



METODOLOGÍA PARA LA FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE PLANES MAESTROS DE CICLO- RUTAS

División de Evaluación Social de Inversiones

INDICE

INTRODUCCIÓN	3
1.1 CONTEXTO	3
1.2 ANTECEDENTES	4
1.3 METODOLOGÍA GENERAL.....	4
2. PRE-DIAGNÓSTICO DE ZONA DE ESTUDIO	8
3. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	10
3.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO	10
3.2 IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS ACTIVIDADES	10
3.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE.....	10
3.4 MEDICIONES DE TRÁNSITO	11
4. METODOLOGÍA DE ELECCIÓN DE EJES	12
4.1 ATRIBUTOS PARA LA ELECCIÓN DE EJES	12
4.1.1 <i>Factibilidad Física de Construcción</i>	12
4.1.2 <i>Análisis de Flujos de Bicicletas</i>	14
4.1.3 <i>Análisis de Riesgo de Accidentes</i>	15
4.1.4 <i>Nivel de Interferencia con Otros Medios de Transporte</i>	16
4.1.5 <i>Aspectos Ambientales</i>	17
4.2 MATRIZ DE ATRIBUTOS.....	19
4.3 PROPUESTA DE PLAN MAESTRO DE CICLO-RUTAS.....	20
5. ESTUDIO DE DEMANDA	22
5.1 DEFINICIONES BÁSICAS	22
5.2 MEDICIONES DE TRÁNSITO	23
5.3 <i>ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA: SITUACIÓN ACTUAL, BASE Y PROYECTO</i>	23
5.3.1 <i>Ciudades de Tamaño Medio y Grande</i>	23
5.3.2 <i>Ciudades Menores</i>	24
6. EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA RED	26
6.1 ESTIMACIÓN DE LAS VARIACIONES DE VELOCIDAD EN VÍAS PARA MODOS MOTORIZADOS	27
6.1.1 <i>Calle Céntrica de Una Pista</i>	27
6.1.2 <i>Calle Céntrica de Dos o Más Pistas</i>	29
6.1.3 <i>Calle No Céntrica de una pista</i>	31
6.1.4 <i>Calle No Céntrica de Dos o Más Pistas</i>	33
6.2 ESTIMACIÓN DE CONSUMOS DE TIEMPO Y COMBUSTIBLE DE LOS MODOS MOTORIZADOS	35
6.3 ESTIMACIÓN DE CONSUMO DE TIEMPO DE LOS MODOS NO MOTORIZADOS	36
6.3.1 <i>Ciudades de Tamaño Medio y Grande</i>	36
6.3.2 <i>Ciudades Menores</i>	37

6.4	ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS.....	37
6.4.1	<i>Modos No Motorizados</i>	37
6.4.2	<i>Modos Motorizados</i>	38
6.5	DESARROLLO DE SOLUCIONES FÍSICAS Y OPERACIONALES.....	40
6.6	EVALUACIÓN SOCIAL DE LA PROPUESTA DE PLAN MAESTRO.....	40
6.7	DEFINICIÓN PLAN MAESTRO DE CICLO-RUTAS.....	41
6.8	IDENTIFICACIÓN DE RED DE CORTO PLAZO.....	41
7.	DESARROLLO FÍSICO DE LA RED DE CORTO PLAZO.....	42
7.1	RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES COMPLEMENTARIOS	42
7.2	DISEÑO FÍSICO	42
7.3	CÁLCULO DE INVERSIONES.....	43
8.	EVALUACIÓN ECONÓMICA SOCIAL RED DE CORTO PLAZO.....	44

Nota: Documento elaborado por SECTRA. Validado por los Departamentos Inversiones y Metodologías de la División Evaluación Social de Inversiones del Ministerio de Desarrollo Social.

INTRODUCCIÓN

1.1 Contexto

La provisión de infraestructura especializada para la circulación de modos no motorizados se ha transformado en una necesidad creciente durante los últimos años, producto de la importancia que han alcanzado las políticas de fomento a la movilidad sostenible, tanto en nuestro país como en el resto del mundo.

En este sentido, la dotación de redes de ciclo-rutas cumple un rol fundamental en otorgar más y mejores condiciones de circulación tanto a los ciclistas como a usuarios los de los otros modos, cumpliendo con el doble objetivo de avanzar hacia la formalización de la bicicleta como modo de transporte y de generar incentivos para su uso habitual por parte de los ciudadanos.

Es necesario destacar que este tipo de inversiones, por ser de carácter público, están insertas en el Sistema Nacional de Inversiones, y por lo tanto deben cumplir con el requerimiento de estimar un indicador de rentabilidad social que permita cumplir a su vez con el objetivo de velar por la eficiencia en la utilización de los recursos públicos. Sin embargo, y a diferencia de lo que ocurre con los proyectos de inversión para modos motorizados, no existen metodologías de evaluación equivalentes para facilidades peatonales y de bicicletas.

En este contexto, el presente documento corresponde a la definición de una metodología para la **formulación y evaluación** de proyectos de habilitación de planes maestros de ciclo-rutas en el contexto urbano, lo que no obsta a que las herramientas en ella definidas puedan ser aplicadas también en redes suburbanas e interurbanas.

En lo que respecta a la formulación de planes maestros, la presente metodología propone la utilización de una matriz de atributos que tiene por objetivo seleccionar, a través de un análisis cualitativo, aquellos ejes que cumplen con las condiciones ideales para acoger una facilidad ciclo-vial, tanto en términos de atender a la demanda actual y potencial, como de proveer una oferta adecuada.

Por su parte, en lo que respecta a la evaluación, se reconocen que los beneficios de generar este tipo de infraestructura son múltiples y diversos, dentro de los cuales destacan los siguientes:

- Disminución de accidentes de ciclistas producto de la segregación de los flujos.
- Reducción de emisiones, de material particulado y ruido, producto del cambio modal hacia la bicicleta desde modos contaminantes.
- Mejora en el estado de salud de los usuarios de bicicleta, con la consecuente disminución de gastos del Estado en este ítem y la disminución del ausentismo laboral asociado.
- Ahorros de tiempo de viaje de los ciclistas, producto de la segregación de los flujos
- Ahorros de tiempo de viaje de los usuarios que se traspan del modo caminata

hacia la bicicleta.

- Reducción de tiempo de viaje de los usuarios de los otros modos de transporte producto de la segregación de los flujos.

Esta metodología se concentra en las últimas dos fuentes de beneficios identificadas previamente, debido principalmente a que corresponden a aquellos beneficios para los cuales se cuenta con herramientas metodológicas previas, que permiten cuantificarlos y valorizarlos monetariamente y por lo tanto obtener a partir de ellos un indicador de rentabilidad económico social. Será desafío de posteriores estudios avanzar en la evaluación socioeconómica de este tipo de proyectos y en la adecuada consideración y medición de estos y otros beneficios.

Finalmente, cabe señalar, que la evaluación social de proyectos de ciclo-rutas es independiente y complementaria a la evaluación de los proyectos viales de mejoramiento o de habilitación de vías, cuando un proyecto de ciclo-ruta está integrado a estos últimos, dado que en las metodologías aplicables a dichos estudios, los proyectos de ciclo-rutas no se encuentran apropiadamente internalizados en la estimación de beneficios.

1.2 Antecedentes

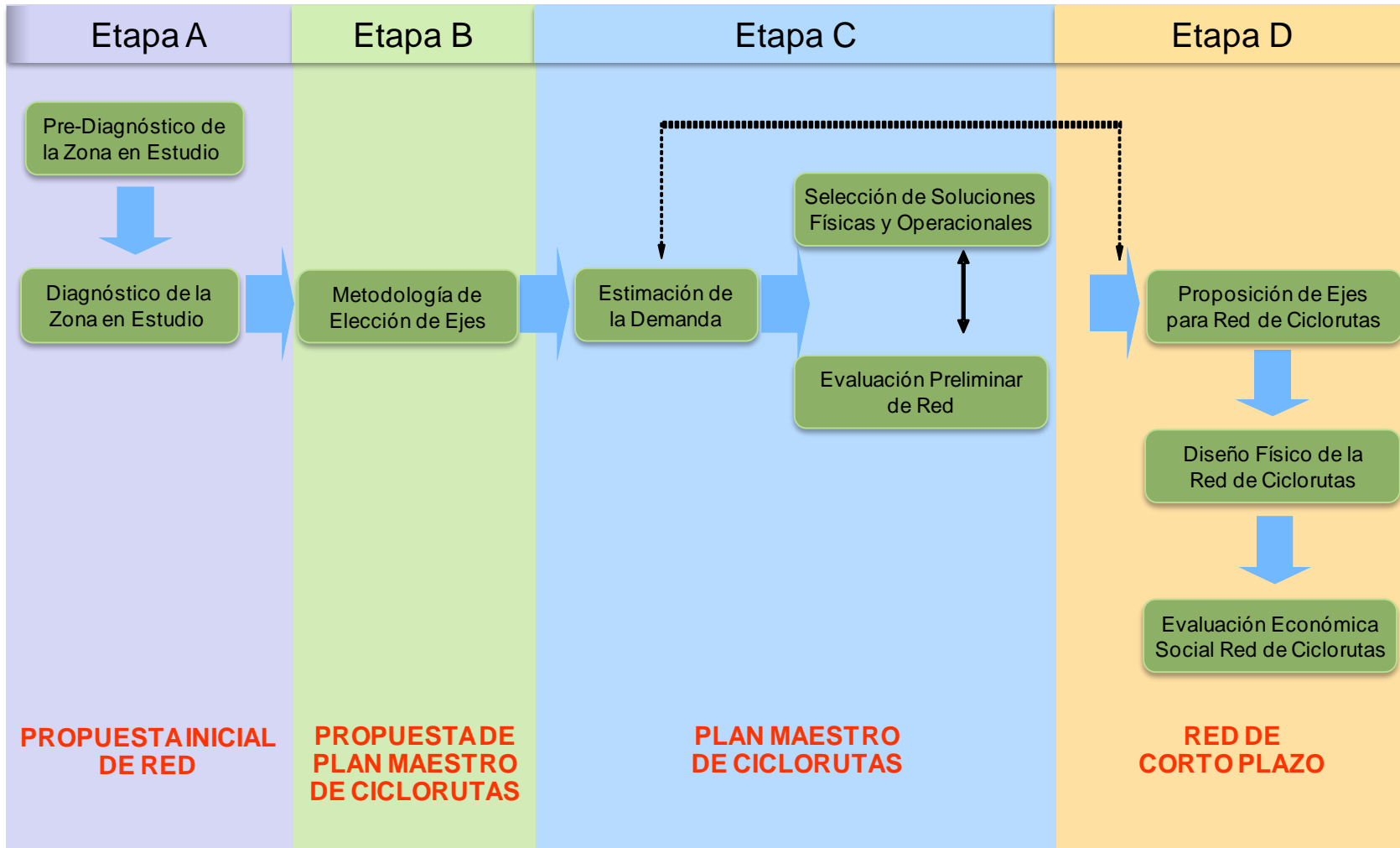
La metodología desarrollada en el presente documento se basa en el documento "Metodología Habilitación Red de Ciclovías", que corresponde al Anexo N° 7 "*Manual de Diseño y Evaluación Social de Proyectos de Vialidad Urbana*" (MESPIVU), ODEPLAN, Comisión de Transporte Urbano (1988) y actualizada en el contexto del estudio "Construcción Red de Ciclovías Copiapó, MIDEPLAN-SECTRA 2009. Las tareas que han sido reformuladas son básicamente aquéllas relacionadas con la estimación de la demanda y de los beneficios.

1.3 Metodología General

La estructura de la metodología y los productos obtenidos en cada etapa se ilustran en la Figura N° 1.

Las primeras tareas (pre-diagnóstico y diagnóstico de la zona de estudio) requieren la recopilación de información del área de estudio, así como la caracterización y la cuantificación de algunas variables relevantes para el análisis. En esta etapa se realiza una definición estratégica en que se identifican todos aquellos ejes que deberían ser analizados, generando una **Propuesta Inicial de Red**, que servirá de referencia para el desarrollo de los proyectos de facilidades para bicicletas.

Figura N°1: Esquema General Metodología



Nota: En rojo se describen los productos de cada Etapa.

Sobre la **Propuesta Inicial de Red** se plantea aplicar la metodología de elección de ejes, donde cada una de las ciclovías¹, ciclobandas² y/o ciclocalles³ se somete a la valorización de acuerdo a cinco atributos definidos, que son:

- factibilidad de construcción.
- flujo de bicicletas.
- riesgo de accidentes.
- interferencia entre modos de transporte.
- aspectos ambientales.

En conjunto, estas variables permiten al modelador tomar una decisión frente a la elección de un eje determinado, generando de esta forma la **Propuesta de Plan Maestro de Ciclo-rutas**. A la propuesta del Plan Maestro se le aplicarán las tareas de estimación de la demanda, desarrollo de soluciones físicas y operacionales y evaluación preliminar.

La estimación de la demanda consiste en estimar el flujo de bicicletas sobre la red de la **Propuesta de Plan Maestro**, la que provendrá de dos fuentes de información, por un lado la demanda actual, cuantificada con los estudios de base, y por otro lado la demanda por transferencia modal, cuantificada como una proporción basada en los viajes en caminata.

En la etapa de evaluación preliminar se utilizan tablas de razones de velocidad y tasas de transferencia modal, derivadas a partir de herramientas de modelación, para obtener la estimación de los consumos operacionales y beneficios de los usuarios de modos motorizados y no motorizados. Paralelamente, se plantean las diferentes soluciones físicas y operacionales de los ejes que componen la red contenida en la **Propuesta de Plan Maestro**, obteniéndose así indicadores de rentabilidad preliminares. Con estas herramientas y los resultados de la metodología de elección de ejes, de la cual se obtiene un ranking de ejes, se ajusta la definición del **Plan Maestro de Ciclo-rutas**.

Posteriormente a la definición del **Plan Maestro de Ciclo-rutas** y considerando los indicadores económicos de la evaluación preliminar, las restricciones presupuestarias y/o de kilómetros de diseño, entre otros criterios, se define si la totalidad del **Plan Maestro de Ciclo-rutas** o un subconjunto de éste se diseña a nivel de ingeniería de detalle. Este subconjunto, el cual se define considerando el ranking de los ejes y la evaluación preliminar, conformará la **Red de Corto Plazo** a diseñar a nivel de

¹ Vía destinada al uso exclusivo de bicicletas que se encuentra segregada físicamente del tránsito de vehículos motorizados. El ancho varía según los volúmenes de bicis esperados. En todo caso, se recomienda un ancho mínimo de 1.2 metros por sentido de circulación. (Manual de Señalización de Tránsito, Cap. 6)

² Pista o senda sobre la calzada o acera segregada del tránsito vehicular o peatonal sólo por demarcación. Su ancho puede variar según el flujo esperado de bicicletas, pero no puede ser menor a 1.5 metros. Sólo pueden ubicarse en vías donde la velocidad máxima permitida es igual o inferior a 50 km/hr. (op. cit.)

³ Vía convencional o peatonal donde circulan los bicis junto a otros vehículos motorizados, y/o peatones, cuya máxima velocidad permitida no excede los 30 km/h. Generalmente este tipo de vía contempla medidas de *traffic calming*. (op. cit.)

ingeniería de detalle. Finalmente, se afinan los costos de **Red de Corto Plazo** durante la fase de diseño físico y operacional, para luego realizar la evaluación económica social de la red, obteniendo los indicadores económicos definitivos.

En los casos en que se encuentren definidos proyectos de ciclovías, ciclobandas y/o ciclocalles en determinados ejes que hayan sido analizados en un estudio anterior, sólo se deben desarrollar las tareas de estimación de la demanda, diseño físico y operacional y evaluación social de la red de ciclo-rutas.

En los próximos puntos se describe cada una de las etapas que conforman la Metodología esquematizada en la Figura N° 1.

2. PRE-DIAGNÓSTICO DE ZONA DE ESTUDIO

A partir de la información base existente (diagnósticos en el área de estudio, mediciones de tránsito, monografías, entre otros) y de información de proyectos, en desarrollo o terminados, se identifican todos aquellos ejes que debiesen ser analizados, generando así una **Propuesta Inicial de Red**, la cual se presentará a la contraparte técnica regional. Se debe tener presente que la proposición de ejes preliminares debe comprender una identificación clara de cada eje y caracterizar éstos según los flujos de bicicletas existentes.

La **Propuesta Inicial de Red** debe contemplar una visión a nivel estratégico del Sistema de Transporte de la ciudad. A continuación, se presentan los dos principales conceptos que se deben considerar para identificar las posibles vías que podrán ser incluidas en el diseño de la propuesta:

- **Conectividad:** Para que una red de ciclo-rutas presente un grado importante de conectividad, necesariamente debe unir los principales centros generadores y atractores de viajes de la ciudad. Estos centros generadores y atractores corresponden principalmente a: áreas que concentran las principales actividades de servicios y reparticiones públicas; áreas donde se emplazan centros de trabajo agrícola; áreas donde se emplazan centros de trabajo industrial; áreas donde se emplazan centros educacionales; áreas donde se concentra la mayor cantidad de población de nivel socio económico medio y bajo; y áreas de desarrollo urbano.
- **Continuidad Funcional:** La red puede incluir ciclo-rutas del tipo troncal, alimentador y local. Las ciclo-rutas troncales y alimentadoras deben, en lo posible, unir la ciudad en toda su extensión, mientras que las locales permiten conexiones menores dentro de la ciudad, como por ejemplo ejes que conectan dos vías troncales y ejes que conectan un área en particular con una vía troncal.

Los conceptos de Conectividad y Continuidad Funcional se reflejan a través de los siguientes criterios:

- Los ejes deben conectar las principales actividades productivas, de servicios, educacionales, habitacionales y recreacionales o encontrarse adyacentes a ellas.
- Los ejes preliminares tienen que comprender a los posibles ejes interurbanos y/o suburbanos que comuniquen los centros de generación y atracción de viajes.
- La conectividad de los distintos ejes elegidos debe ser tal que conformen una red conectada y que, a su vez, sean capaces de integrar los flujos interurbanos y/o suburbanos con la urbanidad para que éstos se distribuyan en la malla urbana.
- Los ejes preliminares deben presentar flujos de bicicletas significativos (ver punto 4.1.2).

La proposición de ejes preliminares debe considerar la inclusión de todos los ejes con presencia de bicicletas, dado que es más conveniente descartar un eje que incluirlo posteriormente.

Los aspectos de seguridad, tanto vial como pública, no constituyen restricciones en sí

mismas para la elección de una vía para ciclo-rutas, pues estos aspectos se consideran en el diseño, mediante una apropiada señalización, un adecuado diseño geométrico, la selección apropiada del trazado y el desarrollo del proyecto de iluminación para peatones y ciclistas.

3. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

El diagnóstico de la situación actual de la zona en estudio tiene por objetivo recopilar información y antecedentes generales que permitan identificar y analizar distintos aspectos relacionados con: la descripción de la zona en estudio, la descripción del sistema de transporte, la identificación y caracterización de las actividades de atracción y generación de viajes y las características de los usuarios de bicicletas de la zona estudiada. El desarrollo de esta etapa debe ser apoyado por visitas a terreno de los distintos actores involucrados.

Se debe contemplar un diagnóstico de cada eje, basado en visitas a terreno, fotografías y perfiles tipo, antecedentes que permitan al especialista formarse una visión general de las condicionantes existentes en las distintas vías y realizar un diagnóstico enfocado a la aptitud de ellas como candidatas a contener una ciclo-ruta.

Complementariamente, en esta etapa se deben desarrollar los estudios de base necesarios para la etapa de elección de ejes.

3.1 Descripción de la Zona en Estudio

La descripción de la zona en estudio tiene por objetivo identificar y caracterizar la población, su distribución espacial y sus actividades. Por otro lado, se debe analizar las condiciones naturales y físicas de la zona estudiada. El desarrollo de esta etapa contempla la caracterización de los siguientes aspectos de la zona analizada:

- Ubicación geográfica;
- Población y vivienda;
- Clasificación socioeconómica;
- Clima y relieve.

3.2 Identificación y Caracterización de las Actividades

La identificación y caracterización de las actividades productivas, de servicios, recreacionales, educacionales y habitacionales tienen por objetivo obtener la localización espacial para cada tipo de actividad, de manera de identificar los principales focos de concentración de empleos y hogares de la zona estudiada. La localización de las actividades aportará antecedentes complementarios para determinar cuáles son los ejes más utilizados para los desplazamientos de las personas.

3.3 Descripción del Sistema de Transporte

La descripción del sistema de transporte de la zona de estudio debe comprender los siguientes aspectos: descripción de la red vial existente, identificación de la operación del tránsito, identificación y caracterización de los modos de transporte existentes en la zona y análisis de los flujos históricos, en especial de bicicletas.

3.4 Mediciones de Tránsito

Se deben llevar a cabo las siguientes mediciones de tránsito:

- Mediciones de Flujo Continuo: Permiten determinar los períodos de análisis y definir los horarios de medición de las mediciones de flujos periódicos.
- Mediciones de Flujo Periódico: Para cada eje de la **Propuesta Inicial de Red** se debe contar con la cantidad de vehículos motorizados y bicicletas que transitan en cada período; esta información puede ser obtenida de mediciones periódicas recientes o de la realización de nuevas.

4. METODOLOGÍA DE ELECCIÓN DE EJES

La metodología de elección de ejes se subdivide en las siguientes sub-tareas: identificación de atributos para la elección de ejes, generación de una matriz de atributos y desarrollo de una **Propuesta de Plan Maestro de Ciclo-rutas**.

4.1 Atributos para la Elección de Ejes

La metodología de elección de ejes consiste básicamente en la valorización de cinco aspectos relevantes, que en conjunto se convierten en una herramienta de decisión frente a la elección de un determinado eje. Los factores o atributos considerados en la evaluación preliminar de cada eje corresponden a:

- Factibilidad física de construcción
- Flujos de bicicletas en los ejes preliminares
- Análisis de accidentes
- Nivel de interferencia con otros modos de transporte
- Análisis de impacto ambiental de la solución planteada.

Cada atributo es valorado de acuerdo a un puntaje relativo propuesto. Estos puntajes se resumen en una matriz de atributos que entrega como resultado un valor agregado para cada eje, con lo que se elabora un ranking de los ejes preliminares, mediante el cual se aprueba o bien se descarta el eje analizado, el cual podrá ser re-evaluado posteriormente, en la medida que se estime pertinente.

Para la metodología de elección de ejes de cada uno de los atributos se recomienda segmentar los ejes en tramos homogéneos de manera de realizar la evaluación sobre sectores con características similares.

4.1.1 Factibilidad Física de Construcción

En general, la selección de ejes se realiza sobre un número importante de vías, lo que hace necesario plantear una metodología simplificada para evaluar la factibilidad física de construcción de una ciclo-ruta en un determinado eje, considerando las diferentes alternativas de emplazamiento dentro del perfil transversal de la calle o camino.

La factibilidad física de construcción es un factor clave a considerar en la metodología planteada para la elección de ejes. Principalmente se asocia a la relación que existe entre los requerimientos de espacio para el ciclista y las facilidades que presenta la vía para la materialización de una ciclo-ruta. Este atributo se relaciona directamente con el monto de inversión requerido, elemento importante de considerar al decidir la factibilidad física de construcción, ya que en términos teóricos una obra civil es siempre factible de construir, el problema es a qué costo.

En el análisis de factibilidad física de construcción intervienen en forma importante 15 elementos que tienen relación con el costo de construcción de una ciclo-ruta. A cada uno de ellos se le ha asignado un factor, de acuerdo a la magnitud relativa de las inversiones asociadas. A su vez, para cada elemento se han definidos ponderadores, los cuales permiten reflejar la presencia de ese elemento en la ciclo-ruta analizada, los

cuales provienen del estudio "Habilitación Red de Ciclovías Quillota" (Sectra, 1997),, En el Cuadro N° 1 se presenta la Matriz de Factibilidad Física de Construcción. Para cada ítem analizado, se presentan los factores y ponderadores a utilizar.

Cuadro N° 1: Matriz de Factibilidad Física de Construcción

Ítem	Factor	Situación en el eje (o tramo de él) para la alternativa analizada	Ponderador
Expropiación Terreno	4	Expropiación puntual	0
		Expropiación generalizada	1
Expropiación Construcciones	6	Puntual y construcción ligera	0
		Construcciones sólida	1
		Sólidas y continuas o de gran envergadura	≥ 2
Traslado Postes	1	Puntual	0
		Continuo	1
		Torres de alta tensión o antenas	2
Traslado Canales	1	Puntual o no se requiere	0
		Continuo de pequeñas dimensiones	1
		Continuo de grandes dimensiones	≥ 2
Entubación / Revestimiento Canales	2	Puntual o no se requiere	0
		Continuo de pequeñas dimensiones	1
		Continuo de grandes dimensiones	≥ 2
Alargue Obras de Arte	1	Puntual o no se requiere	0
		Algunas de pequeñas dimensiones	1
		Gran cantidad o de grandes dimensiones	≥ 2
Estructuras	6	No se requieren	0
		Una menor	1
		Varias menores o alguna mayor	≥ 2
Movimiento de Tierras	2	Puntual o no se requiere	0
		Continuo de pequeñas dimensiones	1
		Continuo de grandes dimensiones	≥ 2
Demolición y Reposición de Aceras	1	Puntual o no se requiere	0
		Continuo	1
Existencia de Servicios Públicos Subterráneos	2	Puntual o no existen	0
		Continuos bajo el eje	1

Reubicación Paraderos	1	No existen Existen	0 1
Existencia a Accesos Importantes	2	Puntual o no existen Existen varios	0 1
Existencia de Cruces e Intersecciones	1	Puntual o no existen Existen varios	0 1
Construcción de Obras de Arte	1	Puntual o no se requiere Algunas de pequeñas dimensiones Gran cantidad o de grandes dimensiones	0 1 ≥ 2
Remoción o Traslado de Árboles	1	Puntual o no se requiere Varios	0 1

FUENTE: "Habilitación Red Ciclovías, Quillota", MIDEPLAN –SECTRA, 1997

Al momento de evaluar cada ciclo-ruta, en la columna "Ponderador" debe ponerse 0 para indicar que el elemento no está presente, ó 1 en caso que si lo está. En situaciones muy especiales podría asignarse un valor de 2 cuando se estime que la importancia relativa del elemento es mucho mayor al compararla con el resto de la matriz.

Una vez obtenido el puntaje total para cada eje analizado, calculado de la sumatoria del producto de los 15 elementos entre el factor y el ponderador, éste es asociado a los niveles de factibilidad física de construcción de acuerdo a la siguiente tabla:

Cuadro N° 2: Nivel de Factibilidad Construcción

Nivel de Factibilidad Construcción	Rango de Puntaje	Observaciones
Bajo	6.1 - ∞	Alto Costo (A)
Medio	4.1 - 6.0	Costo Medio (M)
Alto	0.0 - 4.0	Bajo Costo (B)

FUENTE: "Habilitación Red Ciclovías, Quillota", MIDEPLAN –SECTRA, 1997

4.1.2 Análisis de Flujos de Bicicletas

Un aspecto fundamental en la elección de un eje para la conformación de una red de ciclo-rutas es aquél relacionado con el nivel de flujo de bicicletas. Es por ello que el análisis del nivel de flujo de bicicletas de los distintos ejes seleccionados es muy importante, y debe considerar mediciones de flujos en distintos puntos de la zona de estudio, el procesamiento de los datos obtenidos y el análisis propiamente tal. Una vez realizadas las mediciones en los ejes estudiados y procesados los datos de acuerdo a la tipología establecida, se deben clasificar los ejes según el volumen de flujo de bicicletas. Para tal efecto, se utiliza la siguiente clasificación:

Cuadro N° 3: Clasificación Según Volumen de Flujo

Nivel de Flujo	Flujo de Bicicletas (N° de Bicicletas/día)
Bajo	0 – 150
Medio	151 – 250
Alto	251 - ∞

FUENTE: "Habilitación Red Ciclovías, Quillota", MIDEPLAN –SECTRA, 1997

Los rangos de flujo definidos tienen relación con el análisis del comportamiento en una hora punta, el cual a su vez está basado en el supuesto de que en ella se concentra aproximadamente el 10% a 15% de los viajes durante el día. De esta manera el rango inferior tiene relación con una tasa de 1 bicicletas cada 4 minutos, lo que se considera bajo; por su parte el rango superior supone una tasa de una bicicleta cada 2 minutos, lo que se considera alto. La aplicación práctica de esta herramienta ha demostrado cubrir de buena manera los flujos observados, en distintas ciudades del país.⁴

4.1.3 Análisis de Riesgo de Accidentes

La bicicleta es un medio de transporte que tiene un riesgo relativamente alto de verse involucrado en un accidente, menor que las motocicletas, pero mayor que los automóviles. Esta realidad es uno de los principales motivos por los que es necesaria la implementación de vías especiales para bicicletas, dado que, con esta segregación modal, se disminuye el riesgo de accidentes.

Se establece entonces un nivel de riesgo para cada eje de forma de dar prioridad a aquéllos con mayores tasas de accidentes. Se debe recopilar información de accidentes, en que se hayan visto involucrados ciclistas, en las unidades de Carabineros de Chile con jurisdicción en el área de análisis mediante la revisión del libro de partes u otras fuentes. Para este análisis se utiliza el promedio de los últimos tres años, en el caso que se dispongan de datos estadísticos, o el último año para el cual se cuente con información.

Cuadro N° 4: Nivel de Riesgo de Accidentes

Nivel de Riesgo de Accidentes	Frecuencia de Accidentes en los últimos 3 años
Bajo	Sin accidentes
Medio	1 accidente
Alto	+1 accidente

FUENTE: "Habilitación Red Ciclovías, Quillota", MIDEPLAN –SECTRA, 1997

Al igual que en el caso de los atributos anteriores, los rangos corresponden a los

⁴ Para más detalle se sugiere revisar el capítulo 3 del informe final del estudio "Habilitación Red de Ciclovías, Quillota" (Sectra, 1997).

definidos en el estudio "Habilitación Red de Ciclovías Quillota" (Sectra, 1997). Cabe destacar que el hecho de que 2 accidentes equivalgan a 10 o 20, debe ser interpretado como que es igual de indeseable que ocurran 2 o más accidentes en un eje. En virtud de lo anterior, estos rangos permiten diferenciar respecto a ejes donde no ocurren accidentes (ejes seguros) o aquellos en que solo se ha producido uno, lo que puede ser interpretado como un hecho aislado.

4.1.4 Nivel de Interferencia con Otros Medios de Transporte

Otra variable necesaria para determinar la elección de un eje es el nivel de interferencia entre los distintos modos de transporte que lo utilizan. En general, se plantea la interferencia como una disminución de la capacidad de la vía, debido a que la presencia de bicicletas obliga a los vehículos mayores a disminuir su velocidad.

Por su parte, la mayor presencia de vehículos motorizados implica condiciones de circulación menos seguras para los ciclistas, lo que sumado a conductas impredecibles o la no utilización de ropa reflectante por parte de estos, amplifica las posibles situaciones de conflicto.

Para clasificar los distintos ejes según el nivel de interferencia se plantea el Factor de Interferencia (F.I.):

$$F.I. = \frac{(F_{veh.} * F_{bic}) * d}{(5 * Cap)}$$

Donde:

Cap : Capacidad de la vía (veq/hr)

d : Factor ancho de pista (1 si ancho de pista ≤ 4 metros y 0 en caso contrario)

Fveh : Flujo de vehículos motorizados sobre la vía (veq/hr)

Fbic : Flujo de bicicletas sobre la vía (veh/hr)

Por su parte, el valor 15, corresponde a la velocidad media que pueden alcanzar las bicicletas (15 km/hr), por lo que el flujo de bicicletas dividido por esta velocidad, da cuenta de la densidad de bicicletas en la vía. Para más detalle se sugiere revisar el capítulo 3 del informe final del estudio "Habilitación Red de Ciclovías, Quillota" (Sectra, 1997)

Cuadro Nº 5: Nivel de Interferencia

Nivel de Interferencia	Factor de Interferencia
Bajo	0.00 – 0.24
Medio	0.25 – 0.39
Alto	0.40 - ∞

FUENTE: "Habilitación Red Ciclovías, Quillota", MIDEPLAN –SECTRA, 1997

4.1.5 Aspectos Ambientales

Las características de las obras involucradas en la construcción de una red de ciclo-rutas, en general, no presentan mayores inconvenientes ambientales. De hecho se pueden asociar beneficios socio ambientales vinculados a su operación.

En este sentido, es necesario identificar, previo al diseño, la existencia de situaciones calificadas como de riesgo ambiental, realizando oportunamente los estudios pertinentes orientados a mitigar los problemas detectados.

A partir de la recopilación de los antecedentes ambientales y de la definición de un escenario de construcción, es posible identificar, en forma preliminar, los principales impactos ambientales generados por la construcción de cada uno de los ejes de la ciclo-ruta, utilizando una **Ficha de Evaluación Ambiental** que permite otorgar una calificación ambiental, determinando el potencial nivel de compromiso ambiental involucrado en la construcción de cada eje.

4.1.5.1 Aplicación de la Ficha de Evaluación Ambiental para Ciclo-rutas

A cada uno de los ejes de la **Propuesta Inicial de Red** se le debe aplicar la ficha de evaluación ambiental, la cual sintetiza los potenciales impactos ambientales habitualmente previstos: clima, geomorfología, suelos, agua superficial y subterránea, ruido, calidad del aire, vegetación, fauna, paisaje e influencia humana. El cuestionario cuenta con las siguientes columnas:

- Posible Impacto: Pregunta por la posibilidad de ocurrencia de alteraciones ambientales.
- SI: Respuesta afirmativa a la pregunta.
- NO: Respuesta negativa a la pregunta.
- Valor: En caso de que la respuesta sea afirmativa (SI), indicar valoración.
- Categoría: En caso de que la respuesta sea afirmativa (SI), indicar categoría.
- La valoración de las respuestas afirmativas está dada por la siguiente clasificación: altamente significativo (10), medianamente significativo (8 a 9), significativo (6 a 7) y poco significativo (menor a 5).

Estos intervalos corresponden a los propuestos originalmente en el estudio "Habilitación Red de Ciclovías, Quillota" (Sectra, 1997), modificados posteriormente durante el desarrollo del estudio "Construcción Red de Ciclovías Copiapó" (Sectra, 2010). El valor a asignar queda a discrecionalidad del formulador aplicando juicio experto, el cual debe ser validado oportunamente por la contraparte técnica del estudio. Cabe señalar que dado que este corresponde a un ejercicio de selección, y por lo tanto de discriminación, lo relevante es que se aplique el mismo criterio sobre todos los ejes que componen la red.

En el siguiente cuadro, se muestra la ficha de evaluación ambiental a utilizar.

Cuadro N° 6: Ficha de Evaluación Ambiental para Ciclo-rutas y ejemplo de aplicación

N°	Posible Impacto	SI	NO	Valor	Categoría
1	¿El proyecto afectaría directamente la estabilidad de taludes?		X		
2	¿Podrían otras condiciones afectar la estabilidad de taludes?		X		
3	¿Se producirá destrucción directa de suelos por movimiento de tierras?		X		
4	¿Se producirá deterioro del suelo debido a movimientos de maquinaria pesada y creación de nuevas pistas?		X		
5	¿Existe riesgo de destrucción directa de suelos por actividades de hormigonado - asfaltado?	X		2	Poco Significativo
6	¿Se producirá aumento en la erosión debido a aguas provenientes de drenajes?		X		
7	¿Se producirán alteraciones a masas de agua superficial debido a movimientos de tierra?		X		
8	¿Se producirán alteraciones en las aguas debido a impermeabilización de superficies?		X		
9	¿Se producirán alteraciones en los sistemas de drenaje superficial ?	X		6	Significativo
10	¿Se producirán desvíos de cauces superficiales de uso consuntivo ?		X		
11	¿Se causaría una disminución de la tasa de recarga de acuíferos por desvío de cauces o impermeabilización de superficies?		X		
12	¿Se producirán aumentos en la emisión de partículas debido a erosión eólica por denudación de taludes y terraplenes?		X		
13	¿Se pondría en peligro la existencia de algunas formaciones vegetacionales?	X		3	Poco Significativo
14	¿El proyecto facilitará el acceso a formaciones vegetacionales ubicadas en áreas protegidas?		X		
15	¿Se producirá desfiguración del paisaje producto de terraplenes, cortes profundos o explotación de canteras?		X		
16	¿Se producirán cambios en la armonía cromática entre la vía y su entorno?	X		8	Medianamente significativo
17	¿Se producirán cambios en la estructura paisajística debido a alteraciones en la vegetación?	X		1	Poco Significativo
18	¿Existen grupos de alto riesgo social afectados por el proyecto?		X	4	Poco Significativo
19	¿Será necesario efectuar expropiación de terrenos?		x	7	Significativo
20	¿Se producirían efectos sobre el patrimonio histórico y cultural de la zona de proyecto?	x			
TOTAL				31	

Fuente: Elaboración propia en base a estudio Construcción Red de Ciclovías, Copiapó”, MIDEPLAN – SECTRA, 2009

4.1.5.2 Criterios Ambientales de Selección de Ejes

Luego, para calificar ambientalmente cada eje, se debe sumar el valor de todas las respuestas afirmativas. De acuerdo a los resultados arrojados por la aplicación de la ficha de evaluación ambiental, se debe aplicar la siguiente tabla:

Cuadro N° 7: Tabla de Calificación Ambiental de Ejes

Rangos	Compromiso Ambiental
0 - 50	Alto
51 - 100	Medio
101 - 200	Bajo

FUENTE: Construcción Red de Ciclovías, Copiapó", MIDEPLAN –SECTRA, 2009

De esta forma quedan definidas tres categorías de ejes, desde el punto de vista del compromiso ambiental involucrado: Alto, Medio y Bajo. El compromiso ambiental debe ser entendido como el inverso del grado de impacto que tendrá la ejecución de la ciclovía en el eje respectivo, es decir, una ciclovía que produzca un alto impacto significa un bajo compromiso ambiental.

Así, para un eje con compromiso ambiental bajo se deberá invertir altas sumas de dinero para mitigar o compensar los impactos identificados, pudiendo incluso quedar algunos problemas sin resolver. Por lo tanto, no se recomienda considerar como factibles a ejes con compromiso ambiental bajo..

Los ejes con compromiso ambiental medio implican la implementación de un grupo de medidas de mitigación para poder realizar el proyecto. No se deben descartar en una primera instancia, pero es recomendable seleccionar las alternativas con costos menores de mitigación.

Los ejes de alto compromiso ambiental son aquéllos que con la implementación de sólo medidas de mitigación menores y de bajo costo se podrían evitar impactos ambientales. Estos son los más recomendables desde el punto de vista ambiental.

4.2 Matriz de Atributos

La matriz de atributos para la elección de ejes considera los 5 análisis efectuados a cada uno de los ejes. El objetivo es obtener un puntaje ponderado, basado en los distintos valores obtenidos para cada atributo. El puntaje se calcula por medio de una suma ponderada entre el valor del atributo y un factor de peso relativo.

Con respecto al valor de los atributos, éste está dado por "Alto", "Medio" y "Bajo". El factor de peso relativo se presenta en el Cuadro N° 9.

Cuadro N° 8: Valor de los Atributos

Clasificación	Factibilidad Física de Construcción	Nivel de Flujo de Bicicletas	Riesgo de Accidentes	Nivel de Interferencia	Análisis de Aspectos Ambientales
Alto	3	3	3	3	3
Medio	2	2	2	2	2
Bajo	1	1	1	1	1

FUENTE: Construcción Red de Ciclovías, Copiapó”, MIDEPLAN –SECTRA, 2009

Cuadro N° 9: Factor de “Peso” Relativo de los Atributos

Atributos	Factor
Factibilidad Física de Construcción	2
Nivel de Flujo de Bicicletas	3
Riesgo de Accidentes	1
Nivel de Interferencia	1
Análisis de Aspectos Ambientales	1

FUENTE: “Habilitación Red Ciclovías, Quillota”, MIDEPLAN –SECTRA, 1997

Utilizando la información de los Cuadros N°8 y 9, la matriz de atributos se construye de la siguiente forma:

Cuadro N° 10: Ejemplo de Aplicación Matriz de Atributos

Atributos	Ejes			
	Eje_1	Eje_2	.....	Eje_N
Factibilidad Física de Construcción	Medio	Alto	.....	Alto
Nivel de Flujo de Bicicletas	Alto	Bajo	.....	Medio
Riesgo de Accidentes	Medio	Medio	.....	Alto
Nivel de Interferencia	Bajo	Alto	.....	Medio
Análisis de Aspectos Ambientales	Bajo	Bajo	.....	Alto
Puntaje Ponderado	18	16		21

FUENTE: Construcción Red de Ciclovías, Copiapó”, MIDEPLAN –SECTRA, 2009

4.3 Propuesta de Plan Maestro de Ciclo-rutas

Mediante la aplicación de la matriz de atributos a cada uno de los tramos de los ejes que conforman la **Propuesta Inicial de Red**, se le asigna a cada uno de ellos un puntaje. Los valores de los tramos que conforman un eje se ponderan en función de su longitud, obteniendo un puntaje ponderado para cada eje analizado; este valor permite definir una relación entre ellos.

La **Propuesta de Plan Maestro de Ciclo-rutas** corresponde al conjunto de ejes de la **Propuesta Inicial de Red** que presentan los mayores puntajes ponderados. Los ejes elegidos para conformar la **Propuesta de Plan Maestro de Ciclo-rutas** deben constituir, en lo posible, una red conexas y continua que permita acoger una parte importante de los desplazamientos que se realizan en la zona estudiada. En el caso que este objetivo no se cumpliera a cabalidad por la selección, se deberían implementar medidas de gestión que ayuden a su cumplimiento.

5. ESTUDIO DE DEMANDA

El estudio de demanda de un proyecto de habilitación de ciclo-rutas tiene por objetivo determinar los flujos de bicicletas en las situaciones actual, base y con proyecto. Para ello se deben desarrollar una serie de actividades tales como la definición del área de influencia, la zonificación, la identificación de los cortes temporales y la periodización. También se deben realizar estudios de tránsito y obtener información relativa a los orígenes y destinos de los viajes y partición modal de éstos.

La metodología para la obtención de la información relativa a la distribución y partición modal de los viajes dependerá de si la ciudad donde se emplaza el proyecto de habilitación de ciclo-rutas cuenta o no con un estudio estratégico del Sistema de Transporte Urbano (STU). En el caso de ciudades de Tamaño Medio y Grande, la matriz de viajes a pie y la partición modal provendrán del estudio estratégico. Para ciudades de Tamaño Menor, esta información se obtendrá de forma simplificada. Es decir, se utilizará un valor único o global, tanto de la tasa de generación de viajes como de la partición modal, los cuales se obtienen del promedio de ciudades de tamaños similares (ver sección 5.3.2).

5.1 Definiciones Básicas

Para estimar la demanda se requiere establecer algunas definiciones como: área de influencia, zonificación, cortes temporales y periodización, para lo cual se debe utilizar la metodología establecida en el "*Manual de Diseño y Evaluación Social de Proyectos de Vialidad Urbana*" (MESPIVU) (www.sectra.cl).

Respecto del área de influencia es importante reconocer que es difícil establecer a priori cuál es el área donde se van a sentir los impactos más significativos de un determinado proyecto. Como criterio general, se definirá, como área de influencia directa de cada uno de los ejes que conforman la red de ciclo-rutas, una faja de 600 metros máximo a cada lado de éstos⁵. La intersección de estas fajas genera una buffer⁶.

En relación a los cortes temporales, la presente metodología propone considerar 2 cortes temporales: el primer año de operación del proyecto y un segundo corte⁷ 10 años después o bien el año anterior a la saturación de la situación base⁸.

Para la periodización se propone realizar los análisis para los períodos punta mañana y fuera de punta, que son los tradicionalmente utilizados en los modelos estratégicos. Sin embargo, si se dispone de información para otros períodos, como punta mediodía y/o punta tarde, se considera conveniente incorporarlos, permitiendo así precisar la estimación de la demanda y de los beneficios asociados a la red de ciclo-rutas.

⁵ Una faja de 600 metros es equivalente al área de influencia definida, por ejemplo, para proyectos de metro.

⁶ Una **buffer** en un Sistema de Información Geográfico es una zona en torno a un mapa característico medido en unidades de tiempo o distancia.

⁷ En el caso de los beneficios de los modos no motorizados, considerando un criterio conservador, el segundo corte se ha definido al año 5. A partir de este año, los beneficios de los modos no motorizados se consideran constantes.

⁸ En el caso de que se cuente con información del año de saturación en el área de estudio proveniente de estudios de prefactibilidad o ingeniería de detalle en desarrollo o terminados.

5.2 Mediciones de Tránsito

En esta etapa se plantea un nuevo plan de mediciones específicas para la determinación de la demanda asociada a la **Propuesta de Plan Maestro**, que corresponden a mediciones de flujos periódicas, tasas de ocupación para los modos motorizados y velocidad de operación de los vehículos livianos. La metodología de medición a ser utilizada es aquella definida en el MESPIVU.

- **Mediciones de Flujos Periódicas:** Se debe medir flujos periódicos en los ejes que conforman la **Propuesta de Plan Maestro**, complementando las realizadas en la etapa de Diagnóstico. Las categorías básicas de los vehículos a considerar son aquellas definidas en el MESPIVU.
- **Tasas de Ocupación:** Estas mediciones se deben realizar en distintos puntos sobre los ejes que conforman la **Propuesta de Plan Maestro**. Dado que la información de éstas sólo se usará para la estimación de los beneficios, se requiere medir únicamente en los modos motorizados considerados, que son: vehículos livianos, taxis colectivos, taxibuses y buses.
- **Mediciones de Velocidad:** Las mediciones de velocidad de operación deben realizarse sobre los ejes que conforman la **Propuesta de Plan Maestro**.

5.3 Estimación de la Demanda: Situación Actual, Base y Proyecto

La demanda de la situación actual se estima con las mediciones de flujos periódicas (ver punto 5.2 del presente documento).

La demanda de la situación base corresponderá a la demanda de la situación actual o a la proyección de ésta al primer año de operación del proyecto.

La demanda de la situación con proyecto se divide en **demanda actual** y en **demanda por transferencia modal**. La demanda actual corresponde a la demanda de la situación base. Para la estimación de la demanda por transferencia modal se debe distinguir entre ciudades que cuentan con un estudio estratégico del STU y aquellas que no. Sin importar el tamaño de la ciudad, la demanda por transferencia modal siempre debe ser considerada.

El tratamiento de la estimación de la demanda es distinto entre ciudades de Tamaño Medio y Grandes y ciudades de tamaño pequeño, debido a la cantidad y nivel de información que se cuenta para cada una de éstas. Las ciudades de Tamaño Medio y Grande se entenderán como aquellas ciudades con población sobre los 70.000 habitantes, las cuales coincidentemente poseen estudios estratégicos.

5.3.1 Ciudades de Tamaño Medio y Grande

La demanda por transferencia modal corresponde a una proporción de los viajes del modo caminata que se transferiría a la bicicleta.

Para efectos de estimar esta demanda, se considera la utilización de un valor fijo de 4.7% sobre el total de viajes diarios en caminata, extraído del estudio "*Construcción Red de Ciclovías, Copiapó*" (MIDEPLAN – SECTRA, 2009). La aplicación de este factor incorpora correcciones con el fin de excluir los siguientes tipos de viajes dentro del universo de viajes en caminata: viajes no basados en el hogar, viajes de personas

menores a 14 años y viajes intrazonales⁹.

$$\text{Demanda por Transferencia Modal} = \text{Viajes en Caminata} * 0.047$$

Si bien existe evidencia de transferencia desde el modo taxi-bus a la bicicleta, se ha decidido, en un enfoque conservador, considerar sólo la transferencia de caminata. Será desafío de futuros desarrollo establecer una tasa de transferencia desde otros modos, junto con una valoración adecuada de este efecto.

Los viajes en modo caminata deben ser extraídos del STU de la ciudad. La demanda por transferencia modal será estimada sobre los viajes cuyo par origen – destino se encuentre dentro del área de influencia del proyecto, que corresponde a la buffer que se genera sobre la red de ciclo-rutas. Esta buffer se dibuja sobre el plano de la zonificación, de modo de identificar cuáles son las zonas que están contenidas dentro de la buffer. Una vez identificadas las zonas, se utiliza la matriz de viajes en caminata y se seleccionan los pares origen – destino correspondientes. La demanda por transferencia modal será entonces una submatriz de viajes en caminata, asociada al área de influencia, multiplicada por el porcentaje de transferencia modal.

Respecto de las velocidades de caminata y bicicleta, se propone utilizar los valores empleados en el STU vigente, a menos que se disponga de información más actualizada de algún otro estudio.

5.3.2 Ciudades Menores

En ciudades de menor tamaño, la información disponible es más escasa y, por lo tanto, se requiere hacer algunas simplificaciones para poder obtener una matriz de demanda de transferencia modal.

Para obtener la demanda por transferencia modal, primero se debe determinar la cantidad de hogares en el área de influencia, para lo cual se utiliza la información del Censo de Población más reciente. Luego, para transformar la cantidad de hogares a número de viajes, se debe utilizar una tasa fija de generación de **8.35 viajes por día**¹⁰.

$$N^{\circ} \text{ Viajes}_t = N^{\circ} \text{ de Hogares} * 8.35$$

Donde:

$N^{\circ} \text{ Viajes}_t$: Número de viajes totales día del área de influencia¹¹.

⁹ Los viajes no basados en el hogar se excluyen, de un modo conservador, con el fin de asegurar la disponibilidad de la bicicleta para realizar el viaje. Los viajes de menores de 14 años se excluyen puesto que se asume que la elección modal recae en otras personas. Finalmente, los viajes intrazonales se excluyen puesto que, para distancias muy cortas, el uso de la bicicleta no es más atractivo que la caminata.

¹⁰ Este valor fue obtenido como un promedio del análisis de las ciudades pequeñas de Angol 2004, Linares 2002 y San Antonio 2007.

¹¹ Ver tratamiento del área de influencia en la sección 5.3.1.

Nº de Hogares : Número de hogares en el área de influencia del Censo de Población.

Para estimar el número de viajes en caminata se deben multiplicar los viajes totales por la partición modal, utilizando una tasa fija que representa una partición modal de la caminata equivalente a un **51.39%**¹².

$$\text{Viajes en Caminata} = \text{Viajes Totales} * \text{Partición Modal Caminata}$$

Así la Demanda por Transferencia Modal queda expresada como:

$$\text{Demanda por Transferencia Modal} = \text{Viajes en Caminata} * 0.047 = \text{Viajes Totales} * 0.5139 * 0.047$$

Considerando que en general no se dispone de una matriz de distancias mínimas entre las zonas consideradas (zonas censales, en este caso), se deberá estimar un valor de distancia media de viaje para el área de influencia (ver sección 6.3.2).

Respecto de las velocidades de caminata y bicicleta, se propone utilizar los valores generalmente empleados en los STU, que son 5 [km/hr] y 10 [km/hr], respectivamente a menos que se disponga de información más actualizada de algún otro estudio.

¹² Este valor fue obtenido como un promedio del análisis de las ciudades pequeñas de Angol 2004, Linares 2002 y San Antonio 2007.

6. EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA RED

La evaluación preliminar de la red de ciclo-rutas es una etapa de apoyo a la definición del Plan Maestro, dado que la evaluación social de los ejes que conforman la **Propuesta de Plan Maestro de Ciclo-rutas** permite una retro-alimentación con los resultados obtenidos de la aplicación de la matriz de atributos.

Los beneficios del proyecto provienen de los ahorros de consumo de recursos de todos los modos, motorizados y no motorizados, involucrados con un proyecto de habilitación de una red de ciclo-rutas.

Los beneficios generados por los modos motorizados provienen de los ahorros de tiempo y combustible que se producen por el aumento de la velocidad de circulación, al segregar los flujos vehiculares respecto de los flujos de ciclistas.

El estudio "*Construcción Red de Ciclovías, Copiapó*" (MIDEPLAN-SECTRA, 2009) determinó, para diferentes tipos de vías, en términos de composición y niveles de flujo, el efecto de la fricción¹³ que se genera entre los ciclistas y los vehículos motorizados en las diferentes vías de circulación. Estos efectos fueron obtenidos del análisis realizado con el modelo de microsimulación Aimsun NG¹⁴. A continuación se presenta una serie de tablas que contienen las razones de velocidad ΔV entre vías con presencia de bicicletas (situación base) y sin la presencia de bicicletas (situación con proyecto). Dado que las velocidades de los vehículos livianos en vías sin presencia de bicicletas son siempre mayores o iguales a las velocidades en vías con presencia de bicicletas, este factor ΔV , es siempre menor o igual a 1¹⁵.

Para estimar los beneficios por reducción de tiempos de viaje, es necesario determinar las nuevas velocidades en vías que se benefician por la construcción de una red de ciclo-rutas. Las velocidades sin interferencias (situación con proyecto) se estiman dividiendo las velocidades medidas en terreno (y que representan la velocidad de la situación base) V_i , por ΔV ; de esta forma la nueva velocidad (representando la situación con proyecto) será de $\frac{V_i}{\Delta V}$.

En el caso de los modos no motorizados, los beneficios se asocian a la demanda por transferencia modal del proyecto que se atribuye a la disminución de los tiempos de viaje de aquellos usuarios que se cambian del modo caminata al modo bicicleta. En forma conservadora, la transferencia modal sólo se considera desde el modo caminata al modo bicicleta, despreciando las posibles transferencias desde modos motorizados.

¹³ Esta situación es fácil notarla en terreno, las bicicletas al circular por las vías de tránsito vehicular, generan disminuciones de velocidad a los vehículos motorizados adyacentes a ellas, teniendo una incidencia directa en el tiempo de viaje y en el consumo de combustible de los vehículos motorizados.

¹⁴ En el estudio señalado se analizaron los siguientes escenarios: Calle céntrica de una y dos pistas, calle no céntrica de 2 pistas. El caso para una calle no céntrica de una pista fue abordado metodológicamente aplicando a las velocidades obtenidas para el caso calle no céntrica de dos pistas un factor que recoge el efecto de disminución de capacidad desde 2 a 1 pista de circulación, obtenido a partir de la calibración de curvas flujo-demora para calles locales con tal número de pistas, para una ciudad intermedia típica.

¹⁵ La presente metodología no contempla la materialización de ciclorrutas que disminuyan el ancho de la calzada actual a menos de 3-3.5 m por pista, en el caso de ocurrir esta situación se sugiere a modo de simplificación utilizar la razón inversa de velocidad según los escenarios planteados en el punto 6.1

A continuación se presenta la estimación de consumos para modos motorizados y no motorizados.

6.1 Estimación de las Variaciones de Velocidad en Vías para Modos Motorizados

Cada uno de los arcos de los ejes que conforman la **Propuesta de Plan Maestro** se debe clasificar según nivel y composición de flujo. También se debe considerar la ubicación espacial de la vía: calle Tipo Céntrica 1 pista, calle Tipo Céntrica 2 pistas y calle No Céntrica 2 pistas.

Para cada uno de los tipos de vías se han creado tablas, con diversos escenarios de nivel y composición de flujo:

- Cantidad de Bicicletas (bic/hr): nulo (0), bajo (1-30), medio (30-70) y alto (mayor a 70).
- Cantidad de Buses (veh/hora): sin (0), bajo (1-50), medio (51-140) y alto (mayor a 140).
- Cantidad de Vehículos Livianos (veq/hora): 50-100-200-300-400-500-600. Aquí se incluyen los taxis colectivos y camiones, que se corrigen por el factor de equivalencia correspondiente definido en el MESPIVU.

A continuación se presentan las tablas con las razones de velocidad ΔV entre vías con presencia de bicicletas (situación base) y sin la presencia de bicicletas (situación con proyecto), para los escenarios antes señalados.

6.1.1 Calle Céntrica de Una Pista

Este caso sirve para vías unidireccionales (de 1 pista) o bidireccionales (de 1 pista por sentido). Esta configuración de vías es habitual en las áreas céntricas en las cuales muchas veces la calzada está conformada por dos pistas, pero sólo se puede transitar por una debido a que la otra está siendo ocupada para estacionar. Cabe señalar que el rango de flujos livianos sólo llega hasta 400 veq/hr¹⁶, porque para flujos superiores la capacidad de la pista habitualmente se satura en los casos con una mayor demanda de transporte público.

Los vehículos equivalentes consideran vehículos livianos, camiones y taxis colectivos aplicando el factor de equivalencia respectivo definido en el MESPIVU.

¹⁶ A modo conservador se estima que para flujos de vehículos mayores a 400 (veq/hr) las razones de variación de velocidad no experimentarían modificaciones.

Cuadro N° 11: Razones de Variación de Velocidad en Vías sin Transporte Público

Vehículos (veq./hr.)	Razón de Velocidad ΔV		
	Bajo en Bicicletas	Medio en Bicicletas	Alto en Bicicletas
50	1.00	0.98	0.86
100	1.00	0.98	0.86
200	1.00	0.98	0.86
300	1.00	0.98	0.85
400 o más	1.00	0.97	0.83

FUENTE: Construcción Red de Ciclovías, Copiapó", MIDEPLAN –SECTRA, 2009

Cuadro N° 12: Razones de Variación de Velocidad en Vías con Transporte Público Bajo

Vehículos (veq./hr.)	Razón de Velocidad ΔV		
	Bajo en Bicicletas	Medio en Bicicletas	Alto en Bicicletas
50	1.00	0.97	0.86
100	1.00	0.97	0.86
200	1.00	0.97	0.86
300	1.00	0.97	0.84
400 o más	1.00	0.97	0.79

FUENTE: Construcción Red de Ciclovías, Copiapó", MIDEPLAN –SECTRA, 2009

Cuadro N° 13: Razones de Variación de Velocidad en Vías con Transporte Público Medio

Vehículos (veq./hr.)	Razón de Velocidad ΔV		
	Bajo en Bicicletas	Medio en Bicicletas	Alto en Bicicletas
50	1.00	0.97	0.86
100	1.00	0.97	0.86
200	1.00	0.97	0.85
300	1.00	0.97	0.81
400 o más	1.00	0.95	0.76

FUENTE: Construcción Red de Ciclovías, Copiapó", MIDEPLAN –SECTRA, 2009

Cuadro N° 14: Razones de Variación de Velocidad en Vías con Transporte Público Alto

Vehículos (veq./hr.)	Razón de Velocidad ΔV		
	Bajo en Bicicletas	Medio en Bicicletas	Alto en Bicicletas
50	1.00	0.97	0.86
100	1.00	0.96	0.83
200	1.00	0.93	0.77
300	1.00	0.90	0.72
400 o más	1.00	0.88	0.66

FUENTE: Construcción Red de Ciclovías, Copiapó", MIDEPLAN –SECTRA, 2009

6.1.2 Calle Céntrica de Dos o Más Pistas

Esta configuración es habitual detectarla en zonas céntricas, en las cuales la calzada está conformada por dos pistas de circulación. Este tipo de vía está asociado a vías de dos o más pistas de circulación con una distancia que no supera los 150 metros entre intersecciones semaforizadas¹⁷.

Los vehículos equivalentes consideran vehículos livianos, camiones y taxis colectivos aplicando el factor de equivalencia respectivo definido en el MESPIVU.

Las razones de velocidad son válidas para vías unidireccionales y bidireccionales de dos o más pistas por sentido. Cabe señalar que el rango de flujos livianos sólo llega

¹⁷ Distancias distintas a la señalada no constituirían un impedimento para la aplicación de este escenario a calles céntricas de dos pistas o más pistas.

hasta 600 veq/hr¹⁸, porque para flujos superiores la capacidad de las pistas habitualmente se satura en los casos con una mayor demanda de transporte público.

Cuadro N° 15: Razones de Variación de Velocidad en Vías sin Transporte Público

Vehículos (veq./hr.)	Razón de Velocidad ΔV		
	Bajo en Bicicletas	Medio en Bicicletas	Alto en Bicicletas
50	1.00	0.99	0.99
100	1.00	0.99	0.99
200	0.99	0.98	0.98
300	0.99	0.97	0.96
400	0.98	0.96	0.94
500	0.97	0.95	0.92
600 o más	0.96	0.93	0.89

FUENTE: Construcción Red de Ciclovías, Copiapó", MIDEPLAN –SECTRA, 2009

Cuadro N° 16: Razones de Variación de Velocidad en Vías con Transporte Público Bajo

Vehículos (veq./hr.)	Razón de Velocidad ΔV		
	Bajo en Bicicletas	Medio en Bicicletas	Alto en Bicicletas
50	1.00	0.96	0.95
100	0.99	0.96	0.95
200	0.98	0.96	0.95
300	0.97	0.96	0.94
400	0.97	0.95	0.93
500	0.96	0.93	0.90
600 o más	0.96	0.91	0.87

FUENTE: Construcción Red de Ciclovías, Copiapó", MIDEPLAN –SECTRA, 2009

¹⁸ A modo conservador se estima que para flujos de vehículos mayores a 600 (veq/hr) las razones de variación de velocidad no experimentarían modificaciones.

Cuadro N° 17: Razones de Variación de Velocidad en Vías con Transporte Público Medio

Vehículos (veq./hr.)	Razón de Velocidad ΔV		
	Bajo en Bicicletas	Medio en Bicicletas	Alto en Bicicletas
50	1.00	0.96	0.94
100	0.99	0.96	0.93
200	0.98	0.96	0.92
300	0.97	0.93	0.90
400	0.97	0.91	0.87
500	0.96	0.90	0.84
600 o más	0.95	0.88	0.81

FUENTE: Construcción Red de Ciclovías, Copiapó”, MIDEPLAN –SECTRA, 2009

Cuadro N° 18: Razones de Variación de Velocidad en Vías con Transporte Público Alto

Vehículos (veq./hr.)	Razón de Velocidad ΔV		
	Bajo en Bicicletas	Medio en Bicicletas	Alto en Bicicletas
50	1.00	0.94	0.89
100	0.99	0.93	0.88
200	0.97	0.91	0.85
300	0.96	0.88	0.81
400	0.94	0.84	0.77
500	0.93	0.81	0.73
600 o más	0.91	0.77	0.68

FUENTE: Construcción Red de Ciclovías, Copiapó”, MIDEPLAN –SECTRA, 2009

6.1.3 Calle No Céntrica de una pista

Esta configuración de vías es habitual encontrarla en zonas alejadas del centro de la ciudad, en vías bidireccionales de una pista por sentido de circulación. Este tipo de vía está asociado a vías de una pista por sentido de circulación con una distancia que no supera los 450 metros entre intersecciones semaforizadas.

Los vehículos equivalentes consideran vehículos livianos, camiones y taxis colectivos aplicando el factor de equivalencia respectivo definido en el MESPIVU.

Estas razones de velocidad, al igual que en el caso anterior, son válidas para vías unidireccionales y bidireccionales con una pista por sentido. Cabe señalar que el rango de flujos livianos sólo llega hasta 400 veq/h¹⁹, porque para flujos superiores la capacidad de las pistas habitualmente se satura en los casos con una mayor demanda de transporte público.

Cuadro N° 19: Razones de Variación de Velocidad en Vías sin Transporte Público

Vehículos (veq./hr.)	Razón de Velocidad ΔV		
	Bajo en Bicicletas	Medio en Bicicletas	Alto en Bicicletas
50	1,00	0,99	0,98
100	1,00	0,98	0,96
200	0,99	0,96	0,93
300	0,97	0,94	0,90
400 o más	0,97	0,93	0,90

FUENTE: Elaboración propia, SECTRA.

Cuadro N° 20: Razones de Variación de Velocidad en Vías con Transporte Público Bajo

Vehículos (veq./hr.)	Razón de Velocidad ΔV		
	Bajo en Bicicletas	Medio en Bicicletas	Alto en Bicicletas
50	0,97	0,94	0,92
100	0,97	0,94	0,91
200	0,97	0,94	0,90
300	0,97	0,94	0,89
400 o más	0,97	0,94	0,89

FUENTE: Elaboración propia, SECTRA.

¹⁹ A modo conservador se estima que para flujos de vehículos mayores a 400 (veq/hr) las razones de variación de velocidad no experimentarían modificaciones.

Cuadro N° 21: Razones de Variación de Velocidad en Vías con Transporte Público Medio

Vehículos (veq./hr.)	Razón de Velocidad ΔV		
	Bajo en Bicicletas	Medio en Bicicletas	Alto en Bicicletas
50	0,97	0,94	0,91
100	0,97	0,94	0,91
200	0,97	0,94	0,90
300	0,97	0,93	0,89
400 o más	0,97	0,93	0,89

FUENTE: Elaboración propia, SECTRA.

Cuadro N° 22: Razones de Variación de Velocidad en Vías con Transporte Público Alto

Vehículos (veq./hr.)	Razón de Velocidad ΔV		
	Bajo en Bicicletas	Medio en Bicicletas	Alto en Bicicletas
50	0,96	0,94	0,91
100	0,96	0,94	0,91
200	0,96	0,94	0,90
300	0,96	0,94	0,89
400 o más	0,96	0,93	0,89

FUENTE: Elaboración propia, SECTRA.

6.1.4 Calle No Céntrica de Dos o Más Pistas

Esta configuración de vías es habitual encontrarla en zonas alejadas del centro de la ciudad, en las cuales la calzada está conformada por dos pistas de circulación. Este tipo de vía está asociado a vías de dos o más pistas de circulación con una distancia que no supera los 450 metros entre intersecciones semaforizadas²⁰.

Los vehículos equivalentes consideran vehículos livianos, camiones y taxis colectivos aplicando el factor de equivalencia respectivo definido en el MESPIVU.

Estas razones de velocidad, al igual que en el caso anterior, son válidas para vías unidireccionales y bidireccionales de dos o más pistas por sentido. Cabe señalar que el

²⁰ Distancias distintas a la señalada no constituirían un impedimento para la aplicación de este escenario a calles no céntricas de dos pistas o más pistas.

rango de flujos livianos sólo llega hasta 600 veq/hr²¹, porque para flujos superiores la capacidad de las pistas habitualmente se satura en los casos con una mayor demanda de transporte público.

Cuadro N° 23: Razones de Variación de Velocidad en Vías sin Transporte Público

Vehículos (veq./hr.)	Razón de Velocidad ΔV		
	Bajo en Bicicletas	Medio en Bicicletas	Alto en Bicicletas
50	1.00	0.99	0.98
100	1.00	0.98	0.96
200	0.99	0.96	0.93
300	0.98	0.95	0.92
400	0.98	0.95	0.91
500	0.98	0.95	0.91
600 o más	0.98	0.95	0.91

FUENTE: Construcción Red de Ciclovías, Copiapó”, MIDEPLAN –SECTRA, 2009

Cuadro N° 24: Razones de Variación de Velocidad en Vías con Transporte Público Bajo

Vehículos (veq./hr.)	Razón de Velocidad ΔV		
	Bajo en Bicicletas	Medio en Bicicletas	Alto en Bicicletas
50	0.98	0.95	0.92
100	0.98	0.95	0.91
200	0.98	0.95	0.91
300	0.98	0.95	0.91
400	0.98	0.95	0.91
500	0.98	0.95	0.91
600 o más	0.98	0.95	0.91

FUENTE: Construcción Red de Ciclovías, Copiapó”, MIDEPLAN –SECTRA, 2009

²¹ A modo conservador se estima que para flujos de vehículos mayores a 600 (veq/hr) las razones de variación de velocidad no experimentarían modificaciones.

Cuadro N° 25: Razones de Variación de Velocidad en Vías con Transporte Público Medio

Vehículos (veq./hr.)	Razón de Velocidad ΔV		
	Bajo en Bicicletas	Medio en Bicicletas	Alto en Bicicletas
50	0.98	0.95	0.92
100	0.98	0.95	0.91
200	0.98	0.95	0.91
300	0.98	0.94	0.91
400	0.98	0.94	0.91
500	0.98	0.94	0.91
600 o más	0.98	0.94	0.91

FUENTE: Construcción Red de Ciclovías, Copiapó”, MIDEPLAN –SECTRA, 2009

Cuadro N° 26: Razones de Variación de Velocidad en Vías con Transporte Público Alto

Vehículos (veq./hr.)	Razón de Velocidad ΔV		
	Bajo en Bicicletas	Medio en Bicicletas	Alto en Bicicletas
50	0.98	0.95	0.92
100	0.98	0.95	0.91
200	0.98	0.95	0.91
300	0.98	0.94	0.91
400	0.98	0.94	0.91
500	0.98	0.94	0.91
600 o más	0.98	0.94	0.91

FUENTE: Construcción Red de Ciclovías, Copiapó”, MIDEPLAN –SECTRA, 2009

6.2 Estimación de Consumos de Tiempo y Combustible de los Modos Motorizados

Los consumos de los modos motorizados en la red de modelación estimados para las situaciones base y con proyecto corresponden a aquéllos asociados al consumo “en movimiento” del tiempo y combustible²². En efecto, la simulación de la interferencia

²² Los consumos por otros costos de operación no están asociados a proyectos de ciclo-rutas, por lo cual no se

por interacción de tránsito mixto (bicicletas y vehículos motorizados), mediante su efecto en la velocidad de circulación, está centrada en la operación de los arcos de la red.

La estimación del consumo para los distintos tipos de vehículos, tanto en las situaciones base como con proyecto, se realiza de acuerdo a los procedimientos descritos en el MESPIVU, requiriéndose flujos vehiculares por tipo de vehículo, velocidades de circulación y tasas de ocupación; esta información proviene de los estudios de tránsito existentes. La diferencia entre ambas situaciones básicamente es la velocidad de circulación en cada arco, siendo para la situación con proyecto la velocidad de terreno dividida por la razón de velocidad ($\frac{V_t}{\Delta V}$).

6.3 Estimación de Consumo de Tiempo de los Modos No Motorizados

Para estimar los consumos de la **demanda por transferencia modal** de los modos no motorizados, se deben calcular los consumos de tiempo en caminata y bicicleta con la matriz de distancias mínimas entre pares origen – destino y las velocidades de caminata y bicicleta.

Cabe señalar que esta metodología asume que todos los usuarios que se cambian de modo poseen bicicleta en su hogar. Si bien esto puede implicar una limitación ésta es poco significativa debido principalmente al bajo costo de adquisición y al hecho de que se asume un traspaso progresivo en el tiempo, dentro de un segmento acotado de la población

6.3.1 Ciudades de Tamaño Medio y Grande

En el caso de las ciudades las que cuentan con un modelo estratégico calibrado, la información provendrá de los modelos ahí estimados:

- Velocidad de caminata (definida en el modelo estratégico)
- Velocidad de bicicleta (definida en el modelo estratégico o información referencial sección 5.3.2)
- Viajes en modo caminata de los pares origen – destino que sirven la área de influencia definida
- Viajes en modo bicicleta de los pares origen – destino que sirven la área de influencia definida
- Distancias mínimas por red entre los pares origen – destino que sirven el área de influencia definida.

Para la situación con proyecto, los consumos de los modos no motorizados se estiman considerando la transferencia modal de los caminantes hacia la bicicleta (**demanda por transferencia modal**), utilizando la misma matriz de distancias entre pares origen – destino de la situación base²³ y las velocidades de caminata y bicicleta.

consideran.

²³ En el desarrollo del estudio “Construcción Red de Ciclovías, Copiapó” MIDEPLAN-SECTRA, 2009, se hizo el supuesto que la distribución de los viajes no se altera.

6.3.2 Ciudades Menores

Para las ciudades de tamaño menor o sin antecedentes derivados de un STU, se estimarán de forma simplificada los consumos de la demanda por transferencia modal (reducción de tiempos de viaje al cambiar del modo caminata al modo bicicleta).

Una vez estimada la demanda por transferencia modal, ver sección 5.3.2, se estimará la distancia media de viaje global²⁴.

$$\overline{\text{dist}} = \text{distancia promedio} = \frac{\sum_{i \in A_n} p_i \left(\sum_{j \in A_n} d_{ij} / n - 1 \right)}{P_t}$$

Donde:

d_{ij} : Distancia entre la zona i y j

A_n : Zonas del área de influencia (1... i ... j ... n)

P_t : Población total del área de influencia

p_i : Población de la zona i

n : Número total de zonas del área de influencia

La distancia promedio dividida por la velocidad del modo caminata o modo bicicleta y a su vez multiplicada por la demanda por transferencia modal corresponde a los consumos de la situación base o situación con proyecto, respectivamente. En la siguiente expresión se representa el cálculo de los consumos:

$$\text{Consumo}_j = \text{Demanda Inducida} * \left[\frac{\overline{\text{dist}}}{V_j} \right]$$

Donde:

V_j : Velocidad del modo j

6.4 Estimación de Beneficios

Para estimar los beneficios totales se deben calcular por separado los beneficios atribuibles a los modos no motorizados y motorizados, es decir, asociados a la demanda por transferencia modal y a la demanda actual, respectivamente.

6.4.1 Modos No Motorizados

En el caso de los modos no motorizados se deben estimar los beneficios, resultantes de la diferencia de consumos entre la situación base y situación con proyecto (ver secciones 6.2 y 6.3), para dos cortes temporales, el año 1 y el año 5. Para el año 1, la metodología propone un beneficio equivalente a la quinta parte de los beneficios

²⁴ A modo de ejemplo se presentan valores de distancia promedio para viajes en caminata: San Antonio: 1.483 m; Linares: 1.863 m; Angol 1.941 m

totales calculados. Este supuesto se debe a que, una vez puesto en marcha el proyecto de ciclo-rutas, la transferencia de usuarios del modo caminata a bicicleta es paulatina. En el año 5 se logra la totalidad de la demanda por transferencia modal y en los años posteriores los beneficios se consideran constantes. Entre los años 1 y 5, los beneficios se interpolan linealmente.

6.4.2 Modos Motorizados

Para estimar los beneficios de los modos motorizados se consideran dos cortes temporales: el año 1 y el año 10. Entre el año 1 del proyecto y el año 10, los beneficios de los modos motorizados se interpolan linealmente, luego éstos se suponen constantes.

De esta forma es posible estimar los beneficios derivados de la reducción de consumos "en movimiento", para los modos motorizados y los beneficios asociados a la reducción de tiempos de viaje para la demanda por transferencia modal, para los modos no motorizados,

Con el fin de expandir los beneficios se debe, para cada período de modelación, calcular su expansión anual en horas al año, de modo tal que al sumar todos los factores resulten 5,512 horas²⁵ al año.

En la siguiente tabla se presenta un ejemplo de cómo debe ser presentado el perfil de los beneficios.

²⁵ Según lo definido por el Manual de Diseño y Evaluación Social de Proyectos de Vialidad Urbana (MESPIVU).

Cuadro N° 27: Perfil de Beneficios

Año	Inversión	Beneficios Motorizados	Beneficios No Motorizados	Beneficio Neto
0	<i>Inv</i>	-	-	- <i>Inv</i>
1	0	B_1	$B_{NM} / 5$	$B_1 + B_{NM} / 5$
2	0	$B_1 + \left[\frac{B_{11} - B_1}{9} \right]$	$2 * B_{NM} / 5$	$B_1 + \left[\frac{B_{11} - B_1}{9} \right] + B_{NM} / 5 * 2$
3	0	$B_1 + \left[\frac{B_{11} - B_1}{9} \right] * 2$	$3 * B_{NM} / 5$	$B_1 + \left[\frac{B_{11} - B_1}{9} \right] * 2 + B_{NM} / 5 * 3$
4	0	$B_1 + \left[\frac{B_{11} - B_1}{9} \right] * 3$	$4 * B_{NM} / 5$	$B_1 + \left[\frac{B_{11} - B_1}{9} \right] * 3 + B_{NM} / 5 * 4$
5	0	$B_1 + \left[\frac{B_{11} - B_1}{9} \right] * 4$	B_{NM}	$B_1 + \left[\frac{B_{11} - B_1}{9} \right] * 4 + B_{NM}$
6	0	$B_1 + \left[\frac{B_{11} - B_1}{9} \right] * 5$	B_{NM}	$B_1 + \left[\frac{B_{11} - B_1}{9} \right] * 5 + B_{NM}$
7	0	$B_1 + \left[\frac{B_{11} - B_1}{9} \right] * 6$	B_{NM}	$B_1 + \left[\frac{B_{11} - B_1}{9} \right] * 6 + B_{NM}$
8	0	$B_1 + \left[\frac{B_{11} - B_1}{9} \right] * 7$	B_{NM}	$B_1 + \left[\frac{B_{11} - B_1}{9} \right] * 7 + B_{NM}$
9	0	$B_1 + \left[\frac{B_{11} - B_1}{9} \right] * 8$	B_{NM}	$B_1 + \left[\frac{B_{11} - B_1}{9} \right] * 8 + B_{NM}$
10	0	$B_1 + \left[\frac{B_{11} - B_1}{9} \right] * 9$	B_{NM}	$B_1 + \left[\frac{B_{11} - B_1}{9} \right] * 9 + B_{NM}$
11	0	B_{11}	B_{NM}	$B_{11} + B_{NM}$
12	0	B_{11}	B_{NM}	$B_{11} + B_{NM}$
13	0	B_{11}	B_{NM}	$B_{11} + B_{NM}$
14	0	B_{11}	B_{NM}	$B_{11} + B_{NM}$
15	0	B_{11}	B_{NM}	$B_{11} + B_{NM}$
16	0	B_{11}	B_{NM}	$B_{11} + B_{NM}$
17	0	B_{11}	B_{NM}	$B_{11} + B_{NM}$

Año	Inversión	Beneficios Motorizados	Beneficios No Motorizados	Beneficio Neto
18	0	B_{11}	B_{NM}	$B_{11} + B_{NM}$
19	0	B_{11}	B_{NM}	$B_{11} + B_{NM}$
20	$-R$	B_{11}	B_{NM}	$B_{11} + B_{NM} + R$

Donde:

Inv = Inversión,

B_1 = Beneficios modos motorizados al Primer Corte Temporal,

B_{11} = Beneficios modos motorizados al Segundo Corte Temporal,

B_{NM} = Beneficios modos no motorizados al Primer Corte Temporal,

R = Valor Residual.

6.5 Desarrollo de Soluciones Físicas y Operacionales

Para cada uno de los ejes que conforman la **Propuesta de Plan Maestro** se desarrollan las soluciones físicas y operacionales a nivel de prediseño con una escala que permita obtener una estimación confiable de los costos de inversión de cada eje.

Para calcular los principales costos involucrados es preciso considerar los siguientes prediseños:

- Diseño geométrico
- Pavimentación
- Saneamiento aguas lluvia
- Modificación de servicios
- Expropiaciones
- Iluminación
- Paisajismo.

Las inversiones para la construcción de la **Propuesta de Plan Maestro** se estiman a partir de la cubicación y presupuesto de los prediseños. Estos valores deben ser corregidos por los factores de tipos de materiales y mano de obra para obtener los precios sociales correspondientes.

6.6 Evaluación Social de la Propuesta de Plan Maestro

Determinados los beneficios globales, costos e inversiones sociales del proyecto de la **Propuesta de Plan Maestro**, se debe plantear la evaluación económica a partir de los flujos de caja en el tiempo para el horizonte determinado y la tasa de descuento social vigente.

Como resultado de esta evaluación se obtiene indicadores como el Valor Actual Neto Social del proyecto (VANS), su Tasa Interna de Retorno Social (TIRS) y el Valor

Presente al Primer Año de Ejecución del proyecto (VAN1).

6.7 Definición Plan Maestro de Ciclo-rutas

A partir de la **Propuesta de Plan Maestro**, obtenida mediante la matriz de atributos y la evaluación social, se define el **Plan Maestro de Ciclo-rutas** (ver sección 4.3).

El **Plan Maestro de Ciclo-rutas** debe consistir, en lo posible, en una red conexas y continua que permita acoger una parte importante de los desplazamientos que se realizan en la zona estudiada. Si este objetivo no se cumpliera a cabalidad por esta selección, el Plan Maestro puede ser complementado con medidas de gestión que ayuden a su cumplimiento.

6.8 Identificación de Red de Corto Plazo

Es factible que existan restricciones presupuestarias que impidan la ejecución del proyecto en forma completa. También es posible que exista una cantidad máxima de kilómetros a ejecutar o simplemente los beneficios no alcanzan a cubrir los costos de inversión. Por lo tanto, es necesario definir un ranking que permita priorizar los ejes de proyecto y definir una red de ciclo-rutas de corto plazo. Para este efecto, la metodología plantea un análisis aislado de cada uno de los ejes, basado, en parte, en la estimación individual de los beneficios de modos motorizados más los beneficios de los modos no motorizados. Los beneficios obtenidos de la demanda por transferencia modal se dividen por la cantidad de kilómetros de red de ciclo-rutas, obteniendo un beneficio unitario por kilómetro. Luego, la longitud de cada eje es multiplicada por el beneficio unitario, obteniendo así un beneficio aproximado del eje.

A partir de este beneficio, del costo asociado y de los resultados de la matriz de atributos, el evaluador puede calcular indicadores económicos para cada eje de proyecto. De esta forma, y en conjunto con la contraparte técnica regional, se podrá determinar cuáles de los ejes se mantienen y cuáles se postergan para su futura re-evaluación.

También se deberá realizar un análisis de sensibilidad basado en las variaciones típicas de los beneficios y costos del proyecto dentro de un margen de un +/- 20%.

En caso de no existir restricción presupuestaria, la red a diseñar a nivel de ingeniería de detalle corresponderá a la definida en el **Plan Maestro de Ciclo-rutas**. En caso contrario, a partir del ranking, los indicadores de cada eje y el etapamiento constructivo eventualmente se podrá definir una **Red de Corto Plazo**, que conformará el proyecto de red de ciclo-rutas, que será evaluado y desarrollado a nivel de ingeniería de detalle.

Esta **Red de Corto Plazo**, al ser un subconjunto del **Plan Maestro de Ciclo-rutas**, corresponderá en el contexto de la ciudad, a la primera etapa constructiva del plan.

7. DESARROLLO FÍSICO DE LA RED DE CORTO PLAZO

El desarrollo físico de una ciclo-ruta a nivel de proyecto definitivo (nivel de ingeniería de detalle) requiere necesariamente realizar diversas actividades que pueden agruparse en recolección de antecedentes, diseño físico y cálculo de inversiones. Dependiendo del tipo de estudio será la profundidad con que se deban abordar dichas actividades.

7.1 Recopilación de Antecedentes Complementarios

Dentro de la ingeniería básica resulta prioritario contar con topografía adecuada con énfasis en el ancho de la faja fiscal, dimensiones de la calzada, catastro de servicios, además de todos los elementos del mobiliario urbano que pudieran interferir en el trazado de la ciclo-ruta.

Por su parte, los estudios de mecánica de suelos sólo se deben desarrollar en la presente etapa (no en la etapa de Soluciones Físicas y Operacionales), siempre y cuando fuesen exigidos por el organismo ejecutante, ya que las ciclo-rutas no tienen requerimientos de capacidad de soporte del suelo.

La hidrología y el saneamiento deben abordarse sólo conceptualmente en el anteproyecto. En general, se debe proyectar un saneamiento compatible con el existente en la vía principal.

7.2 Diseño Físico

El diseño físico se inicia con la selección del tipo de ciclo-ruta (ciclovía, ciclopista y/o ciclocalle). El perfil que se adopte para cada sección en particular depende de la disponibilidad de espacio, de las características de las vías y de las dimensiones óptimas y mínimas requeridas por el ciclista para desplazarse y maniobrar con seguridad. Dichas dimensiones se definen en el Capítulo 6 del Manual de Señalización de Tránsito (año 2003) y en el REDEVU vigente. En particular en zonas urbanas y suburbanas existen numerosos casos y posibilidades de solución. En general, los espacios donde se habilitan los ejes que componen ciclo-rutas son restringidos, por lo que el diseño geométrico apunta a compatibilizar los espacios disponibles con los requisitos geométricos óptimos o mínimos, en caso de corresponder.

En alzado, se restringe a trazados con perfil longitudinal de pendientes entre 1–5%. El valor mínimo se adopta con objeto de dar un adecuado tratamiento a las aguas lluvias; mientras que el máximo está dado por el grado de dificultad que presentan pendientes mayores a cierto grupo de usuarios.

En planta, el principal elemento de diseño es la velocidad, la cual impone radios mínimos y peraltes a las curvas. La velocidad de diseño se establece en base a características del viaje, tipo de usuarios, cantidad de puntos con control de parada, cruces e intersecciones. Así, en puntos singulares con control de parada podrán considerarse velocidades entre 0 y 10 km/hr, a lo que corresponden radios de 2.5 m; por otro lado, las velocidades máximas deberán establecerse en 40 km/hr, con radios mínimos de 44 m. También se debe considerar una longitud de 15 a 20 m. para el inicio o término de una ciclo-ruta.

Para la superficie de rodadura se debe utilizar materiales, tales como concreto

asfáltico, hormigón o tratamientos superficiales dobles con aplicación de una tercera capa de material más fino.

La hidrología y el saneamiento deben abordarse según los requerimientos específicos de cada ciudad. En general, se debe proyectar un saneamiento compatible con el existente en la vía principal

Un mayor detalle sobre los aspectos de diseño físico de ciclo-rutas se puede encontrar en el *Manual de Vialidad Urbana Recomendaciones para el Diseño de Elementos de Infraestructura Vial Urbana, REDEVU* (Edición 2009).

7.3 Cálculo de Inversiones

Para el cálculo de inversiones se requiere el listado de precios unitarios de todos los ítems involucrados en la construcción de una ciclo-ruta. Para ello, se debe recopilar antecedentes de construcción de proyectos de esta naturaleza que contengan información específica a la zona estudiada.

Finalmente, mediante la cubicación y el presupuesto se obtiene el monto de inversiones de las obras requeridas.

8. EVALUACIÓN ECONÓMICA SOCIAL RED DE CORTO PLAZO

Una vez obtenidos las cubicaciones y presupuestos del proyecto definitivo de la **Red de Corto Plazo**, se estiman los indicadores finales de rentabilidad, considerando los beneficios ya estimados de acuerdo a la metodología definida en el punto 6 del presente documento.