

# **UN METODO PARA SELECCIONAR Y PRIORIZAR PROYECTOS DE CICLOVIAS EN VIAS INTERURBANAS**

**Ramón Silva Améstica y Eduardo Valenzuela Freraut**  
Consultores en Ingeniería de Transporte, CITRA Ltda. Casilla 52301 Santiago, Chile.

## **RESUMEN**

Uno de los aspectos notables en el último tiempo en caminos de la red vial interurbana del país es la presencia creciente de flujo ciclistico. Esta situación se explica, por una parte, por el desarrollo de actividades económicas que requieren importante cantidad de mano de obra, como las hortofrutícolas y de empaque en las áreas agrícolas del centro-sur del país, como por el desplazamiento de medios de transporte antiguamente habituales en zonas rurales, como la carreta y el caballo, que hoy resultan lentos y más caros para el desplazamiento de las personas, que los medios "informales" como la bicicleta.

La fuerte presencia de flujo de bicicletas en algunos caminos, unido al elevado crecimiento del tránsito de vehículos motorizados de todo tipo, ha generado un deterioro en los niveles de servicio y seguridad operacional en varios sectores de la red vial, por lo que se ha considerado altamente conveniente implementar soluciones que impliquen segregar el flujo ciclistico del resto del flujo vehicular en los sectores de mayor conflicto, mediante la construcción de ciclovías.

El presente documento resume un método que permite seleccionar tramos de la red vial que ameritan la construcción de ciclovías, estableciendo una priorización de éstos, en base a un criterio técnico-económico alternativo a la evaluación tradicional de proyectos.

El método de priorización o de ranking de los proyectos supera la dificultad que presenta la cuantificación de los proyectos ciclovianos basado en el ahorro de recursos y la obtención de indicadores económicos de rigor, que es una solución poco factible por cuanto requiere de información cuantitativa de terreno que es de difícil obtención.

## 1. INTRODUCCION

El crecimiento de los diferentes rubros de la economía nacional, especialmente de las actividades hortofrutícolas y de empaque en las áreas agrícolas del centro y sur del país, han generado en los últimos años una alta demanda de tránsito por los principales caminos de la red vial, con una fuerte componente de flujo de bicicletas. Esta situación ha derivado en que los niveles de servicio y seguridad operacional de la red en varios sectores se ha deteriorado.

Una de las formas de solucionar este problema en los sectores viales de mayor conflicto consiste en implementar soluciones que impliquen segregar el flujo ciclistico del resto del flujo vehicular, mediante la construcción de ciclovías, de modo de optimizar las condiciones de circulación y la seguridad de los usuarios en los sectores comprometidos.

Los organismos públicos responsables de la asignación de recursos de inversión requieren disponer de herramientas que les permitan seleccionar y priorizar adecuadamente los proyectos de inversión que se le presentan. En este contexto, los proyectos de inversión pública que son evaluados mediante la metodología tradicional de Costo-Beneficio se pueden seleccionar y priorizar mediante la comparación de sus indicadores de rentabilidad (VAN, TIR u otros), que resultan de un proceso que considera los costos de cada alternativa de proyecto y los beneficios por ahorro de recursos asociados.

Para el caso específico de proyectos cicloviarios, los ahorros de recursos directos más claramente identificables provienen de la reducción de accidentes y de la disminución de las restricciones de circulación para los vehículos motorizados en las zonas con tránsito de ciclistas. Estos beneficios son de difícil cuantificación tanto porque se requiere de información que no está generalmente disponible, como de modelos predictivos que relacionen la tasa de accidentes y velocidad de circulación con los niveles de flujo ciclistico y de vehículos motorizados.

En virtud de lo anterior, el presente documento expone un método que permite seleccionar tramos de la red vial que ameritan la construcción de ciclovías, priorizando los proyectos cicloviarios, en base a un criterio técnico-económico alternativo a la evaluación tradicional basada en el ahorro de recursos.

El Capítulo N°2 detalla la fase de identificación de sectores viales en que se observa presencia de flujo ciclistico y la selección de tramos, sustentándose en la adecuada combinación de información objetiva y cuantificable con información de tipo subjetivo o relativo, en que no se dispone de un valor numérico. El Capítulo N°3 desarrolla la metodología de priorización, sobre la base de un indicador económico que considera los costos de inversión del proyecto cicloviario afectado por un coeficiente denominado "Índice de Atractividad" (IA). Además, presenta la aplicación de la metodología desarrollada de manera de obtener un orden de prioridad de los anteproyectos, en base a criterios económicos. Por último, el Capítulo N°4 presenta las principales conclusiones y comentarios del trabajo aquí expuesto.



## 2. METODO DE IDENTIFICACION Y SELECCION DE TRAMOS

### 2.1 Universo de análisis

La identificación y selección de los tramos se realizó sobre un universo de 1184 kms. de sectores viales preseleccionados pertenecientes a caminos de clase A y de otras categorías que acceden a los ejes principales, ubicadas en las regiones V a VIII, en los que existe presencia de flujo ciclistico. Este universo se generó como resultado de un análisis de gabinete exhaustivo, de consultas y reuniones con autoridades regionales y municipales, de diversos antecedentes obtenidos y del conocimiento respecto de las características del tránsito y de la actividad productiva relacionada con las principales rutas de las regiones consideradas. La distribución regional del universo de análisis fue la siguiente.

**Cuadro N°1: Distribución Regional**

| Región        | Km.  | [%]   |
|---------------|------|-------|
| Quinta        | 174  | 14,7  |
| Metropolitana | 334  | 28,2  |
| Sexta         | 259  | 21,9  |
| Séptima       | 300  | 25,3  |
| Octava        | 117  | 9,9   |
| Total         | 1184 | 100,0 |

### 2.2 Criterio de selección de tramos

Debido a que no estuvo contemplado obtener datos cuantitativos de la magnitud del flujo de bicicletas en los tramos seleccionados del catastro preliminar, así como antecedentes locales de la cantidad y tipo de accidentes con ciclistas involucrados, entre las variables más significativas, se desarrolló un criterio de selección alternativo de aquellos tramos que ameritan ser considerados para el desarrollo de proyectos cicloviarios. Este criterio combina datos objetivos de algunas variables significativas que intervienen en el análisis, algunas de ellas cuantificables, con otras variables de tipo subjetivo o relativo en que no se dispone de un valor numérico.

Entre los datos objetivos, se cuenta con la estadística del volumen de tránsito de vehículos motorizados para la gran mayoría de los sectores viales preseleccionados. Otro dato de carácter objetivo, aún cuando no se expresa en términos numéricos, se refiere a las características físicas de los sectores viales en cuanto a ancho, tipo y estado de calzadas y bermas y pendientes, entre otros. Esta información cruzada con los niveles de flujo vehicular y niveles de flujo ciclistico, permite obtener una percepción adicional sobre el nivel de riesgo de accidentes para los ciclistas que circulan por dicho tramo o sector.

En cuanto a los antecedentes que corresponden a apreciaciones subjetivas que entregan personas de las zonas analizadas, se encuentran aquellos que se refieren tanto a la magnitud del flujo de ciclistas que se desplaza por los diferentes sectores como a la cantidad de accidentes que se producen en cada sector. Esta información subjetiva se clasificó en tres niveles: Alto, Medio o

Bajo, asignándoseles rangos de variación numérica, en forma objetiva.

## 2.3 Método de selección de Tramos

El método para seleccionar los tramos de la red vial según su mayor necesidad de ciclovías, denominado Criterio ABC, consiste en agrupar los 1236 Km. preseleccionados en tres categorías o grupos. En la categoría A quedan los kilómetros con mayor necesidad de ciclovías ya sea por el nivel de flujo existente, entorno productivo, accidentabilidad del sector o limitaciones físicas del mismo; en la categoría B quedan los kilómetros con un grado de necesidad menor a la categoría A pero mayor a la categoría C.

Para agrupar los kilómetros en alguna de las categorías, se definieron indicadores ordinales. El mecanismo de recopilación de información está basado principalmente en encuestas a usuarios, autoridades civiles locales y Carabineros de Chile.

### a) Relación entre el Volumen de Tránsito de Vehículos motorizados por el sector (Tv) y el nivel de flujo ciclistico (Qb)

El nivel de flujo de bicicletas se define de acuerdo a las estimaciones que se obtienen de las entrevistas y observación en terreno. El valor del TMDA (Tv) se obtiene de la información del Plan Nacional de Censo en los puntos de control correspondientes al sector en estudio.

considerando tres niveles de flujo ciclistico: Bajo, Medio y Alto y valores predefinidos como T1 y T2 ( $T1 < T2$ ), independientemente del sector analizado, que definen a su vez, tres rangos de TMDA, se genera la matriz de combinaciones siguiente.

| Qb\TMDA | T1 | T2 |   |
|---------|----|----|---|
| Alto    | B  | A  | A |
| Medio   | C  | B  | A |
| Bajo    | C  | C  | B |

En esta matriz, existen nueve áreas que representan el cruce o combinación de los distintos niveles de flujo ciclistico con los respectivos niveles de TMDA. De esta manera, la ubicación de los tramos viales en las diferentes categorías sería la siguiente:

#### Categoría C:

TMDA menor a T1 y los niveles Bajo y Medio de Qb;  
TMDA menor a T2 y Qb Bajo.

En esta categoría se estima que la necesidad de ciclovías es mínima dado que es previsible una escasa interacción entre ambos modos de transporte.



### Categoría B:

TMDA superior a T2 y Qb Bajo ;  
TMDA entre T1 y T2 para Qb Medio;  
TMDA inferior a T1 y Qb alto.

Aquí, la interacción entre los modos de transporte que utilizan el sector es mayor que la asociada a la categoría anterior, generando por parte de los ciclistas fricción al tránsito motorizado.

### Categoría A:

TMDA mayor a T1 y Qb Alto;  
TMDA mayor a T2 y Qb Medio.

En este caso, la interacción entre ambos modos de transporte se traduce en una alta probabilidad de accidentes siendo atractiva la segregación.

De primordial interés, para los fines de selección, fue establecer los valores de T1 y T2. Al respecto, previamente se diferenciaron en forma gruesa aquellos tramos que eran susceptibles de agruparse en la categoría A, por su importancia relativa dentro del conjunto de kilómetros preseleccionados. Se procedió de igual forma para las categorías B y C. Así, una vez realizada esta segregación preliminar, se determinó cuales eran los valores aproximados de T1 y T2 que resultaban de dicha asignación, encontrándose que el entorno de 1000 [Veh/Dia] para T1 y 3000 [Veh/Dia] para T2 eran valores adecuados.

En el caso de los niveles de flujo ciclistico, estos fueron estimados a partir de la observación en terreno y documentos filmicos. Los rangos son los siguientes:

|             |          |               |
|-------------|----------|---------------|
| Nivel Bajo  | 0 a 20   | [Bic/Periodo] |
| Nivel Medio | 21 a 60  | [Bic/Periodo] |
| Nivel Alto  | 61 o más | [Bic/Periodo] |

El periodo normalmente oscila entre 15 y 20 minutos.

#### **b) Nivel de riesgo de accidentes (RA)**

El indicador de riesgo de accidentes para los ciclistas, al transitar por los caminos bajo análisis, se define mediante los niveles siguientes.

Riesgo Alto: Cuando la calzada es pavimentada y la berma es de material granular, los ciclistas transitan generalmente por la calzada generando obstrucción al motorista y elevando el riesgo de accidente;

- **Riesgo Medio:** Cuando el pavimento es de hormigón o asfalto y la berma es de igual material o de tratamiento asfáltico. En estos casos, el ciclista utiliza normalmente la berma salvo cuando su percepción subjetiva del estado de la berma le indica que su medio de transporte se verá deteriorado, o cuando va acompañado por otros ciclistas y el ancho de la berma no es suficiente ( hasta 1,0 mt. aproximadamente) para que todos circulen en forma paralela;
- **Riesgo Bajo:** Similar situación que en Riesgo Medio, pero con un ancho de berma suficiente (mayor a 1,5 mt.) y un estado de conservación de la misma adecuado.

**c) Nivel de actividad productiva y densidad demográfica en el entorno del sector (NA)**

Esta variable resume todas las características productivas del área en cuestión. Estas características se definen por su tipo, nivel de producción, mano de obra requerida, densidad de uso de suelo, densidad poblacional y variabilidad estacional de la producción. La información recopilada permite diferenciar claramente entre sectores pertenecientes a distintas Comunas de la región e incluso entre diferentes Comunas de Regiones distintas, pero, dada la agregación de la información, no permite discriminar entre sectores de una misma Comuna.

**d) Limitaciones Físicas**

Esta variable permite descartar a priori determinados tramos para la construcción de proyectos cicloviarios, para lo cual considera:

- Las restricciones topográficas del sector, fundamentalmente en cuando a curvatura vertical promedio;
- las restricciones geométricas del perfil transversal que impiden o limitan seriamente el desarrollo o construcción de ciclovías;
- la existencia de problemas de tránsito que generan una situación de indole más compleja para abordar la construcción de ciclovías.

Con esto, la selección de sectores alcanzó los 250 Km. distribuidos como detalla el cuadro N°2.



**Cuadro N°2: Distribución Regional de Tramos Seleccionados**

| Región        | Km. | [%]   |
|---------------|-----|-------|
| Quinta        | 76  | 30,4  |
| Metropolitana | 75  | 30,0  |
| Sexta         | 59  | 23,6  |
| Séptima       | 30  | 12,0  |
| Octava        | 10  | 4,0   |
| Total         | 250 | 100,0 |

### **3. METODO DE PRIORIZACION**

#### **3.1 Discusión Metodológica**

La forma habitual de priorizar proyectos de inversión pública consiste en comparar los indicadores de rentabilidad que resultan de la evaluación económica tradicional, tales como el Valor Actualizado Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno, u otros. Estos indicadores de rentabilidad se obtienen mediante un proceso que considera los costos de inversión de cada alternativa de diseño y los beneficios por ahorro de recursos asociados a cada alternativa. Así, los tramos más rentables económicamente serían los de mayor prioridad.

Los beneficios directos más claramente identificables que se derivan de proyectos ciclovitarios, aunque de difícil cuantificación, provienen básicamente de dos fuentes:

Reducción de accidentes con ciclistas involucrados, generando mayor seguridad a su desplazamiento y eventualmente un incentivo a usar este medio de transporte.

Disminución de las restricciones de circulación formales o de hecho para los vehículos motorizados que circulan por zonas con tránsito de ciclistas, lo que permite un aumento de las velocidades de circulación y por ende una reducción de los tiempos de viaje.

La información recopilada por Carabineros de Chile, único organismo que lleva estadística de accidentes, es inadecuada para evaluar contramedidas para reducir las tasas de accidentes debido a su nivel de agregación, lo que impide poseer información que discrimine según sectores asociados a los respectivos proyectos.

Por otro lado, para estimar los beneficios por ahorros de recursos, se debería calibrar relaciones flujo-demora con los diversos modos de transporte que circulan por el tramo. Con estas relaciones, se estimarían los ahorros tanto de tiempo como de combustible asociados a las situaciones antes y después. Sin embargo, las características intrínsecas al flujo de bicicletas hacen prácticamente imposible calibrar relaciones flujo-demora que incluyan flujo ciclistico (los periodos punta normalmente duran entre 10 y 20 minutos).

En virtud de lo anterior, no resulta factible la utilización del método de evaluación económica

tradicional como mecanismo para la priorización de anteproyectos ciclovitarios.

En este contexto, los autores desarrollaron un método alternativo para establecer una priorización de proyectos ciclovitarios, el cual se detalla a continuación.

### 3.2 Descripción del Método

El método desarrollado supera la dificultad que presenta la cuantificación económica de los beneficios basada en el ahorro de recursos, y permite obtener un indicador técnico-económico útil para comparar y priorizar los proyectos de construcción de ciclovías en los diferentes tramos de la red vial nacional.

A través de este método, se puede obtener un Indicador de Atractividad (IA) del proyecto ciclovitario, generado a partir de la consideración de las diferentes y principales características de cada tramo, de importancia relativa entre sí. Con este indicador, se calcula el Costo de Inversión Corregido (CIC) por kilómetro de cada proyecto de ciclovía, definido como:

$$CIC = CI \cdot (1 - IA) \quad (1)$$

en que:

|    |   |   |
|----|---|---|
| CI | : | Costo de Inversión por kilómetro de ciclovía [\$/Km]  |
| IA | : | Índice de Atractividad, que refleja el grado de atracción que representa construir un proyecto ciclovitario en cierto tramo, en relación a la situación base. |

Las características principales del IA son su adimensionalidad y su rango de variación (0,1). Por definición, si  $IA = 0$  la construcción del proyecto no constituye un beneficio en relación a la situación base. Entonces, a medida que el IA se aproxime a 1, los beneficios derivados del proyecto serán mayores en relación a la situación referencial o base.

Con este método se puede realizar un ranking tanto de los diferentes tramos seleccionados como de las distintas alternativas de proyecto que se consideren, comparando el CIC de cada proyecto.

Para aplicar esta metodología, es necesario que el IA sea sensible a cambios en el diseño geométrico y estructural del proyecto, al volumen de usuarios de bicicletas y su interacción con el flujo de vehículos motorizados, y al riesgo potencial de accidentes por parte de los usuarios.



### 3.2.1 Definición del IA

Las componentes de mayor relevancia y que delimitan este indicador son: el tránsito (CT), el riesgo de accidentes (CRA) y el diseño (CD). La expresión general del IA en función de estas componentes es:

$$IA = \alpha_1 \cdot f_1(CT) + \alpha_2 \cdot f_2(CRA) + \alpha_3 \cdot f_3(CD) \quad (2)$$

en que  $\alpha_i$  son los factores de incidencia de cada componente, tal que  $\sum \alpha_i = 1$ .

#### a) Componente de Tránsito

Las variables relevantes son el flujo de bicicletas (Qb), el flujo total de vehículos motorizados (Qt), y la proporción del flujo de vehículos pesados (%Qp = Qp/Qt). Definiendo por QB, QT y %QP los valores máximos encontrados dentro de los tramos de vía seleccionados, la especificación para esta componente toma la forma:

$$CT = \beta_{11} [a_{11} \cdot Qb / QB + c_{11}] + \beta_{12} [a_{12} \cdot Qt / QT + c_{12}] + \beta_{13} [a_{13} \cdot \%Qp / \%QP + c_{13}] \quad (3)$$

donde los coeficientes  $\beta_{ij}$  representan el peso relativo asignado a cada variable dentro de la componente y los coeficiente  $a_{ij}$  y  $c_{ij}$  son factores de escala que permiten tipificar el rango de variación de las variables al intervalo (0,1), obtenibles directamente de datos reales de flujo. Dado que la magnitud del flujo de bicicletas dependerá fuertemente de la longitud del tramo (L), se utiliza Qb dividido por L para independizarnos de su influencia.

Con esto, a mayor flujo de bicicletas por kilómetro y/o mayor porcentaje de vehículos pesados y/o mayor flujo total por el tramo analizado, el valor de CT aumentará y el beneficio de construir ciclovías será mayor.

#### b) Componente de Riesgo de Accidentes

Luego de un exhaustivo análisis de las posibles variables que influyen en esta componente, se optó por considerar como las más relevantes al ancho promedio de la pista contigua a la berma (Ap), el ancho promedio de la berma utilizada por los ciclistas (Ab) y la cantidad de milímetros de agua caída en un año normal en la zona donde se encuentra el tramo (Mc). Se espera que los beneficios sean inversamente proporcionales a Ap y Ab y proporcionales a Mc.

Definiendo por MC al promedio máximo de milímetros de agua caída entre las estaciones meteorológicas del área de influencia, como AP el ancho máximo de pista aceptado según norma de diseño, y al ancho de la berma como el valor promedio estimado en terreno o  $Ab = 0$  si la berma es de grava o de tierra, la especificación para esta componente toma la forma:

$$CRA = 1 - (\beta_{21} \cdot Ab / AP + \beta_{22} [a_{22} \cdot Ap / AP + c_{22}] + \beta_{23} [a_{23} \cdot MC / Mc + c_{23}]) \quad (4)$$

donde los coeficientes  $\beta_{ij}$  representan el peso relativo otorgado a cada variable dentro de la componente y los coeficientes  $a_{ij}$  y  $c_{ij}$  permiten adecuar el rango de variación de MC/Mc y Ap al rango de variación de Ab.

Por lo tanto, a mayor ancho promedio de berma y/o mayor ancho promedio de la pista contigua y/o menor cantidad promedio de milímetros de agua caída, el valor de la componente de riesgo de accidentes (CRA) disminuirá y por consiguiente el beneficio de construir ciclovías será menor.

Se calcula un valor de CRA anual y un valor de CRA de verano (en este último se prescinde de la variable Mc)

### c) Componente de Diseño

Considerando el diseño físico y operativo, las variables relevantes son la distancia de separación entre borde exterior de la calzada y el borde de inicio de la pista de bicicletas ( $D_s$ ), la existencia de señalización vertical ( $S_v$ ) u horizontal ( $S_h$ ), el uso único o compartido con peatones de la ciclovía ( $U_c$ ) y el desnivel entre calzada y la pista de bicicletas ( $D_v$ ).

Definiendo como  $D_s=0$  si la distancia de separación es nula (ciclobanda en vez de ciclovía) o menor a 1,0 m. y por  $D_s=1$  si la distancia de separación es mayor o igual a 1,0 m.,  $S_v=0$  ( $S_h=0$ ) si no existe señalización vertical (horizontal) y  $S_v=1$  ( $S_h=1$ ) si existe;  $U_c=0$  si el uso de la pista es compartido y  $U_c=1$  si no lo es;  $D_v=0$  si no existe desnivel entre pista de vehículos motorizados y ciclovía y  $D_v=1$  si existe, la especificación definida para esta componente es:

$$CD = \beta_{11} \cdot D_s + \beta_{12} [S_v + S_h] + \beta_{13} U_c + \beta_{14} D_v \quad (5)$$

donde los coeficientes  $\beta_{ij}$  representan el peso relativo otorgado a cada variable dentro de la componente.

Entonces, un diseño de proyecto que considere una mayor distancia de separación y/o existencia de señalización vertical u horizontal adecuada tanto para conductores de vehículos motorizados como para ciclistas y/o uso no compartido de la ciclovía con peatones y/o existencia de desnivel entre ambas pistas, hará que la magnitud de la componente de diseño (CD) aumente y el beneficio de construir la ciclovía será mayor.

En estricto rigor, si se establecen condiciones técnicas para los anteproyectos de manera que las soluciones sean siempre ciclovías, esto es, soluciones ubicadas a continuación de la berma del camino, respetando un ancho mínimo de berma que no afecte el tránsito vehicular, debidamente señalizadas, no se podría discriminar entre anteproyectos por consideraciones de diseño.

### 3.2.2 Ponderadores

Los criterios para asignar valores numéricos a los coeficientes previamente definidos, estuvieron



basados en la consideración siguiente: los valores para los diversos coeficientes deben ser consistentes con las incidencias relativas de cada variable al interior de cada componente y cambios pequeños de ellos no deben modificar sustancialmente los resultados. En este contexto, a continuación se detallan los valores considerados para cada componente.

Para asignar valores a los coeficientes  $\beta_{ij}$  en el caso de la componente de tránsito se considera que el peso relativo de la variable flujo de bicicletas debería ser superior al de las restantes. Le seguiría en orden decreciente la incidencia del tránsito vehicular total y el tránsito de vehículos pesados. Por lo anterior, se asignaron los valores siguientes:  $\beta_{11}=0.50$ ,  $\beta_{12}=0.35$ ,  $\beta_{13}=0.15$ .

En el caso de la componente de riesgo de accidentes, el indicador está compuesto por las características físico-operativas y meteorológicas del sector, esperándose que el ancho promedio de la berma tenga una influencia superior al ancho promedio de la pista contigua y ésta, superior al agua caída. Por lo anterior, los valores asignados son:  $\beta_{21}=0.56$ ,  $\beta_{22}=0.29$ ,  $\beta_{23}=0.15$ . Además, debido a que la variable meteorológica es de carácter temporal (invierno), el método considera dos indicadores de CRA (anual y verano). Los ponderados en este caso son  $\alpha_{21}=0.65$  y  $\alpha_{22}=0.35$ .

Respecto de la componente de diseño, la variable más relevante es  $D_s$  siguiéndole en importancia relativa la señalización ya sea vertical u horizontal. Según esto, la ponderación adoptada fue la siguiente:  $\beta_{31}=0.45$ ,  $\beta_{32}=0.25$ ,  $\beta_{33}=0.20$ ,  $\beta_{34}=0.10$ .

Entonces, la especificación del IA toma la forma:

$$IA = \alpha_1 \cdot CT + \alpha_2 \cdot [b_2 \cdot CRA + d_2] + \alpha_3 \cdot [b_3 CD + d_3] \quad (6)$$

donde los coeficientes  $\alpha_i$  representan el peso relativo asignado a cada componente y los coeficientes  $b_i, d_i$  permiten adecuar el rango de variación de CRA y CD al rango de variación de CT, respectivamente.

Por último, los valores adoptados para los coeficientes  $\alpha_i$ , que reflejan directamente la tendencia de la política de inversión actual en proyectos cicloviarios, fueron:  $\alpha_1=0.60$ ,  $\alpha_2=0.25$ ,  $\alpha_3=0.15$ . Es decir, la componente de mayor incidencia es el tránsito, seguida por la componente de riesgo de accidentes y por último la componente asociada al diseño.

Si bien  $\alpha_2$  y  $\alpha_3$  representan en alguna medida el grado de accidentabilidad del tramo, la primera componente lo relaciona con las condiciones de flujo vehicular prevalecientes, en cambio la segunda lo relaciona directamente con el diseño geométrico y condiciones físicas del tramo. En este contexto, es obvio que las componentes de mayor incidencia sean las relacionadas con el flujo vehicular y ciclistico.

### 3.2.3 Cálculo de Indicadores

El cálculo del IA de cada tramo se puede realizar considerando el flujo estacional o promedio anual de bicicletas, con esto, es posible estimar el valor de CT y CRA. La componente de diseño (CD) no sufre modificaciones entre los diversos sectores analizados debido a que las características geométricas y de diseño son similares. Los cuadros siguientes presentan los resultados obtenidos para 5 de los 42 tramos que en conjunto representan los 250 km. de vías en los que desarrollaron proyectos de construcción de ciclovías. La longitud del tramo se expresa en kilómetros, Qb en bicicletas por kilómetro, Ab, Ap en metros, Mc en milímetros anuales y CI y CIC en millones de pesos por kilómetro.

**Cuadro N°3: Estimación de Componentes del Índice de Atractividad**

| Tramo | Ruta | Long. | Qb | Qt   | %Qp  | Ab  | Ap  | Mc     | CT   | CRA  |
|-------|------|-------|----|------|------|-----|-----|--------|------|------|
| V01   | 60CH | 10,03 | 43 | 2413 | 34,5 | 0,0 | 3,0 | 374,8  | 0,19 | 0,87 |
| V02   | E-85 | 8,37  | 50 | 1371 | 23,9 | 0,0 | 3,0 | 374,8  | 0,10 | 0,87 |
| VIII1 | O456 | 2,56  | 50 | 8290 | 38,0 | 0,0 | 3,5 | 1175,7 | 0,47 | 0,71 |
| VI08  | 66   | 5,10  | 40 | 2143 | 22,5 | 1,7 | 3,5 | 524,6  | 0,12 | 0,37 |
| VIII4 | Q45  | 8,14  | 23 | 1784 | 20,3 | 0,0 | 3,5 | 1175,7 | 0,20 | 0,71 |

**Cuadro N°4: Estimación del Costo de Inversión Corregido**

| Tramo | Ruta | IA     | CI    | CIC   |
|-------|------|--------|-------|-------|
| V01   | 60CH | 0,3197 | 17,86 | 12,14 |
| V02   | E-85 | 0,2657 | 24,20 | 17,77 |
| VIII1 | O456 | 0,4553 | 14,01 | 7,63  |
| VI08  | 66   | 0,1764 | 23,70 | 19,52 |
| VIII4 | Q45  | 0,2153 | 17,02 | 13,35 |

Considerando la muestra de tramos anteriores, queda de manifiesto la jerarquización para considerar la construcción de los proyectos ciclovitarios (CIC menor).

## 4. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

El método de selección y priorización de proyectos de ciclovías desarrollado, supera la dificultad que presenta la cuantificación de los beneficios basada en el ahorro de recursos y permite contar con un instrumento útil a los organismos públicos para la toma de decisiones de inversión en proyectos de esta naturaleza en los diferentes tramos de la red vial nacional.

En términos particulares, los valores asignados a los ponderadores  $\alpha_i$ , pueden producir efectos de sobre o subestimación de los componentes. En efecto, al aumentar  $\alpha_1$  y disminuir  $\alpha_2$ , suben de lugar en el ranking los tramos con CT alto y los tramos con CRA bajos. En cambio, bajan de lugar aquellos tramos con CT bajo y tramos con CRA altos. Sin embargo, un análisis de sensibilidad realizado sobre los coeficientes  $\alpha_i$  concluyó que, de acuerdo a la política de inversiones actual en proyectos ciclovitarios, los valores adoptados son los más adecuados. Esto implica que la herramienta desarrollada, si bien permite determinar las alternativas "más rentables" por medio de



un criterio de selección parejo, su neutralidad es criticable debido a la posible manipulación de los resultados, a partir de la valoración subjetiva de los ponderadores.

En este contexto y para ser justos con futuros estudios de ésta índole, sería adecuado considerar los indicadores aquí propuestos. Sin embargo, por la amplitud de la zona de estudio, es poco factible que se generen nuevos estudios de ésta naturaleza.

El disponer de mediciones de flujos reales de bicicletas en los tramos bajo análisis, permite por cierto una estimación más exacta de la demanda de cada tramo y, por lo tanto, hacer un análisis económico más acertado. Sin embargo, el método desarrollado es válido tanto si se desarrolla un estudio detallado de demanda como un estudio estimativo, a condición de que todos los tramos de proyecto se comparen con un criterio uniforme de estimación de la demanda.

Cabe destacar que el enfoque metodológico con la cual se abordó la definición del indicador técnico-económico de priorización, puede ser útil para enfrentar la evaluación de otro tipo de proyectos de carácter sectorial que presenten dificultad o que sea poco factible la cuantificación de los beneficios mediante la metodología tradicional de Costo-Beneficio. Para tal efecto, se deberían considerar las variables relevantes que estén presentes como posibles fuentes de beneficios en cada tipo de proyecto de modo que, adecuadamente parametrizadas y conjugadas analíticamente, permitan obtener una especie de "Índice de Beneficios" que refleje el grado de incidencia o impacto que represente el proyecto en relación a la situación base.

Una línea de investigación futura sería el contemplar variables no incluidas en el presente trabajo. Entre éstas destacan el grado de iluminación y la visibilidad, en términos del grado de urbanización y topografía de los sectores bajo análisis.

## REFERENCIAS.

- CDI (1991). Estudio de Preinversión Construcción de Ciclovías en Caminos de la Red Vial Nacional. Informe Final a la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas.