



# **METODOLOGÍA PARA LA VALORACIÓN DE BENEFICIOS DE OBRAS ANEXAS EN PROYECTOS DE VIALIDAD INTERURBANA**

**División de Evaluación Social de Inversiones**

2013

## INDICE

---

ASPECTOS GENERALES	2
CICLOVÍAS	3
Identificación de beneficios	3
Cuantificación de beneficios	4
Metodología simplificada para la etapa de perfil	6
ACERAS	6
Identificación de beneficios	6
Cuantificación de beneficios	6
Metodología simplificada para la etapa de perfil	7
PASARELAS	7
Identificación de beneficios	7
Cuantificación de beneficios	8
Metodología simplificada para la etapa de perfil	10
MIRADORES, ÁREAS DE DETENCIÓN Y/O DESCANSO	10
Identificación de beneficios	10
Cuantificación de beneficios	11
Metodología simplificada para la etapa de perfil	13
PARADEROS Y CASSETAS	14
Identificación de beneficios	14
Cuantificación de beneficios	14
Metodología simplificada para la etapa de perfil	17
ILUMINACIÓN	17
Identificación de beneficios	17
Cuantificación de beneficios	17
Metodología simplificada para la etapa de perfil	18
LECHOS DE FRENADO	18
Identificación de beneficios	18
Cuantificación de beneficios	18
Metodología simplificada para la etapa de perfil	18
PLAZAS DE PESAJE	19
Identificación de beneficios	19
Cuantificación de beneficios	19
Metodología simplificada para la etapa de perfil	19
AJUSTES A PRECIOS SOCIALES	19
ANEXO METODOLÓGICO	20

## **I. ASPECTOS GENERALES**

El Sistema Nacional de Inversión Pública requiere que los proyectos de inversión se justifiquen mediante una evaluación técnica económica. En este marco se analizan y evalúan los proyectos de vialidad, y en particular los de vialidad interurbana, incluyendo a todos aquellos caminos nacionales, regionales y comunales que unen ciudades, pueblos, localidades rurales o que permiten el acceso a zonas productivas, turísticas, países vecinos, etc.

La evaluación técnica y económica de los proyectos de inversión en infraestructura vial interurbana se realiza según lo establecido en la Metodología de Formulación y Evaluación de Proyectos de Vialidad Interurbana, publicada por MIDEPLAN en 1992. Sin perjuicio de ello, la Dirección de Vialidad establece requisitos adicionales, como el uso del Volumen I del Manual de Carreteras sobre evaluación social de proyectos viales.

Los beneficios principales considerados en la metodología vigente son el ahorro de tiempo de viaje, el ahorro de costo de operación vehicular y el ahorro en costos de conservación vial. Los ahorros físicos son determinados mediante modelos de transporte, los cuales son valorados a los precios sociales establecidos por MIDEPLAN para cada proceso presupuestario. Sin embargo, dicha normativa no plantea métodos específicos para la cuantificación de otros beneficios que pueden presentarse en un proyecto de vialidad interurbana, especialmente los relacionados a obras adicionales o anexas al camino propiamente tal.

Los costos de inversión en estas obras son considerados dentro de los costos totales de inversión del proyecto de camino, pero no se les asigna un beneficio correspondiente, lo que podría llevar a una subvaloración de la rentabilidad del proyecto de vialidad.

La presente guía metodológica constituye un avance en la solución de estas insuficiencias. Por su carácter debe entenderse como un complemento a las metodologías vigentes. La guía se refiere exclusivamente a la cuantificación de beneficios, por lo cual para todo otro efecto el usuario debe referirse a los otros documentos metodológicos vigentes.

Las obras consideradas para efectos de identificación, cuantificación y valoración de beneficios corresponden a:

- Ciclovías: Definidas en el punto Vol. 3, punto 3.302.603 del Manual de Carreteras (MC) como pistas auxiliares destinadas a las personas que se desplazan en bicicleta, cuya seguridad pelagra cuando lo hacen empleando la calzada o las bermas de ancho normal. En el Vol. 6, capítulo 6.600 del MC se especifican los criterios para decidir su implementación.
- Aceras: Sectores destinados al tránsito de peatones, su diseño se encuentra especificado en el punto 6.802.1 del MC.

- Pasarelas: Descritas como pasos peatonales a desnivel en el punto 6.802.3 del Vol. 6 del MC, las condiciones para instalar una pasarela se presentan en la tabla 6.802.501B Alternativas de solución para elementos de seguridad peatonal.
- Miradores, Áreas de detención y/o descanso: Espacio para contemplación del paisaje o de descanso para el viajero, en el punto 9.304.702(2) Zonas de Descanso del MC se pueden encontrar algunas consideraciones de diseño.
- Paraderos y casetas: Corresponden a elementos destinados a proteger al peatón del flujo vehicular y de las condiciones climáticas, además de facilitarle un lugar de descanso mientras espera la llegada del bus al paradero (punto 6.802.204, Vol. 6).
- Iluminación: Corresponde a elementos que proveen de luz al camino, aumentando su seguridad de uso. Las condiciones de aplicación se encuentran explicitadas en el capítulo 6.700 del Vol. 6.
- Lechos de frenado: Pistas de emergencia que tienen por objeto forzar la detención de un vehículo al que le ha fallado el sistema de frenos, los criterios para su implementación se encuentran en el Vol. 6, punto 6.504.3 Criterios de Diseño para Pistas de Emergencia.
- Plazas de pesaje: Área diseñada y equipada para controlar el peso por eje de vehículos de carga y de pasajeros, según se indica en el punto 6.203.702 Áreas de Control Preventivo.

Para cada una de estas obras anexas seleccionadas se ha desarrollado un planteamiento metodológico, presentado a continuación.

## II. CICLOVÍAS

### A. Identificación de beneficios

Las fuentes de beneficios que serán consideradas son las siguientes:

1. Beneficios por ahorros de tiempo de vehículos motorizados. Se producen en la situación con proyecto por la disminución del nivel de interferencia que provocan los ciclistas en la vía hacia los automóviles, buses y camiones que circulan por éstas, lo que incide directamente en una disminución del tiempo de viaje, y por lo tanto, en un ahorro de tiempo de las personas.
2. Disminución de los costos de operación de los vehículos motorizados, producto de la disminución del nivel de interferencia con las bicicletas, ya sea por ahorro de combustible u otro costo.
3. Beneficios por disminución de accidentes. Se producen en la situación con proyecto por el aumento de seguridad de la circulación de los ciclistas producto de la segregación de las vías.

## **B. Cuantificación de beneficios**

### **1. Beneficios por ahorro de tiempo y costos de operación**

Para cuantificar las dos primeras fuentes beneficios se utilizará un modelo de fricción lateral, descrito en el punto B.

Para poder estimar el modelo se requiere realizar estudios de base que comprendan los siguientes aspectos:

- Flujo clasificado de vehículos motorizados (cada 15 min), distinguiendo vehículos livianos, camionetas, buses rurales, buses interurbanos, camiones livianos y camiones pesados
- Flujo de bicicletas (cada 15 min.)
- Velocidad de circulación de vehículos motorizados (km/hora)

Estas mediciones deberán realizarse en un mínimo de dos puntos de control de un tramo representativo de la ubicación propuesta para la ciclovía, pudiéndose considerar un número mayor de puntos de control si la longitud total propuesta es larga o cambian substancialmente las condiciones físicas u operacionales de la vía. Los flujos deberán totalizarse cada 15 minutos.

El período de medición debe cubrir los horarios en que el flujo de bicicletas es mayor y también horarios en que dicho flujo es escaso o nulo. Para esto debe caracterizarse previamente el origen y destino de los principales flujos vehiculares, conociendo además los horarios de ingreso y salida si los propósitos más relevantes fueran trabajo y estudio.

Simultáneamente con los conteos de flujo y en los mismos lugares y horarios deberán realizarse mediciones de velocidad de vehículos motorizados, desagregadas entre vehículos livianos, camionetas, buses, camiones livianos y camiones pesados.

Para determinar las velocidades se podrá usar medios electrónicos de registro instantáneo de velocidad o el método de las patentes, que consiste en registrar para una muestra de vehículos el instante de pasada y patente en dos lugares próximos separados por una distancia conocida. Hermanando luego las patentes se obtiene el tiempo de recorrido de cada vehículo, y a partir de ello su velocidad. En el caso de medios electrónicos se podrá considerar el uso de una pistola radar o bien de sensores propios o de la Dirección de Vialidad, que permitan el registro de velocidad y clasificación de vehículos.

Para cada cuarto de hora se deberá realizar un mínimo de 3 mediciones correctas por tipo de vehículo, siendo lo recomendable contar con 10 mediciones para cada tipo de vehículo en cada intervalo de 15 minutos. De no ser posible contar con observaciones suficientes, se descartará el cuarto de hora en la estimación del modelo de fricción lateral.

A partir de las mediciones de flujo se definirá una periodización por hora del día, definiendo períodos en cuyo interior se tengan flujos relativamente constantes.

El resultado esperado es que la velocidad media de circulación de los vehículos motorizados sea mayor cuanto menor sea la cantidad de ciclistas. En especial, las velocidades medias obtenidas en cada período de 15 minutos y en cada tramo cuando el flujo de ciclistas es nulo debieran ser razonablemente similares. De no ser así, se deberá identificar el factor que las hace variar e incluirlo en la modelación. Los datos serán tabulados en forma similar a la que presenta el Cuadro N°1.

### Cuadro N° 1

#### Formato tabulación ahorros de CGV

Punto	Período	Flujo de biciclos	Velocidad media de vehículos					Flujo de Vehículos					
			Auto	Camta.	Bus	CL	CP	Auto	Camta.	Bus	CL	CP	

Fuente: elaboración propia en base a Estudio “Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas”. CIMA Ingeniería EIRL. Sept 2007.

A partir de esta tabla se estimará por regresión lineal el modelo de fricción lateral para el conjunto de la ruta en estudio o para cada tramo homogéneo que haya sido definido. De no obtenerse resultados consistentes con el supuesto básico, se podrá usar factores específicos de reducción de velocidad según el nivel de flujo de bicicletas, los que debieran estar en el rango de 0,98 para menos de 40 bicicletas/hora a 0,95 para niveles de más de 40 bicicletas/hora.

El cómputo de beneficios se realizará cuantificando los ahorros de recursos mediante el modelo COPER y valorizándolos a los precios sociales definidos por MIDEPLAN. Se determinará a partir del modelo de fricción lateral la relación esperada entre velocidad sin ciclovías y con proyecto, la cual no podrá ser inferior a 0,9 en ningún período. Este factor será aplicado en la velocidad deseada de circulación (VDESIR) para determinar la velocidad resultante en la condición sin ciclovía, obteniéndose los costos de operación correspondientes a la vía analizada. Estos resultados se compararán con los obtenidos en la condición con proyecto, sin alterar la velocidad deseada de circulación, para determinar los beneficios unitarios por concepto de la ciclovía, en cada período determinado. Aplicando los flujos vehiculares propios de cada período, se podrá determinar el beneficio total esperado de la ciclovía.

## **2. Beneficios por reducción de accidentes**

Con respecto a la tercera fuente de beneficios, la reducción en la ocurrencia de accidentes, se recolectará información histórica acerca del número de accidentes que

afecten a ciclistas en el tramo en estudio, así como las consecuencias de los mismos en términos de fatalidades, deseablemente para un período de tres años. De no observarse fatalidades en accidentes en los que al menos uno de los vehículos involucrados corresponda a bicicletas, se recomienda no estimar este efecto.

Se asumirá que la habilitación de la ciclovía reduce estos accidentes en un 15%, según los criterios establecidos en el Estudio “Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas”. CIMA Ingeniería EIRL. Sept 2007, contratado por MIDEPLAN y SECTRA.

### **C. Metodología simplificada para la etapa de perfil**

La metodología propuesta puede resultar demasiado costosa de aplicar para proyectos que se encuentren en etapa de perfil, lo cual hace necesario definir metodologías simplificadas para dicha etapa.

Por lo tanto, en etapa de perfil se asumirá que el beneficio actualizado de las obras tendrá un valor equivalente a sus costos actualizados de construcción y conservación.

## **III. ACERAS**

### **A. Identificación de beneficios**

Las fuentes de beneficios que serán consideradas son las siguientes:

1. Beneficios por disminución de accidentes. Se producen en la situación con proyecto por el aumento de seguridad de la circulación de los peatones producto de la segregación entre vía de circulación de vehículos y acera.

### **B. Cuantificación de beneficios**

Con respecto a la reducción en la ocurrencia de accidentes, se recolectará información histórica acerca del número de accidentes que afecten a peatones y/o correspondan a atropellos en el tramo en estudio, así como las consecuencias de los mismos en términos de lesionados y fatalidades, deseablemente para un período de tres años. De no observarse fatalidades como consecuencia de atropellos en el período indicado, se recomienda no estimar este efecto.

Se asumirá que la habilitación de la acera reduce estos accidentes en un 5%, según los criterios establecidos en el Estudio “Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas”. CIMA Ingeniería EIRL. Sept 2007, contratado por MIDEPLAN y SECTRA.

### **C. Metodología simplificada para la etapa de perfil**

La metodología propuesta puede resultar demasiado costosa de aplicar para proyectos que se encuentren en etapa de perfil, lo cual hace necesario definir metodologías simplificadas para dicha etapa.

Por lo tanto, en etapa de perfil se asumirá que el beneficio actualizado de las obras tendrá un valor equivalente a sus costos actualizados de construcción y conservación.

## **IV. PASARELAS**

### **A. Identificación de beneficios**

Las fuentes de beneficios que serán consideradas son las siguientes:

1. Beneficios por ahorros de tiempo de vehículos motorizados. Se producen en la situación con proyecto por la disminución del nivel de interferencia que provocan los peatones cruzando la vía hacia los automóviles, buses y camiones que circulan por éstas, lo que incide directamente en una disminución del tiempo de viaje, y por lo tanto, en un ahorro de tiempo de las personas.
2. Disminución de los costos de operación de los vehículos motorizados, producto de la disminución del nivel de interferencia con los peatones, ya sea por ahorro de combustible u otro costo.
3. Beneficios por disminución de accidentes. Se producen en la situación con proyecto por el aumento de seguridad de la circulación de los peatones producto de la segregación entre vía de circulación de vehículos y pasarela.
4. Beneficios o desbeneficios en la circulación de peatones, por variación en tiempos de espera, distancias caminadas, y por el hecho de tener que subir hasta la altura de la pasarela.

La existencia de estos beneficios está directamente relacionada con la situación base que se esté considerando. En la presente guía han sido tratados los siguientes cuatro casos:

- I. Cruce no regulado de peatones en un lugar cualquiera aprovechando brechas en la corriente de vehículos.
- II. Cruce demarcado de peatones señalizado con una reducción de velocidad.
- III. Cruce provisto de un semáforo peatonal actuado, o paso de cebra con prioridad al peatón.
- IV. Cruce de peatones a través de una pasarela existente a cierta distancia del punto deseado de cruce.



## **B. Cuantificación de beneficios**

### **1. Beneficios por ahorro de tiempo y costos de operación**

Para cuantificar las dos primeras fuentes de beneficios se tienen cuatro situaciones. En el caso del cruce no regulado (I) se puede afirmar a priori que el efecto de los peatones cruzando sobre la velocidad de los vehículos es en general pequeño, y además difícil de medir. Por lo tanto, si bien se reconoce que el efecto podría existir, se propone no cuantificarlo.

En los casos de cruces señalizados (II y III), se podrá suponer que los vehículos reducen su velocidad de acuerdo a la restricción establecida, o en su caso se detienen para dar paso al peatón. Los impactos de estas situaciones sobre los tiempos de viaje y costos de operación de vehículos pueden ser simulados mediante un modelo probabilístico o mediante un software de ingeniería de tránsito<sup>1</sup>, correspondiendo al modelador o en su caso a los términos de referencia específicos la decisión acerca del modelo más adecuado en cada proyecto.

En el caso del cruce de peatones a través de una pasarela existente (IV), obviamente no existen impactos sobre la velocidad de los vehículos.

Para poder aplicar estas metodologías se requiere realizar estudios de base que comprendan los siguientes aspectos:

- Flujo clasificado de vehículos motorizados (veh/hora)
- Flujo de peatones que cruza (pers/hora)

Además, según el software de simulación que se use, podría ser necesario medir parámetros adicionales.

Estas mediciones deberán realizarse en un tramo representativo de la ubicación propuesta para la nueva pasarela. Los flujos de vehículos y peatones deberán totalizarse cada 15 minutos. El período de medición debe cubrir los horarios en que el flujo de peatones es mayor y también horarios en que dicho flujo es escaso o nulo.

A partir de estas mediciones se definirá una periodización por hora del día, definiendo períodos en cuyo interior se tengan flujos relativamente constantes.

El cómputo de beneficios se realizará cuantificando los ahorros de recursos mediante el modelo de simulación utilizado y valorizándolos a los precios sociales definidos por MIDEPLAN.

---

<sup>1</sup> Entre los modelos de simulación se puede mencionar PARAMICS, AIMSUM, VISSIM, SIMWALK. SIDRA es un modelo probabilístico que puede ser utilizado en el caso de semáforo peatonal.

## **2. Beneficios por reducción de accidentes**

Con respecto a la tercera fuente de beneficios, la reducción en la ocurrencia de accidentes, se recolectará información histórica acerca del número de accidentes que afecten a peatones en el cruce en estudio, así como las consecuencias de los mismos en términos de lesionados y fatalidades, deseablemente para un período de tres años. Para efectos de determinar los accidentes, se considerarán aquellos accidentes por cruce de peatones localizados en el entorno del cruce, considerando 1 km a la redonda. De no observarse fatalidades como consecuencia de atropellos por cruce de peatones en el período indicado, se recomienda no estimar este efecto.

Se asumirá que la habilitación de la pasarela reduce estos accidentes en un 80%, según los criterios establecidos en el Estudio “Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas”. CIMA Ingeniería EIRL. Sept 2007, contratado por MIDEPLAN y SECTRA.

## **3. Beneficios por circulación de peatones**

Con respecto a la cuarta fuente, esto es los beneficios o desbeneficios en la circulación de peatones, por variación en tiempos de viaje, distancias caminadas, y por el hecho de tener que subir hasta la altura de la pasarela, se propone utilizar modelos de simulación para determinar los atributos relevantes de las situaciones base y con proyecto, y valorizar dichos atributos mediante experimentos de preferencias declaradas, realizados de acuerdo a la metodología general presentada en el Anexo “Enfoque de Preferencias Declaradas”.

Para ello resulta necesario realizar los siguientes estudios de base complementarios a los anteriormente señalados:

- Conteo del flujo de peatones que cruza la vía, desagregado por punto de cruce, incluyendo en su caso la medición del flujo que usa la pasarela existente.
- Origen y destino local de los flujos peatonales que cruzan, orientado a determinar el punto de cruce “ideal” para cada peatón o grupo de peatones.
- Nivel de ingreso de los peatones que cruzan, de modo de poder aplicar el método de Gálvez y Jara para obtener valoraciones sociales.

En términos de tiempo de viaje, en los tres primeros casos (I, II y III) de la situación base pueden existir tiempos de espera de la aparición de una brecha para cruzar, o de la aparición de la señal verde del semáforo. Estos tiempos de espera desaparecen en la situación con proyecto, pero aparecen tiempos de viaje adicionales que corresponden a los necesarios para caminar hasta el emplazamiento de la pasarela, subir y bajar escaleras o rampas, y caminar hasta su punto de cruce ideal. La cuantificación de los tiempos de espera para cruzar en los dos primeros casos puede hacerse mediante un modelo de brechas, del tipo usado para analizar intersecciones no semaforizadas.

En el cuarto caso de la situación base (IV), existen tiempos de viaje necesarios para caminar hasta la ubicación de la pasarela existente, los cuales se reducen en la situación con proyecto.

En cuanto a la valoración de los atributos, se propone cuantificarlos mediante un experimento de preferencias declaradas realizado de acuerdo a la metodología general presentada en el Anexo “Enfoque de Preferencias Declaradas” y aplicado a los peatones que cruzan. En este experimento deberán plantearse distintas alternativas de tiempos de cruce, distancias caminadas y alturas de pasarela, permitiendo de este modo obtener una valoración subjetiva para cada uno de estos atributos.

### **C. Metodología simplificada para la etapa de perfil**

La metodología propuesta puede resultar demasiado costosa de aplicar para proyectos que se encuentren en etapa de perfil, lo cual hace necesario definir metodologías simplificadas para dicha etapa.

Por lo tanto, en etapa de perfil se asumirá que el beneficio actualizado de las obras tendrá un valor equivalente a sus costos actualizados de construcción y conservación.

## **V. MIRADORES, ÁREAS DE DETENCIÓN Y/O DESCANSO**

### **A. Identificación de beneficios**

Las fuentes de beneficios que serán consideradas son las siguientes:

1. Beneficios por ahorros de tiempo de vehículos motorizados. Se producen en la situación con proyecto por la disminución del nivel de interferencia que provocan los vehículos detenidos en la berma o calzada y las personas que suben o bajan de los mismos, hacia los automóviles, buses y camiones que circulan por la vía, lo que incide directamente en una disminución del tiempo de viaje, y por lo tanto, en un ahorro de tiempo de las personas.
2. Disminución de los costos de operación de los vehículos motorizados, producto de la disminución del nivel de interferencia con los vehículos detenidos, ya sea por ahorro de combustible u otro costo.
3. Beneficios por disminución de accidentes. Se producen en la situación con proyecto por el aumento de seguridad de la circulación producto de la segregación entre vía de circulación de vehículos y lugar de detención.
4. Beneficios de los usuarios que utilizan la vía, derivados de la mayor comodidad que significa contar con áreas de detención y miradores.

## **B. Cuantificación de beneficios**

### **1. Beneficios por ahorro de tiempo y costos de operación**

Para cuantificar las dos primeras fuentes de beneficios se utilizará un modelo de fricción lateral, descrito en el Anexo “Modelo de Fricción Lateral”.

Para poder estimar este modelo se requiere realizar estudios de base que comprendan los siguientes aspectos:

- Flujo clasificado de vehículos motorizados (veh/hora);
- Densidad de vehículos detenidos (veh/km);
- Velocidad de circulación de vehículos motorizados (km/hora);

Estas mediciones deberán realizarse en un tramo representativo de la ubicación propuesta para el mirador, área de detención y/o descanso. Los flujos deberán totalizarse cada 15 minutos. El período de medición debe cubrir los horarios en que la detención de vehículos es mayor y también horarios en que dicho flujo es escaso o nulo.

Simultáneamente con los conteos de flujo y en los mismos lugares y horarios deberán realizarse mediciones de velocidad de vehículos motorizados, desagregadas entre vehículos livianos, camionetas, buses, camiones livianos y camiones pesados. Para determinar las velocidades se podrá usar medios electrónicos de registro instantáneo de velocidad o el método de las patentes.

Para cada cuarto de hora se deberá realizar un mínimo de 3 mediciones correctas por tipo de vehículo, siendo lo recomendable contar con 10 mediciones para cada tipo de vehículo en cada intervalo de 15 minutos. De no ser posible contar con observaciones suficientes, se descartará el cuarto de hora en la estimación del modelo de fricción lateral.

A partir de las mediciones de flujo se definirá una periodización por hora del día, definiendo períodos en cuyo interior se tengan flujos relativamente constantes.

La densidad de vehículos detenidos se medirá en el entorno de la ubicación del mirador, en un radio de no más de 500 m. respecto de su localización. Se recomienda considerar el nivel de rotación en el uso de los estacionamientos, entendido como el número de ingresos o salidas respecto al promedio de vehículos estacionados, cada 15 minutos. En condiciones en las cuales se observa una mayor variabilidad de vehículos estacionados, el parámetro de rotación debiera incluirse en la estimación del modelo de fricción lateral.

El resultado esperado es que la velocidad media de circulación de los vehículos motorizados sea mayor cuanto menor sea la densidad de vehículos detenidos. En especial, las velocidades medias obtenidas en cada período de 15 minutos y en cada tramo cuando no hay vehículos detenidos debieran ser razonablemente similares. De no

ser así, se deberá identificar el factor que las hace variar e incluirlo en la modelación. Los datos serán tabulados en forma similar a la que presenta el Cuadro N°2.

**Cuadro N° 2**

**Formato tabulación ahorros de CGV**

Punto	Período	Densidad de vehículos detenidos	Velocidad media de vehículos					Flujo de Vehículos					
			Auto	Camta.	Bus	CL	CP	Auto	Camta.	Bus	CL	CP	

Fuente: elaboración propia en base a Estudio “Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas”. CIMA Ingeniería EIRL. Sept 2007.

A partir de esta tabla se calculará por regresión lineal modelo de fricción lateral en el entorno del mirador o área de detención.

En el caso de trazados nuevos, en los cuales no es posible realizar las mediciones mencionadas, el flujo de vehículos deberá obtenerse de un modelo de transporte. La variación de velocidad deberá ser adoptada sobre la base de estudios anteriores asimilables.

El cómputo de beneficios se realizará cuantificando los ahorros de recursos mediante el modelo COPER y valorizándolos a los precios sociales definidos por MIDEPLAN. Se determinará a partir del modelo de fricción lateral la relación esperada entre velocidad sin mirador o área de detención y/o descanso, y en la situación con proyecto, la cual no podrá ser superior a 0,9 en ningún período. Este factor será aplicado en la velocidad deseada de circulación (VDESIR) para determinar la velocidad resultante en la condición base, obteniéndose los costos de operación correspondientes a la vía analizada. Estos resultados se compararán con los obtenidos en la condición con proyecto, sin alterar la velocidad deseada de circulación, para determinar los beneficios unitarios por concepto del mirador o área de detención y/o descanso, en cada período determinado. Aplicando los flujos vehiculares propios de cada período, se podrá determinar el beneficio total esperado del mirador o área de detención y/o descanso.

**2. Beneficios por reducción de accidentes**

Con respecto a la tercera fuente de beneficios, la reducción en la ocurrencia de accidentes, se recolectará información histórica acerca del número total de accidentes en el tramo en estudio, así como las consecuencias de los mismos en términos de lesionados y fatalidades, deseablemente para un período de tres años. De no observarse fatalidades como consecuencia de los accidentes en el área de descanso o mirador, se recomienda no estimar este efecto.

Se asumirá que la habilitación del mirador, área de detención y/o descanso reduce estos accidentes totales en un 5%, según los criterios establecidos en el Estudio “Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas”. CIMA Ingeniería EIRL. Sept 2007, contratado por MIDEPLAN y SECTRA.

### **3. Beneficios a usuarios**

Con respecto a la cuarta fuente, esto es los beneficios de los usuarios que utilizan el mirador o área de detención y/o descanso, derivados de la mayor comodidad en la detención y del acceso a una mejor calidad de vista, se propone usar para su determinación el criterio de asociar el beneficio a la disposición a pagar por la existencia de estas áreas, cuantificado mediante un experimento de preferencias declaradas.

El experimento podría referirse a la opción de elegir entre dos rutas con atractivo escénico, una gratuita sin mirador o área de detención y/o descanso, y otra con este equipamiento y pago de peaje. De acuerdo a los requerimientos puede considerarse niveles de equipamiento diferentes tales como:

- Nivel 1: Área de tierra al lado del camino, con un basurero.
- Nivel 2: Área con servicios higiénicos, agua potable, árboles de sombra, mesas y sillas para sentarse a comer, área de estacionamiento para vehículos.
- Nivel 3: Área con estacionamiento para vehículos, bomba de bencina, restaurant, comercio menor, farmacia.

Para mejorar la calidad y la validez del ejercicio, las opciones se pueden presentar con apoyo de fotos, sean estas reales o el producto de fotomontaje.

El experimento deberá ser aplicado a los usuarios de vehículos motorizados. Los tamaños muestrales dependerán del número de atributos considerados y de la segmentación de usuarios. El tamaño mínimo corrientemente aceptado es de 30 encuestas por cada atributo y segmento. Por ejemplo, si hubiera 2 atributos y 3 segmentos, se requerirían 180 encuestas.

### **C. Metodología simplificada para la etapa de perfil**

La metodología propuesta puede resultar demasiado costosa de aplicar para proyectos que se encuentren en etapa de perfil, lo cual hace necesario definir metodologías simplificadas para dicha etapa.

Por lo tanto, en etapa de perfil se asumirá que el beneficio actualizado de las obras tendrá un valor equivalente a sus costos actualizados de construcción y conservación.

## **VI. PARADEROS Y CASSETAS**

### **A. Identificación de beneficios**

Las fuentes de beneficios que serán consideradas son las siguientes:

1. Beneficios por ahorros de tiempo de vehículos motorizados. Se producen en la situación con proyecto por la disminución del nivel de interferencia que provocan los vehículos detenidos en la berma o calzada y las personas que suben o bajan de los mismos, hacia los automóviles, buses y camiones que circulan por la vía, lo que incide directamente en una disminución del tiempo de viaje, y por lo tanto, en un ahorro de tiempo de las personas.
2. Disminución de los costos de operación de los vehículos motorizados, producto de la disminución del nivel de interferencia con los vehículos detenidos, ya sea por ahorro de combustible u otro costo.
3. Beneficios por disminución de accidentes. Se producen en la situación con proyecto por el aumento de seguridad de la circulación producto de la segregación entre vía de circulación de vehículos y lugar de detención.
4. Beneficios de los usuarios que utilizan el paradero, derivados del mayor agrado y comodidad que significa la protección de las inclemencias del clima.

### **B. Cuantificación de beneficios**

#### **1. Beneficios por ahorro de tiempo y costos de operación**

Para cuantificar las dos primeras fuentes beneficios se utilizará un modelo de fricción lateral, descrito en el Anexo "Modelo de Fricción Lateral". Estas fuentes de beneficio se considerarán exclusivamente si el diseño vial comprende un área segregada de detención del vehículo de transporte público, inexistente en la situación sin proyecto, ya que de otro modo no existirán beneficios.

Para poder estimar el modelo se requiere realizar estudios de base que comprendan los siguientes aspectos:

- Flujo clasificado de vehículos motorizados (veh/hora);
- Actividad del paradero (subidas, bajadas, tiempo de detención);
- Velocidad de circulación de vehículos motorizados (km/hora);

Estas mediciones deberán realizarse en un tramo representativo de la ubicación propuesta para los paraderos. Los flujos deberán totalizarse cada 15 minutos. El período de medición debe cubrir los horarios en que la detención de vehículos es mayor y también horarios en que dicho flujo es escaso o nulo.

Simultáneamente con los conteos de flujo y en los mismos lugares y horarios deberán realizarse mediciones de velocidad de vehículos motorizados, desagregadas entre

vehículos livianos, camionetas, buses, camiones livianos y camiones pesados. Para determinar las velocidades se podrá usar medios electrónicos de registro instantáneo de velocidad o el método de las patentes.

Al efectuar las mediciones hay que chequear si a propósito de la parada de transporte público se han puesto restricciones de velocidad para el resto de los vehículos, y se debe definir si en el caso de establecer un paradero esta restricción sería levantada.

Para cada cuarto de hora se deberá realizar un mínimo de 3 mediciones correctas por tipo de vehículo, siendo lo recomendable contar con 10 mediciones para cada tipo de vehículo en cada intervalo de 15 minutos. De no ser posible contar con observaciones suficientes, se descartará el cuarto de hora en la estimación del modelo de fricción lateral.

A partir de las mediciones de flujo se definirá una periodización por hora del día, definiendo períodos en cuyo interior se tengan flujos relativamente constantes.

La medición de la actividad del paradero se realizará con medidores localizados en él, contabilizando para cada operación de transporte público el tiempo de detención y el número de pasajeros que sube o baja de cada vehículo.

El resultado esperado es que la velocidad media de circulación de los vehículos motorizados sea mayor cuanto menor sea la actividad del paradero reflejado en parámetros como número total de pasajeros, número de subidas, número de descensos o número de operaciones de buses. En especial, las velocidades medias obtenidas en cada período de 15 minutos y en cada tramo cuando no hay vehículos detenidos debieran ser razonablemente similares. De no ser así, se deberá identificar el factor que las hace variar e incluirlo en la modelación. Los datos serán tabulados en forma similar a la que presenta el Cuadro N°3.

### Cuadro N° 3

#### Formato tabulación ahorros de CGV

Punto	Período	Parámetros Actividad del paradero	Velocidad media de vehículos					Flujo de Vehículos				
			Auto	Camta.	Bus	CL	CP	Auto	Camta.	Bus	CL	CP

Fuente: elaboración propia en base a Estudio “Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas”. CIMA Ingeniería EIRL. Sept 2007.

A partir de esta tabla se calculará por regresión lineal el modelo de fricción lateral en el entorno del paradero.

En el caso de trazados nuevos, en los cuales no es posible realizar las mediciones mencionadas, el flujo de vehículos deberá obtenerse de un modelo de transporte. La



variación de velocidad deberá ser adoptada sobre la base de estudios anteriores asimilables.

El cómputo de beneficios se realizará cuantificando los ahorros de recursos mediante el modelo COPER y valorizándolos a los precios sociales definidos por MIDEPLAN. Se determinará a partir del modelo de fricción lateral la relación esperada entre velocidad sin área de parada y con proyecto, la cual no podrá ser inferior a 0,9 en ningún período. Este factor será aplicado en la velocidad deseada de circulación (VDESIR) para determinar la velocidad resultante en la condición base, obteniéndose los costos de operación correspondientes a la vía analizada. Estos resultados se compararán con los obtenidos en la condición con proyecto, sin alterar la velocidad deseada de circulación, para determinar los beneficios unitarios por concepto del área de parada, en cada período determinado. Aplicando los flujos vehiculares propios de cada período, se podrá determinar el beneficio total esperado del área de parada.

## **2. Beneficios por reducción de accidentes**

Con respecto a la reducción en la ocurrencia de accidentes, se recolectará información histórica acerca del número total de accidentes en el tramo en estudio, así como las consecuencias de los mismos en términos de lesionados y fatalidades, deseablemente para un período de tres años.

De acuerdo a lo planteado en el punto 10.1 Anexo "Beneficio por aumento de la seguridad", la segregación de la detención de vehículos produce una reducción de los accidentes totales del 1% al 5%. Se propone adoptar el valor del extremo superior del rango, esto es, una reducción del 5% sólo en los casos en que se considere la segregación del área de parada de transporte público. De no observarse fatalidades como consecuencia de los accidentes en el entorno del paradero, se recomienda no estimar este efecto.

## **3. Beneficio a usuarios**

Con respecto al cuarto grupo, esto es, los beneficios de los usuarios que utilizan el paradero, derivados del mayor agrado y comodidad que significa para los usuarios la protección de las inclemencias del clima, se propone usar para su determinación el criterio de asociar el beneficio a la disposición a pagar por la existencia de los mismos, cuantificado mediante un experimento de preferencias declaradas, realizado de acuerdo a la metodología general presentada en el punto C Anexo "Enfoque de Preferencias Declaradas".

Para aplicar este método se deberá definir, como variable del experimento, el nivel de equipamiento y protección del paradero. Este nivel de equipamiento debe ser definido como parte del proyecto, o incluso pueden ser planteados en el experimento diversos niveles. Para mejorar la calidad y la validez del ejercicio, las opciones se pueden presentar con apoyo de fotos, sean estas reales o el producto de fotomontaje.

### **C. Metodología simplificada para la etapa de perfil**

La metodología propuesta puede resultar demasiado costosa de aplicar para proyectos que se encuentren en etapa de perfil, lo cual hace necesario definir metodologías simplificadas para dicha etapa.

Por lo tanto, en etapa de perfil se asumirá que el beneficio actualizado de las obras tendrá un valor equivalente a sus costos actualizados de construcción y conservación.

## **VII. ILUMINACIÓN**

### **A. Identificación de beneficios**

Las fuentes de beneficios que serán consideradas son las siguientes:

1. Beneficios por disminución de accidentes. Se producen en la situación con proyecto por el aumento de seguridad de la circulación producto de la mejor visibilidad provista por las obras de iluminación.

### **B. Cuantificación de beneficios**

Con respecto a la única fuente de beneficios, la reducción en la ocurrencia de accidentes, se recolectará información histórica acerca del número total de accidentes en el tramo en estudio, así como las consecuencias de los mismos en términos de lesionados y fatalidades, deseablemente para un período de tres años.

Se asumirá que la habilitación de las obras de iluminación reduce estos accidentes totales en los porcentajes señalados en el Cuadro N°4.

**Cuadro N° 4**

#### **Porcentaje de reducción por introducción de alumbrado**

Medida	% de Reducción	
	Total diario	Accidentes Nocturnos
En General	25	50
Segmento de carretera	25	45
Intersección	30	50
Intercambiador	25	50
Cruce Ferroviario	30	60

Fuente: elaboración propia en base a Estudio "Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas". CIMA Ingeniería EIRL. Sept 2007.

En el cuadro anterior se dan dos valores para cada tipología vial, el primero se refiere a la disminución de accidentes considerando todos los horarios, el segundo considerando

solamente los accidentes nocturnos. La razón es que en términos prácticos es muchas veces difícil identificar apropiadamente los accidentes nocturnos, pues la hora de salida y puesta del sol varían durante el año, además, la indicación de la hora del accidente suele ser aproximada.

Se debe descontar de este beneficio los costos de conservación de las obras de iluminación y el costo del consumo de energía eléctrica.

### **C. Metodología simplificada para la etapa de perfil**

La metodología propuesta puede resultar demasiado costosa de aplicar para proyectos que se encuentren en etapa de perfil, lo cual hace necesario definir metodologías simplificadas para dicha etapa.

Por lo tanto, en etapa de perfil se asumirá que el beneficio actualizado de las obras tendrá un valor equivalente a sus costos actualizados de construcción y conservación.

## **VIII. LECHOS DE FRENADO**

### **A. Identificación de beneficios**

Las fuentes de beneficios que serán consideradas son las siguientes:

1. Beneficios por disminución de accidentes. Se producen en la situación con proyecto por el aumento de seguridad de la circulación producto de la existencia de lechos de frenado.

### **B. Cuantificación de beneficios**

Con respecto a la única fuente de beneficios, la reducción en la ocurrencia de accidentes, se recolectará información histórica acerca del número total de accidentes que podrían haber sido evitados por la existencia de lechos de frenado en el tramo en estudio, así como las consecuencias de los mismos en términos de lesionados y fatalidades, deseablemente para un período de tres años.

Se asumirá que la habilitación de las obras reduce estos accidentes en un 36%, según los criterios establecidos en el Estudio “Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas”. CIMA Ingeniería EIRL. Sept 2007, contratado por MIDEPLAN y SECTRA.

### **C. Metodología simplificada para la etapa de perfil**

La metodología propuesta puede resultar demasiado costosa de aplicar para proyectos que se encuentren en etapa de perfil, lo cual hace necesario definir metodologías simplificadas para dicha etapa.

Por lo tanto, en etapa de perfil se asumirá que el beneficio actualizado de las obras tendrá un valor equivalente a sus costos actualizados de construcción y conservación.

## **IX. PLAZAS DE PESAJE**

### **A. Identificación de beneficios**

Las fuentes de beneficios que serán consideradas son las siguientes:

1. Beneficios por incremento en la vida útil de la red vial, o en otras palabras, por la reducción en costos de conservación y rehabilitación. Estos beneficios se obtienen a partir del efecto inhibitorio sobre el tránsito de camiones que circulan con mayor peso por eje que el permitido en el camino.

### **B. Cuantificación de beneficios**

La cuantificación de beneficios parte por determinar en forma estadística la cantidad de vehículos con sobrepeso que circularía por la red vial si no existiera el control de peso. Dado que actualmente dicho control existe, esta distribución no puede ser estimada. Sin embargo, es posible plantear un modelo de riesgo, desde el punto de vista del transportista, en el que se haga un balance entre los beneficios ciertos derivados de circular con sobrepeso y los costos probabilísticos de ser sorprendido, esto es, las multas.

En este contexto, las plazas de pesaje adicionales incrementan la probabilidad de ser detectado, cambiando así la proporción de vehículos con sobrepeso.

La valoración del beneficio se obtiene de la estimación del costo de las obras de conservación o rehabilitación evitadas o postergadas.

### **C. Metodología simplificada para la etapa de perfil**

En el caso de las plazas de pesaje se propone realizar una evaluación basada en las insuficiencias de cobertura que la red de plazas existente presente. Ello puede apoyarse en un análisis de centros generadores de cargas que pudieran presentar sobrepeso y que con la red existente no podrían ser controlados.

El indicador principal en este caso sería la cantidad de vehículos pesados – kilómetro adicionales controlados, dividida por el costo de las obras. Debieran ser seleccionadas las localizaciones que maximicen dicho indicador.

## **X. AJUSTES A PRECIOS SOCIALES**

Por último, en todas las alternativas de valorización de beneficios los precios privados de bienes e insumos deben ser corregidos a precios sociales, desagregando: i) IVA; ii) Aranceles; iii) Precio Social de la Divisa y iv) Precio Social de la Mano de Obra.

## XI. ANEXO METODOLOGICO

### A. Beneficios por aumento de la seguridad

La metodología corrientemente aceptada para evaluar mejoramientos en la seguridad se basa en dos elementos principales. El primero se refiere a la estimación del número de accidentes, lesionados y fatalidades que se producirían en cada año del horizonte de evaluación en la situación base o de referencia, desagregado por tipo de accidente, y la estimación de la reducción en dichos números en la situación con proyecto. La segunda se refiere a la estimación de un costo social unitario asociado a dichas reducciones.

Con respecto al segundo elemento, se propone utilizar los valores definidos en el estudio "Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas" (MIDEPLAN - SECTRA, 2007), los cuales son reproducidos en los Cuadros N°5 y N°6.

#### Cuadro N° 5

##### Costo Medio Social por Daños a Vehículos por Tipo de Accidente \$ Diciembre 2006

Tipo de Accidente	Costo Social (\$/Veh)	
	Vehículos Livianos	Vehículos Pesados
Atropello	436.253	216.791
Choque	1.734.772	4.270.970
Colisión	1.599.128	6.417.386
Volcadura	4.195.526	8.422.452

Fuente: elaboración propia en base a Estudio "Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas". CIMA Ingeniería EIRL. Sept 2007.

#### Cuadro N° 6

##### Costos Sociales Totales Asociados a Lesionados (\$/lesionado de 2006)

Nivel de Gravedad	Costo Social (\$/Acc)
Leve	469.722
M. Grave	616.110
Grave	2.339.214
Fatal	68.015.970

Fuente: elaboración propia en base a Estudio "Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas". CIMA Ingeniería EIRL. Sept 2007.

Se ha considerado conveniente convertir estos valores a Unidades de Fomento para facilitar su uso, usando el valor de la UF al 31 de Diciembre de 2006. Los resultados son mostrados en los Cuadros N°7 y N°8.

**Cuadro N° 7**

**Costo Medio Social por Daños a Vehículos por Tipo de Accidente**

Tipo de Accidente	Costo Social (UF/Veh)	
	Vehículos Livianos	Vehículos Pesados
Atropello	23,79	11,82
Choque	94,61	232,92
Colisión	87,21	349,98
Volcadura	228,81	459,33

Fuente: elaboración propia en base a Estudio “Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas”. CIMA Ingeniería EIRL. Sept 2007.

**Cuadro N° 8**

**Costos Sociales Totales Asociados a Lesionados**

Nivel de Gravedad	Costo Social (UF/Acc)
Leve	25,62
M. Grave	33,60
Grave	127,57
Fatal	3.709,35

Fuente: elaboración propia en base a Estudio “Análisis y Definición de una Metodología para la Evaluación Social de Impactos de Proyectos sobre la Seguridad Vial en Rutas Interurbanas”. CIMA Ingeniería EIRL. Sept 2007.

Se propone incorporar los dos cuadros anteriores en la guía metodológica. Sin embargo, a futuro sería preferible que estos valores fueran incluidos en el instructivo anual sobre precios sociales, lo cual permitiría mantenerlos plenamente actualizados.

Con respecto al primer elemento, la práctica actual considera dos métodos de cuantificación de reducción en el número de accidentes. El primero corresponde a un método agregado, el cual genera tasas de ocurrencia sobre la base de regresiones estadísticas. Típicamente este método se usa para evaluar reducciones debidas a cambio de estándar de una vía, tales como pavimentaciones y segundas calzadas.

El segundo método es desagregado y está orientado principalmente a evaluar contramedidas de seguridad. Habitualmente se generan tasas de reducción de accidentes totales o de cierto tipo, como consecuencia de las medidas aplicadas.

Este segundo enfoque resulta más adecuado para los fines del presente estudio, en el cual se trata de definir beneficios por seguridad para los siguientes tipos de obras:

- Ciclovías
- Aceras
- Pasarelas
- Miradores
- Paraderos y casetas
- Iluminación
- Lechos de frenado

Los cinco primeros tipos tienen riesgos relacionados con la presencia de ciclistas, peatones y vehículos detenidos en la vía o berma. Los otros dos corresponden a riesgos propios de los vehículos motorizados.

Por sus características comunes realizaremos un análisis genérico de los cinco primeros tipos: ciclovías, aceras, pasarelas, miradores y paraderos y casetas. El supuesto básico es que el riesgo en estos casos puede definirse como la probabilidad de que se produzca un accidente cuando un vehículo motorizado en marcha se encuentra con un ciclista, peatón o vehículo detenido. El número de accidentes estaría dado por la expresión:

$$N = a * T * F$$

*Donde:*

*N* es el número de accidentes por unidad de tiempo y por unidad de distancia

*A* es la probabilidad de accidente

*T* es el flujo de vehículos por unidad de tiempo

*F* es el número de peatones, ciclistas o vehículos detenidos por unidad de distancia.

Sin embargo, este modelo tiene sólo un valor conceptual, pues no puede ser aplicado directamente. La dificultad radica en que la probabilidad  $\alpha$  es desconocida. En general se cuenta con información estadística acerca de las variables *N* y *T*, pero *F* nunca es considerado en dichas estadísticas.

A partir de la información existente sería posible hacer una estimación del producto  $\alpha * F$ , pero ello correspondería a un promedio sobre todas las vías de cierto tipo existentes en el país o en determinada área geográfica. Si consideramos el caso particular de los peatones circulando por la calzada, es claro que el riesgo se concentra en los lugares en que dicha circulación efectivamente existe, y dicho riesgo es nulo en los lugares donde no hay peatones. Por lo tanto, no es posible determinar estadísticamente una tasa de ocurrencia de accidentes por circulación de peatones aplicable a todo tramo de vía, sino que dicha tasa será específica para cada situación concreta. Un análisis similar es aplicable a los ciclistas y vehículos detenidos.

De este modo, en los casos en estudio sólo es posible aplicar el segundo método desagregado, esto es proponer y adoptar tasas de reducción de accidentes como consecuencia de las medidas aplicadas. El uso de este método requiere conocer estadísticas de ocurrencia de accidentes en el tramo en estudio, las cuales usualmente están disponibles en las bases de datos de la Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito.

### Cuadro N° 9

#### **Efectos de pistas para peatones y ciclistas, pistas de bicicletas, aceras y pasarelas**

Medida	Porcentaje de cambio en el número de accidentes con lesionados o fallecidos		
	Tipo de accidente	Mejor estimación	Intervalo de Confianza (95%)
<b>Pista para Peatones y Ciclistas</b>	Peatones a lo largo del camino	-35	(-67, +29)
	Peatones cruzando	+1	(-32, +52)
	Todo accidente con peatones	-10	(-32, +21)
	Ciclistas a lo largo del camino	+1	(-37, +62)
	Ciclistas cruzando	+2	(-42, +78)
	Todo accidente de ciclistas	+1	(-29, +45)
	Accidentes con vehículos	+1	(-10, +14)
	Todos los accidentes	0	(-10, +11)
	<b>Veredas</b>	Accidentes de peatones	-5
Accidentes de ciclistas		-30	(-36, -22)
Accidentes con vehículos		+16	(+6, +27)
Todos los accidentes		-7	(-13, -1)
<b>Pistas de bicicletas</b>	Accidentes de peatones	-5	(-12, +3)
	Accidentes de ciclistas	-2	(-7, +4)
	Accidentes con vehículos	-5	(-9, -2)
	Todos los accidentes	-4	(-7, -1)
<b>Cruces peatonales a desnivel</b>	Peatones cruzando	-82	(-90, -69)
	Accidentes con vehículos	-9	(-29, +15)
	Todos los accidentes	-30	(-44, -13)

Fuente: Rune Elvick y Truls Vaa, The handbook of road safety measures, Elsevier, 2004.

En cuanto a las tasas de reducción, se propone recurrir a la experiencia internacional, dado que en nuestro país no existen estudios sobre dicho tema.

La recopilación más exhaustiva sobre los beneficios de estas medidas fue realizada por Elvick et al. (2004) En dicho trabajo se realizó un meta-análisis de una significativa



compilación de estudios individuales. En el caso que nos ocupa fueron considerados 32 estudios, lo que permitió la mejor estimación posible a la fecha de dichos beneficios. Los efectos identificados son los indicados en el Cuadro N°9. Este cuadro permite trabajar con diversos niveles de desagregación de accidentes, por ejemplo si solo se conoce su número total se deberá utilizar el valor de “todos los accidentes”, si existe una mayor desagregación se podrán utilizar los valores para los cuales existan datos.

En cuanto a los efectos en la seguridad de bahías para detención de buses o automóviles, éstos están asociados a su alternativa operacional, esto es, a estacionar en la berma. En Estados Unidos se ha estimado que estos accidentes corresponden al 1 - 5 % de los accidentes en caminos (Elvick et al. 2004). Se sugiere utilizar el valor mayor en Chile para aceras, miradores, paraderos y casetas, dado la baja disciplina de los conductores.

### **B. Modelo de Fricción Lateral**

Este modelo ha sido propuesto para cuantificar los efectos sobre el flujo vehicular de los siguientes factores:

- circulación de ciclistas en la vía o berma;
- presencia y/o circulación de peatones en la vía o berma;
- presencia de vehículos estacionados o detenidos en la vía o berma;

Se supone que el efecto principal de estos factores será una reducción de la velocidad  $V$  de los vehículos.

Conceptualmente, una función de velocidad posee tres componentes: la primera, corresponde a la estimación de la velocidad a flujo libre; la segunda, a una relación en que se determina cuánto es el efecto en la velocidad cuando circula una unidad más de flujo por el camino (arco) analizado; y la tercera corresponde a la reducción debida a la fricción lateral.

Para determinar la velocidad a flujo libre existe el modelo COPER (en su versión actualizada en 1998), el cual a partir de los datos de geometría del camino determina la velocidad a flujo libre para cada tipo de vehículo.

Respecto de la componente dependiente del flujo, la curva Flujo - Velocidad derivada de los modelos teóricos de tráfico en calzada simple genera una curva convexa entre 0 y la capacidad del camino, lo cual no está acorde con una formulación tipo BPR que genera una curva cóncava. Dado lo anterior, resulta más aconsejable utilizar una formulación lineal del tipo siguiente:

$$V_i = VFL_i + (V_c - VFL_i) \cdot \frac{(q + qc)}{Cap}$$

*Donde:*

$V_i$  es la velocidad de operación del vehículo tipo  $i$

$VFL_i$  es la velocidad a flujo libre del vehículo tipo  $i$  (obtenido directamente con COPER)

$V_c$  es la velocidad a capacidad en el arco analizado

$Q$  es el flujo total en veq/hr en el sentido del arco analizado

$Q_c$  es el flujo total en veq/hr en el sentido contrario del arco analizado

$Cap$  es la capacidad del arco en veq/hr (corresponde a la capacidad total en ambos sentidos, la cual es dependiente de la partición de flujos, la geometría, las restricciones de adelantamiento, etc.). Para su determinación se recomienda considerar el punto 3.102.8 Capacidad y Niveles de Servicio del Manual de Carreteras Vol. 3 o el Highway Capacity Manual, en su edición más reciente.

Las variables anteriores son todas conocidas salvo  $V_c$ . La velocidad a capacidad de un camino siempre está relacionada con la velocidad del vehículo más lento, que en definitiva es el que se ve menos afectado por el flujo. Por ello, un supuesto razonable es considerar que la velocidad a capacidad corresponde a un porcentaje de la velocidad a flujo libre del vehículo más lento que, en general, será el camión de más de 2 ejes.

A partir de los datos del estudio de Costos Viales de Estrasur, en el cual se simuló con el modelo TRARR 12 tipologías de camino según geometría (más de 3.000 simulaciones), para niveles de flujo entre 0 y la capacidad del camino, se obtuvo que en promedio la velocidad a capacidad (mayor nivel de flujo modelado) es un 72,6% de la velocidad a flujo libre del vehículo más lento (camión de más de 2 ejes). Dado lo anterior, se propone considerar dicho factor para determinar  $V_c$ .

De esta manera, para cada arco de la red es posible calcular la velocidad a flujo libre de cada vehículo y la velocidad a capacidad, con lo cual la función queda completamente definida. A modo de ejemplo, para un arco con SUB= 3,8 m/km; BAJ = 3,1 m/km; CUR = 37,8°/km; y Cap = 3000 veq/hr; se obtienen las velocidades indicadas en el Cuadro N°10 y la Figura N°1.

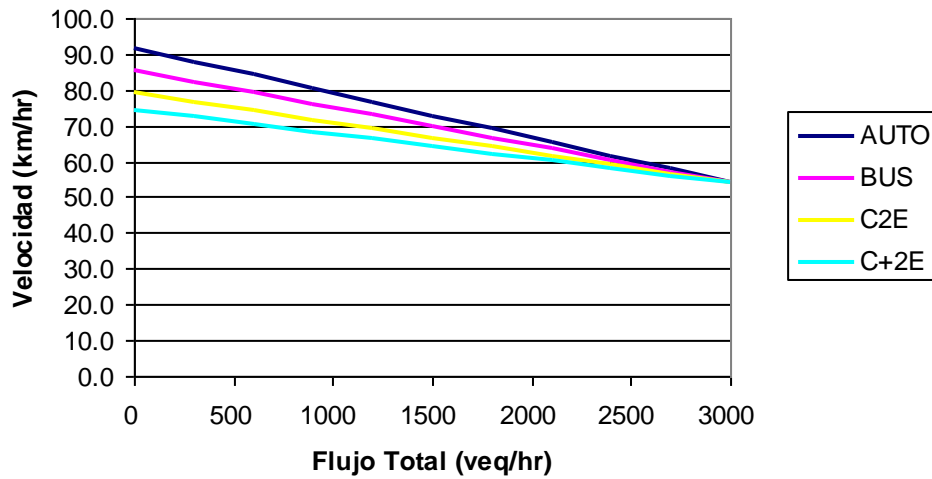
#### Cuadro N° 10

##### Ejemplo aplicación del modelo

Parámetro	Auto	Bus	C2e	C+2e
VFL	91.6	85.5	79.1	74.5
VC	54.1	54.1	54.1	54.1

Fuente: elaboración propia.

**Figura N° 1**  
**Curvas Flujo-Velocidad resultantes**



Fuente: elaboración propia.

El gráfico anterior muestra la velocidad de cada tipo de vehículo según el flujo total en la sección. Sin embargo, esta sólo es representativa de arcos sin fricción lateral.

Para incorporar la fricción lateral, una opción es considerar un parámetro FL agregado a la función Flujo - Velocidad definida anteriormente. Dado que es de esperar que los vehículos más lentos se vean afectados por la fricción lateral en magnitudes menores que los vehículos más rápidos, este parámetro debiera ser diferente para cada tipo de vehículo. Se obtiene así la expresión:

$$V_i = VFL_i + (Vc - VFL_i) \cdot \frac{(q + qc)}{Cap} + FL_i \cdot NFL$$

Donde:

*NFL* es el nivel de fricción lateral

Dado lo anterior, a partir de las mediciones realizadas en terreno y las estimaciones del modelo de velocidad a flujo libre, se estimaron los coeficientes para la fricción lateral asociados a cada tipo de vehículo, obteniéndose los siguientes resultados:

En el "Estudio de demanda y evaluación social Ruta 66 - Camino de la Fruta" (CITRA, 2005) a partir de mediciones realizadas en terreno se obtuvo los siguientes valores para los parámetros  $FL_i$  (Cuadro N°11).

### Cuadro N° 11

#### Ejemplo aplicación del modelo

Parámetro	Auto	Bus	C2e	C+2e
FL <sub>i</sub>	-24.6	-15.2	-9.5	-4.2

Fuente: elaboración propia.

Cabe recordar que estos valores equivalen a la reducción de velocidad que existiría desde un caso sin fricción lateral alguna hasta un caso en que la fricción lateral es la máxima posible.

Para obtener el valor de NFL a utilizar en la calibración, se deberá aplicar los datos de los resultados de las mediciones de velocidad, de flujo y los parámetros propios del camino analizado, que se suponen conocidos, a la siguiente fórmula, que resulta de despejar NFL de la ecuación de V<sub>i</sub>:

$$NFL = \frac{1}{FL_i} \cdot \left[ V_i - VFL_i - (V_c - VFL_i) \cdot \frac{(q + q_c)}{Cap} \right]$$

Para aplicar este modelo a los casos del presente estudio, en principio es posible asumir dos casos. El primero de ellos se produce cuando la fricción lateral actúa en forma binaria, esto es:

$$NFL = NFL_0 \text{ sin la presencia del factor}$$

$$NFL = NFL_0 + A \text{ con la presencia del factor}$$

Donde:

*NFL<sub>0</sub>* es el nivel de fricción lateral debido a factores distintos del analizado en cada caso;

*A* es el efecto del factor analizado.

El segundo caso se produce cuando es posible asociar una magnitud *N* al factor, caso en el cual se puede asumir una relación lineal del siguiente tipo:

$$NFL = NFL_0 + a_i * N$$

Donde:

*a<sub>i</sub>* es un factor a determinar para cada caso.

En ambos casos la reducción de velocidad implicará una variación en el tiempo de viaje y costos operacionales de los vehículos, los cuales pueden ser cuantificados mediante el bien conocido modelo COPER.

Los beneficios unitarios corresponderán al diferencial de costos de operación y de tiempos de viaje entre la situación con presencia del efecto y la situación en que el efecto desaparece. El beneficio total será mayor por lo tanto mientras mayor sea el flujo de

vehículos motorizados, en ambos casos. En el segundo caso, los beneficios totales serán además proporcionales a la magnitud N del factor.

Una expresión que puede resultar más sencilla de estimar corresponde a un modelo de la forma:

$$V_i = V_o + \gamma_i \cdot q / Cap + \sum_k \theta_k \cdot F_k$$

Donde:

$V_i$  es la velocidad observada;

$V_o$  es la velocidad base (a estimar y que correspondería a la velocidad a flujo libre)

$Q$  es el flujo total de vehículos

$Cap$  es la capacidad de la vía

$F_k$  es el elemento de fricción lateral k, a definir

Los parámetros  $\gamma_i$  y los  $\theta_k$  son estimados econométricamente, y corresponden al efecto esperado del flujo en relación a la capacidad y el o los elementos de fricción lateral considerados, como bicicletas, peatones, vehículos estacionados, entre otros elementos.

## **C. Enfoque de preferencias declaradas**

### **1. Introducción**

La calidad de las predicciones y la aplicabilidad de los modelos depende principalmente del tipo de información utilizada y del enfoque adoptado. El enfoque más popular para la modelación de la demanda es el desarrollo de modelos desagregados de elección discreta, basados en la teoría de la utilidad aleatoria, los cuales son obtenidos a base de antecedentes de elecciones individuales de los usuarios de transporte.

Tradicionalmente estos modelos han sido estimados a base de la observación del comportamiento actual de los viajeros, técnica conocida como **Preferencias Reveladas**, la que mediante la comparación entre la alternativa escogida y las alternativas rechazadas revela las preferencias de los individuos (por ejemplo ESTRAUS). Sin embargo, existen situaciones en las cuales no es posible la aplicación de éstas técnicas, como es el caso del análisis de nuevas alternativas de transporte o bien modificaciones mayores en alternativas actualmente existentes. En estos casos, claramente no existen antecedentes sobre el comportamiento actual de los viajeros (ver Ortúzar y Garrido, 1991). Por otra parte, esta técnica no ofrece facilidades en la determinación de la incidencia de variables no medibles o suaves como la comodidad, la seguridad o el hacinamiento.

Frente a estas limitaciones surgen las técnicas de Preferencias Declaradas como una alternativa atractiva de modelación. Estas técnicas, originadas en la matemática psicológica (Luce y Tukey, 1964), han sido aplicadas en los estudios de investigación de mercados desde principios de la década del 70 y en estudios de transporte desde fines de la misma, las que han tenido un creciente desarrollo en nuestro país. Estas técnicas se refieren a un

conjunto de metodologías que utilizan juicios declarados por los individuos acerca de sus preferencias sobre un conjunto de alternativas de transporte, donde las opciones corresponden típicamente a descripciones de situaciones de transporte o contextos definidos por el modelador. Por lo tanto, es posible modelar nuevas alternativas de transporte mediante una descripción acabada de éstas en el diseño experimental.

Pese a las ventajas comparativas de las Preferencias Declaradas sobre las Preferencias Reveladas, éstas presentan una considerable desventaja, motivada básicamente por el carácter subjetivo de las respuestas de los encuestados, los cuales pueden introducir sesgos en la modelación. Para evitar este problema resulta recomendable complementar los modelos obtenidos mediante una estimación mixta (Ben-Akiva y Morikawa, 1990; Bradley y Daly, 1991). Básicamente, la estimación con datos mixtos se basa en la utilización de distintas fuentes de información, de tal manera de explotar las ventajas y minimizar las desventajas de utilizar cada tipo de datos en forma aislada.

En el caso particular de este estudio, se emplearán datos provenientes de encuestas de Preferencias Declaradas, ya que se reconoce la falta de información de preferencias en el contexto de los proyectos en estudio.

## **2. Consideraciones generales en el diseño experimental**

Al diseñar experimentos de Preferencias Declaradas, resulta recomendable seguir algunas consideraciones generales, entre las cuales se cuentan las siguientes (ver Wardman, 1988; Gálvez 1989):

- Se deben usar niveles de los atributos percibidos usualmente por los usuarios.
- Los valores de las tarifas ó costos deben estar relacionados con el beneficio que produzcan.
- Se debe asegurar que las variaciones de los atributos no sean despreciables, para permitir una buena estimación de los parámetros.
- Limitar los niveles a lo práctico, de forma de mantener manejable el problema.
- Las elecciones no deben contener alternativas dominadas, esto es, aquellas alternativas cuyos atributos son todos peores que los atributos de otra incluida en el mismo conjunto. Se supone que un usuario racional descarta siempre tales alternativas, de modo que su inclusión no aporta información adicional.
- Las elecciones deben ser razonables en términos de su semejanza con las situaciones corrientemente encontradas en viajes reales.
- El diseño debe contribuir a reducir el riesgo de respuestas con sesgo de política.

En términos generales, es posible identificar las siguientes etapas en el diseño experimental:

- a) Determinar los atributos relevantes de interés para el analista y posibles niveles de variación. Esta etapa define el tipo de interacciones que podrán ser medidas y rango de validez.
- b) Diseño de una o más versiones piloto del instrumento de medición o encuesta.
- c) Experimentos de prueba o test del instrumento de medición, aplicado en diferentes estratos de la población bajo estudio.
- d) Simulación de la bondad del diseño mediante una muestra ficticia generada computacionalmente.
- e) Diseño de la versión definitiva del formulario o encuesta.
- f) Selección de una muestra representativa de usuarios.
- g) Aplicación de la encuesta a la muestra.
- h) Estimación de la función de utilidad  $U$  que da cuenta de estas preferencias.

En síntesis, el esquema presentado se orienta a generar los datos que permiten la estimación de una función de utilidad que de cuenta de las preferencias de los usuarios, la cual puede ser utilizada en la determinación de beneficios directos a los viajeros.

### **3. Construcción de Disyuntivas y Selección de Atributos Relevantes**

Una de las ventajas ofrecidas por el empleo de las técnicas de Preferencias Declaradas consiste en posibilidad de que los diseños experimentales sean "ortogonales", esto es, que garanticen que cada atributo o variable presentado varíe independientemente de los otros, a fin de que su efecto pueda ser capturado en forma aislada. Este aspecto permite eliminar o reducir el efecto de la "multicolinealidad" entre los atributos que se produce cuando los atributos varían en una misma dirección, lo cual impide distinguir su efecto aislado (problema común de los datos provenientes de encuestas de Preferencias Reveladas).

Una de las técnicas más empleadas en la construcción de las disyuntivas, y que permite producir diseños ortogonales, la constituye la de *diseños factoriales*. Una descripción detallada de esta técnica se puede encontrar en Kocur et al (1982).

Al emplear esta técnica, el número de disyuntivas posibles de construir está dado por el producto del número de niveles de cada atributo elevado al número de atributos correspondientes. Por ejemplo, un diseño *full factorial* (que considera la totalidad de las combinaciones) con cinco atributos, dos con tres niveles y tres con dos niveles produce un total de 72 disyuntivas, calculadas de la siguiente forma:

$$3^2 * 2^3 = 72 \text{ disyuntivas}$$

Claramente este número resulta excesivo, por lo que es necesario recurrir a alguna técnica que permita reducir el número de disyuntivas a presentar en los experimentos. Una de las técnicas más utilizadas para tal efecto consiste en emplear un subconjunto del total de disyuntivas dadas por un diseño full factorial, de tal forma de medir sólo los efectos

principales (de primer orden) de cada una de las variables, o bien sólo algunos efectos de segundo orden. Esta reducción en el número de disyuntivas se fundamenta en el hecho de que algunas o todas las interacciones entre atributos poseen un efecto despreciable en la elección. A este respecto cabe mencionar los siguientes resultados generales (Luviere, 1988).

- Los efectos principales (de primer orden) explican sobre el 80% de la elección
- Interacciones de segundo orden raramente explican más del 3% al 6% de la elección
- Interacciones de tercer orden usualmente explican entre el 0,5% y el 1% de la elección
- Interacciones de orden mayor prácticamente no tienen incidencia

De esta manera, el uso de diseños factoriales fraccionales es una forma válida de controlar el número de disyuntivas a presentar, las que idealmente no deben ser superiores a nueve (Kroes y Sheldom, 1988).

#### **4. Presentación del diseño experimental**

Un aspecto de fundamental importancia en la obtención de modelos de buena calidad, lo constituye la forma de presentar los diseños experimentales construidos. En este sentido, cabe señalar la estrecha relación que existe entre la fase de diseño propiamente tal y la presentación del experimento. De esta forma, al optar por la realización de encuestas directas, el diseño debe ser lo más sencillo y rápido de contestar posible, imposibilitando de esta manera la utilización de un mayor número de variables. Por otra parte, en caso de utilizar un diseño de autorespuesta, donde el encuestado realiza sus elecciones con mayor tranquilidad, puede ser posible incluir un mayor número de variables.

Otro aspecto de gran importancia a considerar tanto en el diseño experimental como en la presentación de la encuesta, consiste en el número de alternativas de transporte de entre las cuales el encuestado tendrá que escoger. En este sentido, es importante señalar que resulta altamente recomendable, para efectos de comprensión de la encuesta, presentar disyuntivas binomiales, en las cuales se solicite a los encuestados escoger entre una opción base y otra alternativa. Este tipo de experimento presenta la gran ventaja de ser más sencillo de entender por parte de los encuestados, lo cual da como resultado la obtención de respuestas y modelos más confiables.

#### **5. Simulación computacional del diseño experimental**

La simulación computacional tiene por objeto probar la bondad estadística del diseño experimental antes de aplicarlo a la muestra definitiva de población a encuestar. Para ello se debe generar una base de datos que refleje el diseño experimental propuesto, donde la elección es realizada por cada "individuo generado" maximizando su utilidad



total, la cual posee dos componentes, la utilidad directa o medible y la utilidad aleatoria que refleja la componente estocástica involucrada en todo proceso de decisión.

La utilidad medible para cada individuo y alternativa es calculada a través de una función de utilidad estimada con anterioridad en un contexto similar, cuyos parámetros deben intentar reproducirse. Para la utilidad aleatoria, o término de error, se asume una distribución Gumbel cuyo parámetro de dispersión  $\lambda$  es utilizado como parámetro de la simulación.

De esta forma un individuo escogerá la alternativa "A" sobre la "B" si:

$$U_A > U_B, \text{ o bien}$$

$$V_A + \varepsilon_A > V_B + \varepsilon_B$$

Donde:

$U_A$  es la utilidad total modo "A"

$U_B$  es la utilidad total modo "B"

$V_A$  es la utilidad medible modo "A"

$\varepsilon_A$  es el componente aleatorio o término de error modo "A"

$V_B$  es la utilidad medible modo "B"

$\varepsilon_B$  es el componente aleatorio o término de error modo "B"

Los distintos individuos generados sólo difieren en el término de error, por lo que generando en forma aleatoria errores con una distribución Gumbel puede obtenerse una muestra de usuarios que escojan entre las dos alternativas.

Obtenida la base de datos hipotéticos es posible estimar la nueva función de utilidad mediante el método de máxima verosimilitud. Si esta función es similar a la función empleada originalmente el diseño es adecuado, en caso contrario éste debe ser modificado. Este procedimiento, si bien no posee un indicador objetivo de evaluación, permite mejorar sensiblemente los diseños antes de su aplicación a una muestra de la población.