVar = database$ELECCION,
22   explanators = database[,c("EDAD1", "EDAD2", "EDAD3", "EDAD4", "EDAD5", "FRECUENCIA1", "FRECUENCIA2", "FRECUENCIA3",
23     "DISTANCIA1", "DISTANCIA2", "DISTANCIA3", "ESTADO", "ILUMINACION", "SEGURIDAD", "SEXO")]
24   apollo_choiceAnalysis(choiceAnalysis_settings, apollo_control, database)
25
26 #DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MODELO
27 apollo_beta = c(theta_cam = 0,
28   theta_auto = 0,
29   theta_bici = 0,
30   b_time_cam = 0,
31   b_time_auto = 0,
32   b_time_bici = 0,
33   b_cost = 0,
34   b_edad3_cam = 0,
35   b_edad3_bici = 0)
36
37 #PARÁMETRO QUE SE MANTIENE FIJO EN LA ESTIMACIÓN
38 apollo_fixed = c("theta_bici")
39
40 #AGRUPAR Y VALIDAR ENTRADAS
41 apollo_inputs = apollo_validateInputs()
42
43 #DEFINIR MODELO Y FUNCIÓN DE MÁXIMA VEROSIMILITUD
44 apollo_probabilities = function(apollo_beta, apollo_inputs, functionality = "estimate"){
45
46   ## ADJUNTAR ENTRADAS DEL MODELO
47   apollo_attach(apollo_beta, apollo_inputs)
48   on.exit(apollo_detach(apollo_beta, apollo_inputs))
49
50   ## CREAR LISTA DE PROBABILIDADES P
51   P = list()
52
53   ## LISTA DE FUNCIONES DE UTILIDAD: DEBEN UTILIZAR LOS MISMOS NOMBRES QUE EN mnl_settings
54   V = list()
55   V[['caminata']] = theta_cam + (b_time_cam + b_edad3_cam * EDAD3) * TV_CAM
56   V[['auto']] = theta_auto + (b_time_auto) * TV_AUTO + b_cost * CV_AUTO
57   V[['bicicleta']] = theta_bici + (b_time_bici + b_edad3_bici * EDAD3) * TV_BICI + b_cost * CE_BICI
58
59   ## DEFINIR LA CONFIGURACIÓN DEL COMPONENTE DEL MODELO MNL
60   mnl_settings = list(
61     alternatives = c(caminata = 1, auto = 2, bicicleta = 3),
62     avail = list(caminata = AV_CAM, auto = AV_AUTO, bicicleta = AV_BICI),
63     choiceVar = ELECCION,
64     V = V)
65
66   ## CÁLCULO DE PROBABILIDADES MEDIANTE EL MODELO MNL
67   P[['model']] = apollo_mnl(mnl_settings, functionality)
68   P = apollo_panelProd(P, apollo_inputs, functionality)
69   P = apollo_prepareProb(P, apollo_inputs, functionality)
70   return(P)}
71
72 # ESTIMACIÓN DEL MODELO
73 model = apollo_estimate(apollo_beta, apollo_fixed, apollo_probabilities, apollo_inputs)
74
75 # SALIDAS DEL MODELO
76 apollo_modelOutput(model)
77 apollo_saveOutput(model)
78 MNL2_general <- model

```

**MNL2 Restringido:**

```

1 |
2 # INSTALAR PAQUETE DE APOLLO
3 library(apollo)
4
5 # INICIO APOLLO
6 apollo_initialize()
7
8 # INGRESAR BASE DE DATOS
9 database = read.csv("DatosEncuestaPD.csv",header=TRUE)
10
11 # MODELO LOGIT MULTINOMIAL
12 apollo_control = list(
13   modelName = "MNL2_restringido",
14   modelDescr = "",
15   indivID = "ID")
16
17 #ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS
18 choiceAnalysis_settings <- list(
19   alternatives = c(caminata = 1, auto = 2, bicicleta = 3),
20   avail = list(caminata = database$AV_CAM, auto = database$AV_AUTO, bicicleta = database$AV_BICI),
21   choiceVar = database$ELECCION,
22   explanators = database[,c("EDAD1", "EDAD2", "EDAD3", "EDAD4", "EDAD5", "FRECUENCIA1", "FRECUENCIA2", "FRECUENCIA3",
23     "DISTANCIAL", "DISTANCIA2", "DISTANCIA3", "ESTADO", "ILUMINACION", "SEGURIDAD", "SEXO")]
24 apollo_choiceAnalysis(choiceAnalysis_settings, apollo_control, database)
25
26 #DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MODELO
27 apollo_beta = c(theta_bici = 0,
28   b_time_cam = 0,
29   b_time_bici = 0,
30   b_time_auto = 0,
31   b_cost = 0,
32   b_edad3_cam = 0,
33   b_edad3_bici = 0)
34
35 #PARÁMETRO QUE SE MANTIENE FIJO EN LA ESTIMACIÓN
36 apollo_fixed = c("theta_bici")
37
38 #AGRUPAR Y VALIDAR ENTRADAS
39 apollo_inputs = apollo_validateInputs()
40
41 #DEFINIR MODELO Y FUNCIÓN DE MÁXIMA VEROSIMILITUD
42 apollo_probabilities = function(apollo_beta, apollo_inputs, functionality = "estimate"){
43
44   ## ADJUNTAR ENTRADAS DEL MODELO
45   apollo_attach(apollo_beta, apollo_inputs)
46   on.exit(apollo_detach(apollo_beta, apollo_inputs))
47
48   ## CREAR LISTA DE PROBABILIDADES P
49   P = list()
50
51   ## LISTA DE FUNCIONES DE UTILIDAD: DEBEN UTILIZAR LOS MISMOS NOMBRES QUE EN mnl_settings
52   V = list()
53   V[['caminata']] = (b_time_cam + b_edad3_cam * EDAD3) * TV_CAM
54   V[['auto']] = (b_time_auto) * TV_AUTO + b_cost * CV_AUTO
55   V[['bicicleta']] = theta_bici + (b_time_bici + b_edad3_bici * EDAD3) * TV_BICI + b_cost * CE_BICI
56
57   ## DEFINIR LA CONFIGURACIÓN DEL COMPONENTE DEL MODELO MNL
58   mnl_settings = list(
59     alternatives = c(caminata = 1, auto = 2, bicicleta = 3),
60     avail = list(caminata = AV_CAM, auto = AV_AUTO, bicicleta = AV_BICI),
61     choiceVar = ELECCION,
62     V = V)
63
64   ## CÁLCULO DE PROBABILIDADES MEDIANTE EL MODELO MNL
65   P[['model']] = apollo_mnl(mnl_settings, functionality)
66   P = apollo_panelProd(P, apollo_inputs, functionality)
67   P = apollo_prepareProb(P, apollo_inputs, functionality)
68   return(P)}
69
70 # ESTIMACIÓN DEL MODELO
71 model = apollo_estimate(apollo_beta, apollo_fixed, apollo_probabilities, apollo_inputs)
72
73 # SALIDAS DEL MODELO
74 apollo_modelOutput(model)
75 apollo_saveOutput(model)
76 MNL2_restringido <- model

```

### Cálculo de la elasticidad del costo del biciestacionamiento:

```

96
97 # CÁLCULO DE ELASTICIDAD DEL COSTO ASOCIADO AL BICIESTACIONAMIENTO
98
99 sink(paste(model$apollo_control$MNL2_restringido,"_additional_output.txt",sep=""),split=TRUE)
100
101 predictions_base = apollo_prediction(model, apollo_probabilities, apollo_inputs, prediction_settings=list(runs=30))
102
103 database$CE_BICI = 1.01*database$CE_BICI
104
105 apollo_inputs = apollo_validateInputs()
106
107 predictions_new = apollo_prediction(model, apollo_probabilities, apollo_inputs)
108
109 database$CE_BICI = 1/1.01*database$CE_BICI
110
111 predictions_base=predictions_base[["at_estimates"]]
112
113 log(sum(predictions_new[, "caminata"])/sum(predictions_base[, "caminata"])/log(1.01)
114
115 log(sum(predictions_new[, "auto"])/sum(predictions_base[, "auto"])/log(1.01)
116
117 log(sum(predictions_new[, "bicicleta"])/sum(predictions_base[, "bicicleta"])/log(1.01)
118
119 if(sink.number()>0) sink()

```

### Cálculo de la elasticidad del tiempo de viaje en bicicleta:

```

123 # CÁLCULO DE ELASTICIDAD DEL TIEMPO DE VIAJE EN BICICLETA
124
125 sink(paste(model$apollo_control$MNL2_restringido,"_additional_output.txt",sep=""),split=TRUE)
126
127 predictions_base = apollo_prediction(model, apollo_probabilities, apollo_inputs, prediction_settings=list(runs=30))
128
129 database$TV_BICI = 1.01*database$TV_BICI
130
131 apollo_inputs = apollo_validateInputs()
132
133 predictions_new = apollo_prediction(model, apollo_probabilities, apollo_inputs)
134
135 database$TV_BICI = 1/1.01*database$TV_BICI
136
137 predictions_base=predictions_base[["at_estimates"]]
138
139 log(sum(predictions_new[, "caminata"])/sum(predictions_base[, "caminata"])/log(1.01)
140
141 log(sum(predictions_new[, "auto"])/sum(predictions_base[, "auto"])/log(1.01)
142
143 log(sum(predictions_new[, "bicicleta"])/sum(predictions_base[, "bicicleta"])/log(1.01)
144
145 if(sink.number()>0) sink()

```

### Cálculo del Test de razón de verosimilitud:

```

1 |
2 # INSTALAR PAQUETE DE APOLLO
3
4 library(apollo)
5
6 # INICIO APOLLO
7
8 apollo_initialise()
9
10 #Cálculo Test de Verosimilitud
11
12 apollo_lrTest(MNL1_restringido,MNL1_general)
13 apollo_lrTest(MNL2_restringido,MNL2_general)
14

```

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN – FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**RESUMEN DE MEMORIA DE TÍTULO**

**Departamento** : Departamento de Ingeniería Civil  
**Carrera** : Ingeniería Civil  
**Nombre del memorista** : Samuel Ignacio Fernández Rojas  
**Título de la memoria** : Propuesta metodológica de integración bicicleta-tren, aplicada al caso del Biotren en Concepción.  
**Fecha de la presentación oral** :  
**Profesor(es) Guía** : Juan Antonio Carrasco  
**Profesor(es) Revisor(es)** : Alejandro Maximiliano Tudela  
**Concepto** :  
**Calificación** :

**Resumen**

El crecimiento de la población mundial en las zonas urbanas durante los últimos años se ha transformado en un desafío para la planificación de transporte, por el creciente uso de modos masivos de transporte público de las ciudades, como el tren, donde no sólo aumenta la cantidad de viajes principales a bordo, sino también los viajes de acceso a las estaciones. Ante esta problemática, los sistemas integrados bicicleta-tren han sido estudiados e implementados satisfactoriamente en varios países, incentivando además el uso de modos sustentables. Chile aún no cuenta con una metodología de implementación de estos sistemas, que se ajuste a la realidad local y que permita optimizar la implementación de biciestacionamientos, lo cual es fundamental para lograr un cambio cultural en la sociedad en torno a la movilidad en bicicleta.

El objetivo de esta investigación fue elaborar las bases de un proyecto de implementación de un sistema integrado bicicleta-tren, aplicado al caso del Biotren en Concepción. Se elaboró una propuesta metodológica con etapas y lineamientos definidos a partir de una exhaustiva revisión bibliográfica de los antecedentes nacionales e internacionales de estos sistemas. Luego, esta propuesta metodológica se aplicó parcialmente al caso de Concepción, partiendo por el diseño y aplicación de una encuesta de preferencias declaradas a 42 usuarios del Biotren en la Estación Lomas Coloradas. Posterior a ello, se realizó un análisis descriptivo de los resultados y, utilizando un modelo de elección discreta, se obtuvo una demanda estimada de 157 usuarios potenciales diarios en esa estación.

Por último, se elaboró una propuesta del tipo de infraestructura requerida para los biciestacionamientos, indicando que sea techado, cerrado, visible, funcional y cómodo. Además, se realizó una serie de recomendaciones finales acerca de la seguridad e iluminación del espacio, junto con medidas para incentivar el uso de los biciestacionamientos a nivel nacional.