

**ADAPTACION, VALIDACION Y USO DEL MODELO DE
SIMULACION DE TRAFICO TRARR EN CAMINOS
NACIONALES**

Sergio González T., Rubén Godoy M. y Paul Kiser
Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile
Casilla 228/3, Santiago, Chile.

RESUMEN

TRARR es un modelo de simulación de tráfico para caminos pavimentados de dos pistas desarrollado por el Australian Road Research Board. Puede ser utilizado para investigar los efectos en la operación del tráfico ya sea producto de cambios en las características del camino, en el volumen y estructura del tráfico mismo como en las características o hábitos de conducción. Su potencialidad principal se encuentra en el estudio de medidas de gestión o inversión menor (señalización, provisión de pistas cortas de adelantamiento, mejoramientos geométricos que lleven asociado aumentos de visibilidad, etc..) y de inversión mayor que implique un cambio en la capacidad (ampliación a 3 o 4 pistas).

Se presenta un breve análisis del modelo de simulación utilizado, destacando en especial su flexibilidad para incorporar parámetros locales relacionados con características del parque vehicular y hábitos de conducción. A partir de diversas filmaciones y mediciones realizadas en caminos con geometría y flujo vehicular heterogéneo se construyen los archivos de características de vehículos y de comportamiento, apropiados a la realidad nacional. Se presenta un conjunto de proposiciones de cambios en el modelo computacional que persiguen reflejar mejor las condiciones de circulación en Chile así como se entregan las recomendaciones para su uso intensivo a nivel nacional. Por último se muestra el uso del modelo en algunos estudios de casos, se plantean las ventajas de la utilización de este tipo de modelos de simulación microscópica y se discute sobre la necesidad de futuras investigaciones.

1. INTRODUCCION

El objetivo de esta investigación es estudiar la aplicación en Chile del modelo de simulación TRARR v.3.1, desarrollado por el Australian Road Research Board (ARRB, 1985), como herramienta de apoyo en la toma de decisiones y gestión en el sector vial. La Guía de Evaluación de Proyectos Viales (MOP, 1982), orientada al análisis de mejoramientos viales bajo condiciones de flujo libre, no resulta sensible a cualquier medida que involucre cambios en la capacidad (ensanches, por ej.), en la distancia de visibilidad, o simplemente en la señalización horizontal o vertical. El TRARR recoge, además, de manera detallada las características de los vehículos y conductores, siendo por lo tanto sensible también a cambios en ambos. En González y Godoy (1988) es posible encontrar una revisión bibliográfica detallada de modelos microscópicos de tráfico vial, así como un resumen teórico del modelo y los resultados de un primer esfuerzo de calibración. En el Manual del TRARR (ARRB, 1986) y en las memorias de título de Godoy (1989) y Kiser (1989) se puede encontrar con gran detalle la descripción del modelo y de sus archivos de entrada de datos y salida de resultados.

El trabajo acá presentado se orienta a resumir los principales cambios que se han realizado en Chile al modelo en su versión australiana, los cuales permiten contar con una primera versión nacional validada y consistente con la tipología de vehículos y métodos de evaluación en condiciones de flujo libre.

En el punto 2 se entrega un análisis del TRARR en su versión original, destacando sus ventajas y desventajas para su utilización en Chile. En el punto 3 se presenta un resumen del trabajo de adaptación y validación que se ha hecho al modelo a la fecha. En el punto 4 se analiza el impacto de la utilización del TRARR en evaluación de proyectos frente a metodologías alternativas vigentes y finalmente en el punto 5 se entregan las principales conclusiones del estudio.

2. ANALISIS DEL MODELO TRARR

La revisión detallada de la versión actual del modelo TRARR permite identificar algunas cualidades positivas que hacen ventajosa su utilización. Estas se resumen a continuación:

- 1) Es muy fácil sensibilizar las características geométricas y de tráfico. Presenta una gran potencialidad para el estudio de situaciones en que exista interacción entre vehículos, debido a un alto flujo o a características geométricas adversas. Lo anterior es posible gracias al carácter microscópico del modelo.
- ii) Gran flexibilidad del modelo en cuanto a definir características y tipología de vehículos (18 tipos), hábitos de conducción y comportamiento.
- iii) Una vez fijadas las condiciones generales de modelación, resulta muy sencillo de operar.
- iv) Entre las diversas alternativas posibles de utilización en el ámbito caminero, se puede mencionar:
 - a) Evaluación de medidas de gestión o inversión que impliquen un aumento de capacidad a través de; proveer pistas auxiliares cortas de adelantamiento (en plano o subida); rediseños geométricos; aumento de 2 a 4 pistas; en especial, comparación de proyectos de baja inversión (gestión) versus de inversión mayor.
 - b) Selección de nivel de servicio. El modelo entrega una serie de indicadores que son asimilables a los niveles de servicio (A,B,C,...) definidos en el HCM. La ventaja una vez más del TRARR, es la mayor flexibilidad de contrastación entre determinados parámetros medibles (como grado de apilotonamiento, tamaño de pelotones, velocidad) y los resultados de la modelación, aumentando la confiabilidad en sus resultados.
 - c) Generación de normas de diseño

Existen si, algunos problemas desde el punto de vista práctico y metodológico de la versión original, que se describen a continuación:

- i) Destaca la gran cantidad de datos que es necesario definirle para su uso así como la gran cantidad de recursos computacionales que requiere cada simulación. Estos últimos, dado el bajo costo de los microcomputadores, más bien se refieren a tiempo (del analista y del equipo).
- ii) Uso del "Road Speed Index". Este corresponde a un índice que tiene asociado factores reductores de la velocidad deseada por tipo de vehículo, de acuerdo a las características propias del camino, como por ejemplo: curvatura horizontal, curvatura vertical, rugosidad, ancho de vía, límites legales de velocidad.

Actualmente este índice depende sólo del radio de curvatura horizontal y del tipo de camino (plano, ondulado o montañoso), recomendándose valores provenientes de investigaciones realizadas en el extranjero, en su país de origen. Es claro que las reducciones sobre la velocidad deseada pueden tener diferentes explicaciones, como por ejemplo:

- diseño vial
- características del parque vehicular
- hábitos de conducción
- etc.

Lo anterior, hace dudosa su aplicación en casos en que estén presente características restrictivas no consideradas en la versión actual o donde no existan investigaciones que validen la metodología empleada.

- iii) Estimación de Consumo de Combustible. La fórmula que trae incorporada el TRARR para estimación de consumo de combustible presenta grandes ventajas al aplicarla en situaciones con congestión. Al trabajar con valores instantáneos es capaz de captar los consumos producto de cambios en la velocidad o aceleración del vehículo. La versión actual del modelo estudiado trae especificado sólo parámetros de consumo de combustible para automóviles, lo cual es claramente una limitación fuerte para su uso en evaluación de proyectos.
- iv) La característica interactiva del modelo le hace perder eficiencia cuando se necesita efectuar un gran número de corridas, requiriéndose la presencia del especialista.

3. ADAPTACION Y VALIDACION

La adaptación y validación de un modelo de la naturaleza del TRARR representa un proceso extremadamente complejo que requiere una gran cantidad de mediciones de difícil implementación. Existe un número elevado de maniobras que puede ejecutar cada uno de los 18 tipos de vehículos frente a diversas configuraciones viales. De esta manera, la adaptación y validación que se presenta en este informe constituye sólo una primera etapa de un proceso que puede tomar un período largo que incluso debiera mantenerse indefinidamente, de acuerdo con las innovaciones tecnológicas, cambios en hábitos y/o cambios en los conceptos de diseño y gestión vial.

3.1 Adaptación del Modelo

La etapa de adaptación del modelo de simulación se orientó fundamentalmente a:

- i) Superar aquellas áreas en que la simulación es más sensible a diferencias entre la situación de Australia y Chile.
- ii) Dejar preparado el modelo para ser utilizado en evaluación de proyectos viales siendo consistente con la metodología utilizada en situaciones sin congestión (flujo libre).

Los aspectos más importantes se detallan a continuación.

3.1.1 Modificaciones al Programa

a) Programa de Cálculo de Velocidad de Flujo Libre SPFREE

Para resolver el problema mencionado en el uso del "Speed Index", se diseñó un programa que recoge la metodología definida por el HDM-III para la estimación de velocidades de flujo libre (SPFREE). Este permite determinar una tabla de Índices de Velocidad de Camino (IVC) (con sus respectivos factores reductores de velocidad deseada), la cual es leída, aprovechando una opción que trae incorporada el modelo.

De esta manera se facilita ampliamente la modelación, además de introducir sustanciales mejoras en la precisión, pues al predecir las velocidades de flujo libre con el HDM-III en su versión validada en Chile, libera al modelador de la responsabilidad de intentar reproducir las velocidades utilizando una metodología con supuestos y alcances sobre su aplicabilidad desconocidos.

b) Versión No Interactiva

El modo interactivo se torna ineficiente cuando se requiere hacer una serie de corridas, ya que debe estar el especialista presente; además, no modifica el archivo de datos, no quedando así registro de los cambios realizados. Como existen en el mercado de software una serie de editores que permiten acceder a los datos en forma fácil y clara, pierde prioridad la facilidad interactiva ante la eficiencia de aplicación del modelo. En virtud de lo anterior, se adoptó el uso del programa a modo "batch" (procesamiento por paquetes) en sustitución del modo interactivo. De esta forma se incorpora en forma complementaria el programa SPFREE y es posible hacer varias corridas del modelo de una sola vez con diversas alternativas de flujo o de geometría, sin requerir la presencia del analista.

3.1.2 Tipología de Vehículos y Velocidades Deseadas

Se adaptó la tipología de vehículos determinada en el estudio de VALIDACION Y COMPLEMENTACION DE COSTOS OPERACIONALES EN CAMINOS NACIONALES (Departamento de Ingeniería Civil, 1989), ampliando las 9 categorías de vehículos propuestas en ese estudio a 18 categorías de vehículos, que es el número utilizado en el modelo TRARR. Esta se describe en la Tabla Nº1. Los parámetros calibrados y velocidades obtenidas en este mismo estudio se introdujeron al TRARR.

TABLA Nº1

TIPOLOGIA DE VEHICULOS ADOPTADA

- | | |
|------|------------------------------|
| 1.- | Camión articulado cargado |
| 2.- | Camión articulado descargado |
| 3.- | Camión mediano cargado |
| 4.- | Camión mediano descargado |
| 5.- | Camión liviano cargado |
| 6.- | Camión liviano descargado |
| 7.- | Camión mediano promedio |
| 8.- | Bus interurbano |
| 9.- | Bus rural |
| 10.- | Camioneta grande |
| 11.- | Camioneta |
| 12.- | Auto <800 cc lento |
| 13.- | Auto <800 cc |
| 14.- | Auto 801 a 1799 cc lento |
| 15.- | Auto 801 a 1799 cc |
| 16.- | Auto >1800 cc lento |
| 17.- | Auto >1800 cc |
| 18.- | Auto deportivo |

3.1.3 Adaptación del archivo VEHS, de características físicas y comportamiento de conductores

Esta etapa fue la que demandó mayor tiempo e interés de toda la investigación, dada su alta complejidad y el bajo conocimiento en el área, al nivel requerido. Se describe en forma somera la metodología empleada por medio de la cual se obtuvo un archivo VEHS adecuado a las condiciones nacionales.

a) Análisis de sensibilidad de archivo VEHS.

El principal objetivo del análisis de sensibilidad fue comparar resultados entregados por el modelo TRARR, frente a variaciones de algunos parámetros del archivo VEHS. De esta manera fue posible orientar el esfuerzo de calibración hacia aquellos parámetros que mostraron cambios más significativos en los resultados que entrega el modelo.

Los cambios en los resultados analizados son referentes a:

- a) cambios de velocidad promedio de los vehículos
- b) cambios en el número de adelantamientos
- c) cambio en el porcentaje de seguimiento
- d) cambios en los consumos de combustible

TABLA Nº2

VARIACION DE PARAMETROS ARCHIVO VEHS

Nº	PARAMETRO	RANGO EN ARCHIVO VEHS	VARIACION ANALIZADA
1	VDE	(-3 a -8)	+ 2
2	VDE	(-3 a -8)	- 2
3	VXA V.3.1.	(6,7 a 10)	(-9 a -4)
4	VXP Y VNP	(5 a 121), (5 a 90)	+ 10
5	VWRC	(-0,4 a -3,5)	- 1
6	VFA	0,5	+ 1
7	VFDB1	(0,7 a 3,0)	+ 2
8	VFDB1	(0,7 a 3,0)	- 0,5
9	VFDB2	(0,3 a 2,0)	+ 1
10	VFDB2	(0,3 a 2,0)	- 0,2
11	VSHA	0,8	+ 1
12	VSHA	0,8	- 0,5
13	VFDF Y VFDFC	(0 a 0,015), (1 a 5)	+ 0,01 y + 1
14	LBS	16 T y 2 F	T => F
15	VSFSN	(1,4 a 2,5)	+ 1
16	VSFSN	(1,4 a 2,5)	- 1
17	VFDA3	5,0	+ 10
18	VEXA	(15 a 50)	- 10
19	VEXB	0,1	+ 0,5
20	VMGB	(2 a 9)	+ 2
21	VMGB	(2 a 9)	- 2
22	VSS	(5 a 14)	+ 4
23	VSS	(5 a 14)	+ 4
24	SMX	30	+ 10
25	SMX	30	- 10

Se hicieron 25 corridos del programa TRARR variando cada vez el archivo VEHS según los cambios a los parámetros presentados en la Tabla Nº2, usando un tiempo de simulación de 900 segundos. El significado de cada parámetro se puede encontrar en Kiser (1989).

Una conclusión general es que al variar los parámetros, los cambios en las velocidades resultan pequeños, hecho que corrobora la experiencia de la ARRB a este respecto. También el cambio en el porcentaje de seguimiento fue poco significativo.

Se observa una mayor variación en los resultados de adelantamientos y consumo de combustible frente a cambios en parámetros de características de conductores al adelantar, como VFDB2 y VSFSN. De esta manera se decidió orientar los esfuerzos de validación de las cifras "default" del TRARR contenidas en este archivo hacia ese tipo de parámetros (Kiser, 1989).

b) Obtención de parámetros de comportamiento de conductores (maniobras vehiculares)

Se obtuvo datos de maniobras de adelantamientos y seguimiento de vehículos (distancias, tiempos y cantidad) mediante filmaciones y encuestas de terreno en las siguientes rutas:

- a) Ruta 150 (sector Concepción-Penco)
- b) Ruta 78 (Paso Sepultura)
- c) Ruta 5 sur (Quinta - Teno)

Se observó en la toma de datos, que la probabilidad de ocurrencia de las maniobras vehiculares es distinta, y debido a esta situación es que el número de datos que se puede obtener es diferente para cada parámetro. Por ejemplo, el mayor número de datos obtenido fue para VFDB1 (seguimiento vehicular en pista básica) y el menor fue para VFDB3 (seguimiento vehicular en pista de adelantamiento sin pista auxiliar). Esta tendencia se manifiesta además según la tipología de vehículo (cantidad de datos para la determinación de los parámetros). Por ejemplo, los adelantamientos de camiones medianos y livianos, trailers y automóviles lentos son escasos, debido principalmente a;

- a) bajo flujo de estos tipos de vehículos con respecto a los demás,
- b) baja probabilidad de que estos tipos de vehículos realicen maniobras de adelantamiento.

Existió escasas posibilidades de realizar mediciones de parámetros de incorporación ("merging") dadas las condiciones del trazado de los caminos nacionales.

Con respecto a la metodología aplicada en la toma de datos se verificó la posibilidad de efectuar mediciones con técnicas más sencillas y de menor costo que las implementadas en Australia mediante filmaciones dinámicas. Se pudieron reemplazar por filmaciones más sencillas y encuestas de maniobras vehiculares. La metodología detallada de medición y estimación de estos parámetros así como el archivo VEHS definitivo propuesto para el caso chileno se puede encontrar en Kiser (1989).

c) Obtención de parámetros físicos de vehículos y de consumo de combustible

Para obtener datos como potencia, aceleración, consumo de combustible y otros, se revisaron catálogos de los vehículos representativos y además se realizó visitas a empresas del rubro.

La imposibilidad de hacer un experimento propio hizo necesario apoyarse metodológicamente en algunas referencias:

- i) ESTUDIO DE VALIDACION Y COMPLEMENTACION DE COSTOS OPERACIONALES EN CAMINOS DE CHILE, PROYECTO COPER, (1988-1989), especialmente en lo referente a los temas de consumo de combustible de Manríquez (1989), y estudios de velocidades basados en el modelo modificado del HDM III por Kodama (1989), y Watanatada et al, vol. IV (1986).
- ii) Estudio ARFCOM - MODELS FOR ESTIMATING LIGHT TO HEAVY VEHICLE FUEL CONSUMPTION, D.G.BIGGS, de la ARRB (1988) en cuanto a consumo de combustible de vehículos pesados. La metodología detallada de estimación de los parámetros se puede encontrar en Kiser (1989).

3.2 Validación del Modelo TRARR.

Para realizar la validación del modelo TRARR, se verificó que los resultados que entregan las salidas del modelo modificado sean acordes con resultados obtenidos en terreno en cuanto a velocidades, número de adelantamientos y consumo de combustible.

3.2.1 Resultados de simulación y calibración

Se obtuvo a través de filmaciones y encuestas de terreno información de velocidades, flujos y adelantamientos, características geométricas, etc. en tramos de las siguientes rutas:

- a) Ruta 78 (camino Santiago - San Antonio, Paso Sepultura)
- b) Ruta 5 (Panamericana Sur. 173 kms de Santiago)
- c) Ruta 150 (Sector Concepción - Penco).

Se entrega en la Tabla Nº3 las velocidades obtenidas en cada una de las rutas mencionadas y las simuladas por el modelo TRARR.

En la Tabla Nº4 se presenta el número de adelantamientos medidos en cada una de las Rutas mencionadas y los simulados por el modelo.

En el caso del sector Concepción - Penco se simularon 2 tramos durante 3 períodos, un primer tramo de características geométricas planas y otro de características de terreno ondulado. Se entregan para esta ruta los resultados (Tabla Nº3 y Nº4) de simulación para el tramo plano en período punta tarde. En el tramo ondulado y en otros períodos simulados se encontraron diferencias mayores entre los valores observados y los simulados, lo cual se debe principalmente a las características semiurbana de esta ruta, los buses corresponden más bien a buses urbanos. El análisis detallado se puede encontrar en Kiser (1989).

TABLA N°3

COMPARACION DE VELOCIDADES EN RUTAS 78,5 Y 150
(Km/hr)

TIPO VEH	RUTA 78 (1)				RUTA 5 (1)				RUTA 150 (2)			
	DIR 1		DIR 2		DIR 1		DIR 2		DIR 1		DIR 2	
	V.Med.	V.Si	V.Med.	V.Sim.	V.Med.	V.Sim.	V.Med.	V.Sim.	V.Med.	V.Sim.	V.Med.	V.Sim.
Automóvil	55.1	59.3	66.2	77.3	75.0	74.3	66.7	69.2	70.0	62.9	52.9	54.8
Camioneta	56.2	58.2	-	-	75.4	76.7	73.9	70.5	61.5	69.0	59.5	60.2
Cam.Simple	-	-	-	-	57.2	66.2	63.7	64.7	54.0	55.2	48.3	51.5
Cam.Artic.	-	-	-	-	60.8	68.3	62.6	65.0	59.5	56.6	52.1	53.4
Bus	54.9	59.2	73.9	77.0	75.4	74.1	70.6	69.7	46.8	51.2	45.2	48.5

FUENTES : (1) González; Godoy (1988)
(2) Kiser (1989)

TABLA N°4

COMPARACION DE ADELANTAMIENTOS EN RUTAS 78,5 Y 150
(veh.que adelantan/hr)

TIPO VEH	RUTA 78 (1)		RUTA 5 (1)		RUTA 150 (2)			
	DIR 1		DIR 1		DIR 1		DIR 2	
	A.Med.	A.Sim.	A.Med.	A.Sim.	A.Med.	A.Sim.	A.Med.	A.Sim.
Automóvil	121	119	42	62	9	7	7	10
Camioneta	-	-	-	-	3	2	2	2
Cam.Simple	-	-	2	0	0	0	2	0
Cam.Artic.	-	-	-	-	0	0	0	0
Bus	16	0	9	1	1	0	1	0
Totales	137	119	53	63	13	9	12	12

FUENTES : (1) González; Godoy (1988)
(2) Kiser (1989)

3.2.2 Discusión y Conclusiones

En lo que se refiere a la validación de velocidades se desprenden las siguientes conclusiones:

- a) En rutas propiamente interurbanas se alcanzan altos grados de precisión (mayores que el 95%) como en el caso de las Rutas 78 y 5 sur.
- b) En la Ruta 150 el ajuste resultó de menor precisión debido a las condiciones semiurbanas presentada por ésta.

Con respecto a la validación de número de adelantamientos, se logra un ajuste dentro de un rango razonable para automóviles, camionetas, y trailers. En el caso de camiones simples y buses existe una subpredicción de adelantamientos. No se hizo un mayor ajuste considerando la información del sector Concepción- Penco, debido a que el ancho de las pistas permite adelantar en ocasiones aunque vinieran vehículos en contra además de la característica de carretera suburbana presentada por la ruta, lo que distorsiona las mediciones. Con respecto a los valores "default" del modelo se aumentó el coeficiente de agresión para los buses ya que presentan diferencias fuertes con relación al número de adelantamientos detectados.

En las funciones de consumo de combustible instantáneas se obtuvo un buen nivel de ajuste en condiciones de bajo flujo con las que se proponen en la nueva metodología de costos de operación en condiciones de flujo libre, (Departamento de Ingeniería Civil, 1988). El resto de los parámetros se obtuvo considerando la tipología de vehículos nacionales y la bibliografía más reciente disponible en cada caso. Estos resultados podrían variar al realizar un trabajo experimental como se propone en la investigación sobre costos de operación, etapa 10 (Departamento de Ingeniería Civil, 1989).

Considerando tanto los resultados de velocidades, adelantamientos y consumo de combustible ya señalados, como los obtenidos del proceso mismo de mediciones se puede aceptar que el archivo VEHS se encuentra razonablemente validado para su uso en Chile. Sólo a través de un experimento de gran escala, o a través del uso intensivo del modelo en el futuro próximo, tendrá sentido modificar sus parámetros.

4. USO DEL TRARR EN EVALUACION DE PROYECTOS

Se concluyó en los capítulos anteriores sobre las facilidades que da el modelo TRARR para reproducir adecuadamente la operación de un camino, luego es posible esperar que sea una herramienta de gran ayuda en el análisis de tipo predictivo. En este punto se estudia la potencialidad del uso del TRARR en evaluación de proyectos. Se estudian en primer término proyectos ficticios sobre el mismo tramo modelado en la ruta 5 y luego se efectúa una comparación con otra metodología de uso actual en Chile, basada en el Highway Capacity Manual (TRB, 1985).

4.1 Estudio de Casos

Se utilizó el modelo para estudiar en el sector Ruta 5, usando los archivos generados en la etapa de validación, dos proyectos ficticios alternativos; doble calzada y pistas auxiliares de adelantamiento. Este último tipo de solución es de uso común en otros países existiendo un avanzado desarrollo en su diseño geométrico y regulación (Hoban y Morral, 1986).

Se utilizó un precio social de inversión de m\$ 60.000 por km. por pista. Para el tiempo se utilizó un valor social de \$ 245 y para el combustible 50 \$/lt. De esta manera, se evaluó una doble calzada en toda la extensión (4 Kms.) y dos pistas auxiliares de 1Km. cada una en cada sentido. Se hizo supuestos sobre la distribución horaria y por sentido del flujo, consistentes con información típica en rutas nacionales. Se considera sólo impactos sobre el tiempo de viaje de los pasajeros y consumo de combustible, estimándose la Tasa de Rentabilidad Inmediata. costos de inversión.

Los resultados de esta experiencia, reportados en González y Godoy (1988), se pueden resumir en:

- a) La rentabilidad de una doble calzada depende en una medida muy fuerte del valor del tiempo utilizado. La cifra de 245 \$/hr por pasajero permite que se justifique económicamente una inversión de esta naturaleza para flujos aproximados a los 8000 veh/día en el primer año, si la tasa de actualización es de un 12%. Si se utilizan valores del tiempo inferiores, similares a los actualmente utilizados en vialidad urbana en Chile, de 110.25 \$/pax-hr, el flujo debiera superar los 12.000 veh/día en el primer año para justificar una 2ª calzada.
- b) La rentabilidad de pistas auxiliares depende estrechamente de su diseño. Bien ubicadas (tramos donde hay restricciones de visibilidad, p.ej.) y con una adecuada extensión resultan rentables para niveles de flujos medianos. Se modeló pistas de adelantamiento de menor distancia con soluciones de una o dos pistas en cada sentido, resultando beneficios muy bajos producto de pérdidas por combustible. Siendo altamente atractivo este tipo de solución pareciera desprenderse que el diseño, ubicación y extensión debe estudiarse con gran cuidado a fin de no empeorar la situación que se quiere mejorar o dejar de percibir beneficios por otras soluciones alternativas.

4.2 Comparación del Modelo TRARR Adaptado Versus metodología basada en el HCM 1985.

Se comparó la metodología del modelo TRARR adaptado con los resultados entregados por la metodología basada en el HCM (TRB,1985) en situaciones donde existe congestión, detallada en el estudio "Análisis Comparativo de Metodología de Evaluación de Proyectos Viales en Situaciones de Congestión" (Departamento de Ingeniería Civil, 1988).

El modelo TRARR entrega para cada situación simulada (situación con y sin proyecto) el consumo del recurso tiempo (en segundos) y consumo de combustible (en mililitros), los que valorados a los precios respectivos, permiten determinar los beneficios de recursos monetarios derivados de los ahorros producidos por la diferencia de costos en las situaciones sin y con proyecto. Para la situación con proyecto se suponen condiciones de flujo libre.

En la Tabla N°5 se presentan los beneficios obtenidos por ahorros de tiempo y consumo de combustible, para las 3 categorías de vehículos del estudio original de referencia (LEN,1988), obtenidos a partir de la comparación de costos entre situaciones con y sin proyecto evaluados con el modelo TRARR adaptado a la realidad nacional.

TABLA N°5

BENEFICIOS POR AHORRO DE TIEMPO Y COMBUSTIBLE DETERMINADO CON EL MODELO TRARR ADAPTADO (miles \$, Octubre 1988).

TIPO DE VEHICULO	1er TRAMO			2do TRAMO		
	C.COMB.	C.TPO	TOTAL	C.COMB.	C.TPO	TOTAL
V.Liv.	464	22159	22623	-5026	32671	27645
Camiones	-54	3629	3575	-1992	3482	1490
Buses	1420	35815	37235	- 806	26366	25560
TOTAL	1830	61603	63433	-7824	62519	54695

En la Tabla N°6, se entregan los resultados obtenidos de beneficios de tiempo y combustible aplicando la metodología HCM combinada con estimaciones de velocidades en condiciones de flujo libre y en función del flujo vehicular obtenidas de diversos estudios nacionales (MOP,1982; Aldunate y González,1982 ; Arenas,1985)

TABLA Nº6

BENEFICIOS POR AHORRO DE TIEMPO Y COMBUSTIBLE DETERMINADO CON LA METODOLOGIA HCM (miles \$, Octubre 1988).

TIPO DE VEHICULO	1er TRAMO			2do TRAMO		
	C.COMB.	C.TPO	TOTAL	C.COMB.	C.TPO	TOTAL
V.Liv.	-4441	10658	6217	-2599	9962	7363
Camiones	-888	6217	5329	-433	6064	5621
Buses	-1776	47517	45741	-433	41581	41148
TOTAL	-7105	64392	57289	-3465	57607	54132

La suma total de beneficios estimada utilizando el TRARR resultó ser de 118 millones de \$ para el primer año versus 115 millones de la metodología basado en el HCM incluyéndose en este último caso beneficios debido a sobreconsumo por aceleraciones y desaceleraciones. No obstante esta pequeña diferencia, al desglosar este beneficio por tramos y tipos de vehículos se aprecia una notoria diferencia en cuanto a los beneficios de tiempo percibidos para vehículos livianos y buses.

La utilización del TRARR en este mismo tramo entregó valores de velocidad estimada para tres períodos con un alto nivel de ajuste, lo mismo que con los adelantamientos, ambos con relación a los medidos en terreno, a pesar de ciertas características especiales del tramo. La predicción de las velocidades en condiciones de flujo libre, válidas para la situación con proyecto, así como la estimación de la velocidades deseadas del modelo TRARR, se realizó utilizando el HDM III adaptado, por lo cual también se puede esperar un muy buen grado de ajuste (Departamento de Ingeniería Civil, 1989). Ambas situaciones, sumado al modelo validado de consumo de combustible (Kiser, 1989), le otorgan un alto nivel de confiabilidad a sus resultados.

Al comparar los resultados obtenidos en dos tramos de características geométricas distintas (sectores planos y ondulados) se observa que el modelo HCM no entrega diferencias por sector, lo indica que este modelo no es muy sensible a cambios geométricos. De acuerdo a lo señalado en los párrafos anteriores, se observa una sobrestimación de los beneficios de los buses de parte de la metodología HCM (debido probablemente a que esta metodología considera buses urbanos de mayor potencia que los buses rurales

existentes en la ruta), y una subestimación de beneficios en los vehículos livianos en especial en el tramo ondulado. Tanto las estimaciones de relaciones de equivalencia de vehículos, basadas en el HCM, como los diversos errores detectados en la predicción de velocidades de flujo libre, provocan diferencias sustanciales entre ambas metodologías. Es importante destacar que en el método basado en el HCM no existe un proceso sistemático de calibración de velocidades medidas con las predichas, más aún en el estudio reportado no se midió velocidad para las condiciones actuales.

Por último, cabe hacer notar en lo que se refiere a beneficios por consumo de combustible, que el modelo TRARR entrega beneficios positivos en el primer sector y negativos en el segundo. Este resultado resulta razonable ya que los mayores cambios de velocidades debido a pendientes de subida y bajada se deben producir en la zona ondulada, lo cual acarrea un mayor consumo de combustible vehicular, situación que no registra el modelo HCM. Este último en ambos casos entrega beneficios negativos siendos estos mayores en el primer tramo.

5. CONCLUSIONES GENERALES Y DESARROLLOS FUTUROS DE INVESTIGACION

Las principales conclusiones y etapas futuras de investigación son las siguientes:

- a) El modelo TRARR presenta un gran atractivo y potencialidad de utilización en estudios que impliquen afectar la capacidad de caminos. Se abre de esta forma la posibilidad de evaluar soluciones intermedias entre obras mayores (dobles calzadas) y caminos de dos pistas con una confiabilidad claramente superior a la actual.
- b) La utilización de modelos de simulación como el acá analizado permite abrir una valiosa área de investigación que apunte hacia la comprensión detallada de los fenómenos de tráfico vial. El estudio de características específicas del comportamiento de los vehículos (dependiente de su tecnología) así como del comportamiento de conductores (dependiente de hábitos, educación vial, señalización, legislación) hace posible buscar soluciones alternativas a las grandes obras viales, cuando las circunstancias lo aconsejen. Esta situación puede significar un cambio estructural en los conceptos tradicionales de planificación vial.
- c) El proceso de adaptación y validación del modelo se visualiza como una labor permanente a fin de acercarlo cada vez más al comportamiento real. En esta primera etapa se encontró un buen nivel de ajuste considerando tres sectores viales con distintos niveles y estructura de flujos.

d) Se hace recomendable validar los parámetros de la función de consumo de combustible instantánea para los diversos tipos de vehículos. Se pudo comprobar una alta sensibilidad de los resultados de evaluaciones que significan aumentos en la capacidad vial a la función de consumo de combustible. La mejor solución sería desarrollar trabajo experimental en esta línea.

e) Tanto de la literatura internacional como de los resultados obtenidos en esta investigación se concluye sobre las bondades de la utilización de pistas auxiliares de adelantamiento. Su ubicación y diseño debe ser motivo de estudios detallados dado que sus beneficios dependen de una correcta especificación.

REFERENCIAS

ALDUNATE, E. y GONZALEZ, S. (1982). Modelación de tráfico en caminos pavimentados de dos pistas en condiciones de congestión. 2º Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transporte, Universidad de Cauca, Popayán, Colombia.

ARENAS, E. (1985). Metodología para evaluación económica de proyectos de 2ª Calzadas. Tesis de Título Ingeniería Civil de Industrias, Universidad de Chile.

BIGGS, D.C. (1988). ARFCOM - Models for estimating light to heavy vehicle fuel consumption. Australian Road Research Board.

BOWYER, D.P., AKCELIK, R. y BIGGS, D.C. (1985) Guide to fuel consumption analysis. Special Report Nº 32, Australian Road Research Board, Vermont South, Victoria.

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL, (1988-1989) Estudio de Validación y Complementación de Costos Operacionales en Caminos de Chile, Universidad de Chile, Santiago.

GODOY, R. (1988-1989). Validación preliminar del modelo de simulación de tráfico interurbano TRARR v.3.1., Memoria para optar al título de Ingeniería Civil (en etapa de edición), Universidad de Chile.

GONZALEZ, S., GODOY, R. (1988). Uso del modelo TRARR v.3.1. en simulación de tráfico y evaluación de proyectos de caminos en Chile. Actas del IV Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transporte, U. de Mayaguez, Puerto Rico.

HOBAN, C.J., MORRAL, J.F., G.K. (1986) Overtaking lane practice in Canada and Australia, Research Report ARR Nº 144, Australian Road Research Board, Victoria.

Highway Research Board (1965) Highway Capacity Manual, Special Report Nº 87, Washington, D.C.

KISER, P. (1989). Validación del archivo de características de vehículo-conductor, VEHS, del Modelo de Simulación de Tráfico Interurbano TRARR v.3.1.. Memoria para optar al título de Ingeniería Civil (en etapa de edición), Universidad de Chile.

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS (1982) Guía para evaluar proyectos viales, Santiago.

WATANATADA T., TSUNOKAWA K., PATERSON W., BANDARI A. y HARRAL C. (1985) The Highway Design and Maintenance Standards Study, Vol IV. Model Description and User's Manual, The World Bank, Washington, D.C.