

EVALUACION DE PROYECTOS DE CAMINOS PRODUCTIVOS: ASPECTOS  
METODOLOGICOS Y ESTUDIO DE CASOS PARA ESTIMAR TRANSITO INDUCIDO

RAMON SILVA AMESTICA  
CITRA LTDA.  
General del Canto 487, Stgo.

RESUMEN

Se denomina "Caminos Productivos" a aquellas vías que sirven preferentemente o en forma más directa a la actividad productiva de las zonas en la que están insertos. Estos forman parte, en general, de las redes comunales y regionales del país.

La cuantificación de los beneficios que generan los proyectos de mejoramiento de caminos productivos es un problema de cierta dificultad debido a que la metodología tradicional (basada en los ahorros de costos de transporte para los usuarios) resulta en ciertos casos insuficiente o inapropiada para estimar dichos beneficios en su real magnitud y características.

Es bien sabido que en todo proyecto vial se presentan efectos que se pueden medir en el mercado de transporte o identificarse como variaciones en el valor y volumen de la producción, conceptualizados tales efectos por medio del excedente del consumidor y del productor, respectivamente. Es posible en principio evaluar un proyecto utilizando una u otra forma de medición de los beneficios, o una combinación de ambas, lo que da origen a lo que se denomina "metodología combinada". Para decidir el método más apropiado se presentan los aspectos metodológicos principales orientados a facilitar al evaluador la toma de decisiones al respecto, basado en las características de cada camino.

Adicionalmente, en el presente trabajo se expone una metodología general para el análisis y la estimación del tránsito inducido, cuando la evaluación del proyecto se realiza a través de la metodología convencional basada en los ahorros de costos de transporte. En primer término se expone las dificultades, alcances y limitaciones que existen para establecer un procedimiento general que permita estimar dicho tránsito. A continuación se presenta el enfoque y desarrollo metodológico para estimar el tránsito inducido en base al análisis del comportamiento observado "antes y después" de la implementación de un mejoramiento vial, en una muestra de caminos seleccionados. Según este estudio de casos, se exponen dos métodos alternativos de estimación: Uno, que consiste en la determinación de un "Coeficiente de Impacto" sobre la tasa de crecimiento normal del tránsito, y otro, que consiste en estimar el "Coeficiente de Elasticidad de la Demanda" en relación a la variación de los costos de transporte. Para ambos métodos se exponen los supuestos establecidos, los resultados obtenidos y se realiza un análisis comparativo de ellos, analizando finalmente el efecto que tiene la determinación de los beneficios por tránsito inducido en los resultados de la evaluación económica.

## I. INTRODUCCION

El documento que se presenta, está basado en el análisis y resultados del Estudio de Preinversión denominado "Investigación, Metodología, Definición y Evaluación Preliminar Plan de Inversiones en Caminos Productivos" realizado para la Dirección de Vialidad entre los años 1987 y 1989 (1).

Los proyectos estudiados a nivel preliminar y evaluados en el contexto del referido estudio formaban parte del programa establecido por la Dirección de Vialidad orientado a concretar inversiones de mejoramiento o construcción de caminos que contribuyeran al desarrollo de la actividad productiva. Dichas vías forman parte, en general, de las redes regional y comunal y se denominaron "Caminos Productivos" en atención al objetivo señalado.

Los objetivos básicos del Estudio eran, en términos generales, el desarrollar y proponer una metodología para el análisis y evaluación de caminos productivos; estudiar su demanda actual y futura en las situaciones sin y con proyecto; hacer un diagnóstico de las condiciones físicas y de transitabilidad existentes en cada camino, proponiendo y desarrollando a nivel preliminar anteproyectos de solución; y, finalmente, evaluarlos individualmente de acuerdo a la(s) metología(s) propuesta(s) para obtener los indicadores tradicionales de rentabilidad, determinar su efecto distributivo hacia los sectores de bajos ingresos. Para el proceso de evaluación misma se utilizaron programas computacionales específicos desarrollados para el Estudio que pudieran abordar en forma integral la evaluación de cada proyecto según las metodologías propuestas.

Debido a la gran cantidad de caminos que se debieron analizar y evaluar en el contexto del referido Estudio, a su amplia diversidad en cuanto a sus niveles de tránsito existente, a las actividades productivas involucradas, a su ubicación geográfica, a sus estándares en cuanto a su superficie de rodado actual y a las soluciones que se debían considerar como alternativas de proyecto, entre las características más relevantes, así como a las múltiples tareas derivadas del Estudio de la Demanda y de la Ingeniería de Proyecto, el problema de definir una metodología de evaluación, que permitiera captar las características y la magnitud aproximada de los beneficios de cada proyecto, resultaba una tarea compleja que no podía ser abordada, en los plazos establecidos para su realización, sin la necesidad de recurrir a simplificaciones y procedimientos prácticos y expeditos para su ejecución.

En este trabajo se presentan las principales características de los caminos productivos estudiados, se exponen los aspectos metodológicos más relevantes considerados para la estimación de los beneficios y finalmente se presenta un desarrollo metodológico para estimar el tránsito inducido cuando la evaluación económica del proyecto se realiza a través de la metodología tradicional basada en los ahorros de costos de transporte.

---

(1) El autor de este trabajo participó en calidad de Jefe de Proyecto y especialista en evaluación de proyectos viales, a través de la firma consultora Asintota Ltda.

## 2. CARACTERISTICAS DE LOS CAMINOS PRODUCTIVOS ESTUDIADOS

Los caminos o sectores estudiados representaron en conjunto una extensión aproximada de 4.100 kilómetros, distribuidos en las trece regiones del país. De esta longitud total, un 57 % pertenece a la Red Vial Básica, un 31 % pertenece a la Red Comunal y un 12 % corresponden a proyectos de construcción de nuevos caminos (cuadro Nº 2.1).

La generalidad de los caminos o sectores viales analizados en las diversas regiones del país estaban asociados a actividades productivas específicas, ya sea por la actividad desarrollada en su área de influencia directa o por su rol dentro de la red de transporte en que estaban insertos en el sentido de posibilitar la comunicación entre distintos lugares en que se desarrollan las actividades de producción y los centros de comercialización, de servicios y de consumo.

En los cuadros siguientes, se presenta una clasificación agregada de los caminos en cuanto a las actividades productivas principales desarrolladas en su entorno (cuadro Nº 2.2), en relación a sus niveles de tránsito (cuadro Nº 2.3) y en cuanto a su condición de superficie de rodado (cuadro Nº 2.4). Finalmente, en el cuadro Nº 2.5, se presentan los resultados promedios obtenidos de la evaluación social de los proyectos que resultaron rentables, agrupados según tipo de proyecto.

CUADRO N° 2.1 : CANTIDAD Y LONGITUD DE CAMINOS EVALUADOS POR REGIONES

REGION	RED BASICA <sup>(1)</sup>		RED COMUNAL <sup>(2)</sup>		PROYECTO CONSTRUCCION		TOTAL	
	Nº	KMS	Nº	KMS	Nº	KMS	Nº	KMS
I	4	104.7	1	39.9			5	144.5
II	1	98.4	2	53.7			3	152.1
III	4	126.8	1	17.9			5	146.7
IV	4	87.3	5	98.6			9	185.9
V	4	85.8	2	30.0			6	115.8
R.M.	8	80.2					8	80.2
VI	8	101.4	7	68.4			15	169.8
VII	17	347.7	4	50.9	1	4.6	22	403.1
VIII	11	222.9	12	226.3			23	449.3
IX	12	235.6	19	458.1			31	693.7
X	21	613.3	10	151.7	1	38.6	32	803.5
XI	5	153.8	1	17.2	5	444.4	11	615.5
XII	4	67.4	2	42.0			6	109.4
TOTAL	103	2327.2	66	1254.6	7	487.6	176	4069.4
%		57.2		30.8		12.0		100.00

(1) Red Vial Básica: Incluye los caminos Nacionales (clase A) y los caminos Regionales principales y secundarios (clases B y C, respectivamente).

(2) Red Vial Comunal: Incluye los caminos comunales primarios y secundarios (clases D y E respectivamente).

CUADRO N° 2.2 : CLASIFICACION DE CAMINOS  
POR ACTIVIDAD PRODUCTIVA PRINCIPAL

ACTIV. PRODUCTIVA	KMS.	%
Agricola tradicional	838	20.6
Agricola-Forestal	605	14.9
Agricola-Ganadera	566	13.9
Ganadera-Forestal	563	13.8
Hortofruticola	430	10.6
Ganadera	316	7.8
Minera	280	6.9
Forestal	202	5.0
Pesquera	108	2.7
Agricola Minera	83	2.0
Varios	78	1.9
<b>TOTAL</b>	<b>4069</b>	<b>100.0</b>

CUADRO N° 2.3 : CLASIFICACION DE CAMINOS  
SEGUN NIVELES DE TRANSITO

TMDA	KMS.	%
0	487	12.0
50	614	15.1
50 - 100	883	21.7
100 - 200	943	23.2
200 - 300	554	13.6
300 - 400	275	6.8
400 -1000	233	5.7
> 1000	80	1.9
<b>TOTAL</b>	<b>4069</b>	<b>100.0</b>

CUADRO N° 2.4 : CLASIFICACION DE CAMINOS  
EVALUADOS SEGUN ESTANDAR

ESTANDAR	KMS.	%
- Tierra	591	14.5
- Ripio	2767	68.0
- Pavimento	224	5.5
- Proy. de Construc.	487	12.0
<b>TOTAL</b>	<b>4069</b>	<b>100.0</b>

CUADRO N° 2.5 : RESULTADOS DE LA EVALUACION POR TIPO DE PROYECTO  
(Proyectos socialmente rentables)

TIPO DE PROYECTO	KMS.	%	INVERSION (Mill. \$) *	VAN (Mill. \$)	TIR (%)
- Ripladuras	2029	61.8	12289	12682	26.2
- Pavimentos economicos	849	25.8	22725	25151	25.6
- Pavimentos superiores	129	3.9	5035	9165	34.0
- Repavimentaciones	201	6.1	7145	6810	26.2
- Construc. nuevos caminos	78	2.4	3566	698	15.9
<b>TOTAL PROYECTOS RENTABLES</b>	<b>3286</b>	<b>100</b>	<b>51340</b>	<b>54506</b>	—

(\*) \$ de Junio de 1989

### 3. ASPECTOS METODOLOGICOS

#### 3.1 Limitaciones y Avances Metodológicos

Algunos de los caminos de una red llevan años de funcionamiento con estándares que permiten un flujo de tránsito en condiciones adecuadas a lo largo de todo el año y sirven a zonas que ya han logrado un nivel estable de desarrollo productivo; en cambio hay otros caminos que, en general son afluentes de los anteriores, que tienen estándares inferiores, volúmenes menores de tránsito, transitabilidad sólo estacional y que sirven a zonas que no han logrado desarrollar aún su potencial productivo. Para ambos tipos de caminos, el mejoramiento de los estándares conlleva una disminución en los costos y tiempo de transporte para sus usuarios, siendo ésta la medida más convencional de los beneficios que pueden imputarse a un proyecto de mejoramiento vial.

Para los caminos de tipo más desarrollado, en que hay un tránsito regular ya establecido, el ahorro directo de los costos de transporte de los usuarios es el beneficio más importante, sin olvidar que, en alguna medida se induce o genera tránsito adicional, ya sea por incremento de actividades existentes o creación de nuevas actividades, por el desplazamiento de flujo que ocupaba vías alternativas o por cambios en la modalidad de transporte que pudieran experimentar algunos usuarios.

En cambio para el segundo tipo de caminos, donde el flujo existente es limitado y/o discontinuo, el grueso de los beneficios que acarrearía un cambio de estándar se expresa en mejor medida en los incrementos de producción y/o de productividad que son posibles en la zona servida por el camino.

En estricto rigor, en todo mejoramiento vial están presentes tanto los efectos directos como los indirectos (respecto de quienes transitan), sólo que las magnitudes relativas se inclinan más a los ahorros directos de costos de transporte en el caso de los caminos ya bien establecidos o hacia el aumento de ganancias de los productores de la zona de influencia del camino en el segundo caso, entendiendo que los productores son, a la vez, usuarios del camino.

La metodología tradicional o convencional de evaluación de proyectos viales analiza los mejoramientos de caminos basado en los ahorros directos de los costos de transitar por ellos y el mayor tiempo disponible de las personas que ocupan los vehículos que transitan. De allí que esta metodología ponga énfasis en la cuantificación del flujo vehicular esperado "sin" y "con" proyecto para distintos tipos de vehículos. Esta metodología es adecuada en casos en que el tránsito normal (o su crecimiento previsto) es significativo y las economías en el costo de transporte son una medida confiable de los beneficios del proyecto. Sin embargo, este análisis que se centra en la cuantificación de las economías para los usuarios, generalmente no considera los mecanismos a través de los cuales las economías para dichos usuarios se traducen en nueva producción y nuevos ingresos. Asimismo, con frecuencia no toma en cuenta la existencia de otras limitaciones en la zona de influencia del camino, que restringen su repercusión en el proceso productivo. Esta omisión constituye una deficiencia importante en esta metodología, en particular para la evaluación de proyectos viales en que se prevé grandes aumentos de tránsito inducido.

La insuficiencia de la metodología tradicional es particularmente evidente cuando se trata de evaluar mejoramientos de caminos cuyo volumen de tránsito es

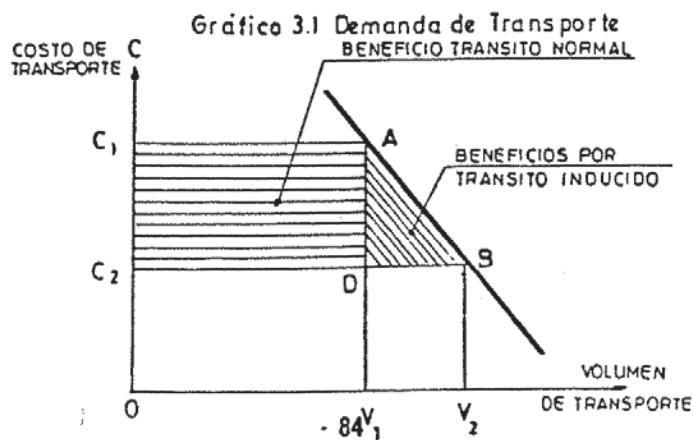
muy pequeño o cuando el estado del camino impide su utilización todo el año o la circulación de vehículos mayores. En tales casos, resulta más apropiado analizar y cuantificar los efectos económicos del proyecto con base en el concepto del Excedente de los Productores comprendidos en la zona de influencia del camino.

De lo expuesto anteriormente, fluye que la identificación y cuantificación de los beneficios que genera un proyecto vial constituye el elemento metodológico central en el proceso de evaluación económica. En cuanto a los costos de inversión, su determinación no ofrece dificultades pues fluye directamente de los proyectos de ingeniería. Asimismo, en lo que se refiere a las operaciones y costos de conservación de los caminos existen métodos para su determinación en constante innovación y claramente explicitados que maneja la Dirección de Vialidad.

### 3.2 Obtención de Beneficios. Enfoque Ampliado

El análisis de este enfoque considera que en todo proyecto de mejoramiento vial se presentan efectos que se pueden medir directamente en el mercado del transporte (ahorro de los usuarios) y efectos que pueden medirse o identificarse como variaciones en el valor de la producción. Ello se conceptualiza por medio del excedente del consumidor y del productor, respectivamente. En algunos casos extremos prevalecerán claramente unos u otros y en casos intermedios es conveniente hacer mediciones y estimaciones de ambos tipos de efectos. En ambos casos, el elemento pertinente que genera estos efectos es la disminución de los costos de transporte.

Los proyectos viales en que predomina el primer tipo de efectos anteriormente referidos, corresponden en general a caminos en zonas donde el nivel de actividad económica ya es elevado, reflejándose esta actividad en la demanda de transporte. Estos efectos se representan en el Gráfico N° 3.1 por medio de la función linealizada de la demanda de transporte. Los beneficios en este caso consisten en gran parte en los ahorros (excedentes) para los usuarios del camino respecto al tránsito normal, y la magnitud de los beneficios en materia de desarrollo (tránsito inducido) es comparativamente pequeño. En forma simplificada, generalmente se asume que los ahorros provenientes del tránsito normal proporcionan una base segura para la justificación económica del proyecto de mejoramiento del camino.



Según esta representación gráfica, los beneficios anuales de tránsito normal y del inducido, para el conjunto de los vehículos, se calcula como:

$$B = \sum_i V_i (C_{1i} - C_{2i}) + \sum_i (V_{2i} - V_{1i}) * (C_{1i} - C_{2i}) * 0.5 \quad (1)$$

en que

- i = Tipo de vehículo
- $V_i$  = Volumen de tránsito
- $C_i$  = Costos de operación

subíndices 1 y 2 = Situaciones sin y con proyecto, respectivamente

El caso de proyectos viales en que predominan claramente los efectos del excedente del productor o efectos intermedios, corresponde a caminos en que hay poco tránsito y bajos niveles de actividad en la zona de influencia. En estos casos la magnitud de los beneficios por tránsito inducido es comparativamente mayor que los correspondientes al tránsito normal o existente (Gráfico 3.2a), lo que indica que los efectos de desarrollo son decisivos y deben constituir el centro del análisis.

En el Gráfico 3.2b se presenta otra forma de analizar los cambios ocurridos debido al proyecto a través de sus efectos en el sistema productivo. Con el precio si el proyecto  $P_1$ , se produce la cantidad  $Q_1$  (equivalente a  $V_1$ ). Con el proyecto, el precio en la explotación aumenta a  $P_2$ , lo que hace que la producción aumenta a  $Q_2$  (equivalente a  $V_2$ ). El excedente del productor corresponde a la suma del rectángulo y del triángulo achurados, que representan los incrementos respecto a la producción normal y los incrementos de la producción inducida, respectivamente. Las áreas achuradas en los Gráficos 3.2a y 3.2b son iguales. Por lo tanto, la función de la demanda de transporte refleja las condiciones subyacentes de la producción y el crecimiento de ella no puede proyectarse con exactitud a menos que se analicen las variaciones más fundamentales de la producción.

Gráfico 3.2a

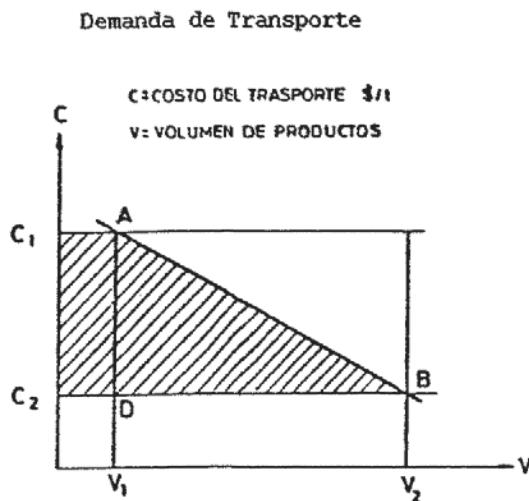
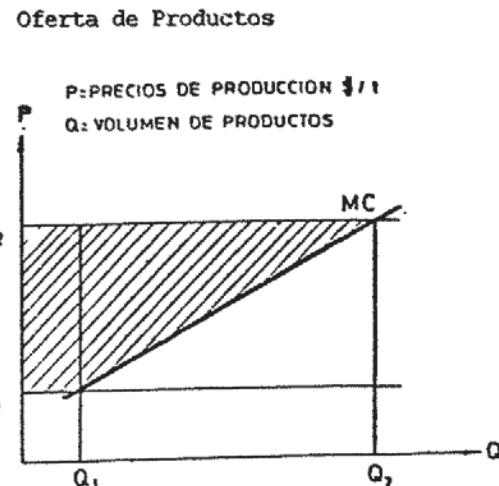


Gráfico 3.2b



La equivalencia demostrada en este caso simplificado, indica que los beneficios medidos en base al análisis directo de las variaciones de la producción no deben agregarse a los medidos en base a las áreas bajo la curva de la demanda de transporte, porque se estarían sumando dos veces los beneficios. Por lo tanto, se debe usar uno u otro método de medición y en caso de realizar ambas medidas, se pueden emplear con el objeto de verificación mutua.

De lo anterior de desprende que, en el caso de caminos productivos de bajo tránsito y en que se prevé una componente comparativamente elevada de demanda inducida, el enfoque de obtención de beneficios con base en la función de demanda de transporte no ofrece ventajas de presentación o medición, por cuanto igualmente se requeriría obtener todos los componentes implícitos en la función de demanda (estimaciones de costos, reacciones de la producción, zona afectada, etc.). Obtenidos estos datos es expedito y más seguro, proceder de acuerdo con el enfoque del Excedente del Productor centrando la atención en forma directa en las variaciones económicas básicas de la zona de influencia, en lugar de especular sobre posibles cambios en los volúmenes de tránsito o en lugar de agregar otra etapa elaborando una función de demanda de transporte.

### 3.3 El Enfoque del Excedente de Productor

La teoría postula que las mejoras que se introducen a un camino, se traducirán en menores costos de producción y en mayores precios a nivel del productor, y que el conjunto de ambas consecuencias, a su vez, incentivarán aumentos en la producción e incluso en la productividad, toda vez que ello podría lograrlo mediante costos marginales. Ello supone, primero, que al mejorar un camino disminuirá el costo de operación de los vehículos, lo que obviamente se cumple siempre; segundo, que los menores costos de operación se reflejarán a su vez en tarifas de fletes más reducidas; y tercero, que los intermediarios traspasarán a los productores el excedente que causan los menores costos de transporte.

En el Gráfico Nº 3.3, se expone un ejemplo referido a funciones de costos medios (C<sub>Me</sub>) y Marginales (C<sub>Mg</sub>) asociados en la producción de un determinado subsector. Los precios a nivel del centro productor se indican como P<sub>i</sub> y los costos de producción - incluidos los transportes de insumos y de productos destinados al mercado - se identifican como C<sub>i</sub>. Los subíndices 1 y 2 corresponden respectivamente a las situaciones sin y con proyecto.

Los beneficios generados por el proyecto están dados por la sumatoria de las tres áreas achuradas, que representan lo siguiente:

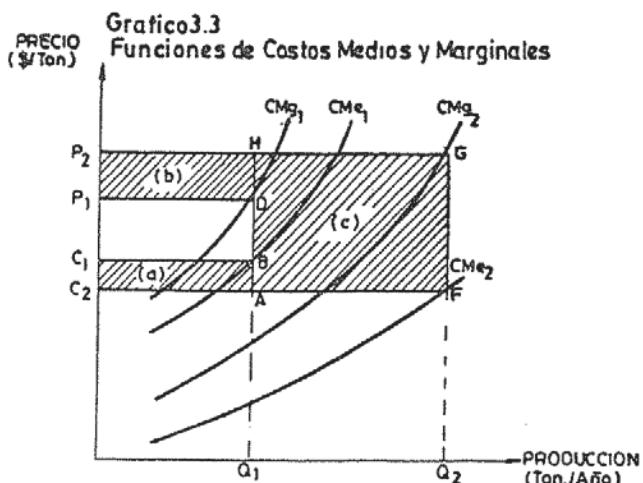
- El área (a) corresponde a la diferencia de costos de producción y de transporte causada por la producción Q<sub>1</sub>, y equivale al beneficio por tránsito normal asignado en la metodología tradicional.

- El área (b) corresponde al excedente que favorecería al productor, por el mayor precio que percibiría su producción Q<sub>1</sub>, gracias a la transferencia que obtendría de transportistas e intermediarios, quienes incurrirían en menores costos para trasladar la producción hacia los mercados.

- El área (c) tiene dos beneficios agregados: uno ocasionado por el eventual crecimiento de la producción de Q<sub>1</sub> a Q<sub>2</sub>, es decir, incluye el tránsito inducido, y el otro correspondiente a la ventaja de producir - en la situación con proyecto - cantidades mayores a precios inferiores.

La expresión analítica de la representación gráfica, referida a un conjunto de productos, es la siguiente:

$$B = \sum_i Q_{i1} (C_{i1} - C_{i2}) + \sum_i Q_{i1} (P_{i2} - P_{i1}) + \sum_i (Q_{i2} - Q_{i1}) (P_{i2} - C_{i2}) \quad (2)$$



### 3.4 Ventajas e inconvenientes en la adopción de Metodologías de Evaluación

De los desarrollos teóricos presentados se desprende que la adopción de la metodología tradicional basada en los ahorros de costo de transporte es eficaz para evaluar los beneficios que genera las mejoras en caminos que sirven a zonas de un nivel importante y/o consolidado de actividad económica. Si adicionalmente, para adaptarlos mejor al estudio de caminos productivos, se correlacionan las tasas de crecimiento previsto de los sectores productivos y se estima el incremento adicional que generaría el proyecto (tránsito inducido), entonces de dispondrá de una excelente herramienta de análisis.

Por otra parte, la metodología del excedente del productor es útil cuando se estudia la construcción de un camino en zonas aisladas (ej. caminos de penetración) y presenta ventajas en los casos de tránsito escaso. Sin embargo, el planteamiento teórico adolece en la práctica de exigir numerosas y calificadas informaciones, que requieren un arduo trabajo de búsqueda y toma de datos, para conocer las características de cada uno de los sectores o actividades productivas que se analicen (agrícola, subsector frutícola, pecuario, forestal, pesquero, minero, etc). Además, en su aplicación se debe tenerse especial preocupación en definir y dimensionar adecuadamente el área de influencia del camino y establecer aquellos efectos directos y reales que el proyecto vial tendrá sobre el desarrollo de la actividad productiva. Al respecto, existen muchos ejemplos que demuestran un sobredimensionamiento de los beneficios esperados, ya sea, por una irreal definición del área de influencia y/o por asumir efectos que corresponderían a acciones paralelas o complementarios al proyecto vial mismo.

Consecuentemente, es necesario calificar previamente cada caso para escoger la metodología más adecuada, ponderando debidamente las ventajas y desventajas que implican respectivamente la metodología convencional, versus las correspondientes al excedente del productor o metodologías combinadas que consideren adecuadamente la determinación de los beneficios generados por el proyecto.

Con base en este marco de referencia, es procedente entonces escoger para cada caso la metodología más adecuada, es decir, aquella que minimiza riesgos por omisión o por sobreestimación y al mismo tiempo, permite cuantificar beneficios en su real magnitud de manera confiable.

#### - Metodología combinada

Surge como claramente conveniente el combinar las dos metodologías anteriormente descritas para evaluar algunos proyectos en que el volumen de tránsito es bajo, y de esa manera, eludir los riesgos que presentaría la aplicación exclusiva de una u otra metodología anteriormente descrita. La aplicación de dicha combinación se basa en los fundamentos conceptuales que las sustenta, respectivamente.

El enfoque combinado se sustenta en que es posible separar, para efectos de cuantificar los beneficios, 1) aquellos beneficios que generan los tránsitos de pasajeros (autos, camionetas y buses) y los de cargas (camiones) de tipo general y otras no vinculadas a la producción del área de influencia del camino; y 2) aquellos beneficios que se derivan del incremento de la actividad productiva de la zona de influencia del camino. De acuerdo a este desglose, los beneficios referidos en primer lugar, se determinan mediante la metodología tradicional, y los segundos, de acuerdo al excedente del productor. De esta manera se combinan armónicamente y eficientemente ambas metodologías de forma de asignar a cada camino o tramo todos los beneficios significativos y mensurables que efectivamente puede generar.

### 4. ESTIMACION DEL TRANSITO INDUCIDO

#### 4.1 Introducción

En este capítulo se presenta un desarrollo metodológico para el análisis y la estimación del tránsito inducido, cuando la evaluación de proyectos viales se realiza a través de la metodología tradicional basada en los ahorros de costos de transporte para los usuarios.

Por Tránsito Inducido o Generado por un proyecto vial se entiende a aquel volumen de flujo que no existe antes de dicho proyecto y que se produce precisamente debido a él. Este nuevo tránsito está asociado a la disminución de los costos de transporte que significa el proyecto o a un mejoramiento en los niveles de servicio que, en último término, son posibles debido a esa disminución de costos.

De acuerdo a los Aspectos Metodológicos expuestos en el capítulo anterior, el uso de la metodología tradicional de evaluación es apropiada cuando se trata de caminos que sirven a zonas productivas ya desarrolladas y que presentan volúmenes relativamente importantes de tránsito o bien en caminos que, presentando bajos niveles de flujo vehicular se ubican en zonas de escaso potencial produc-

tivo o en que la posibilidad de un incremento por sobre lo normal del tránsito no esté directamente ligado al proyecto vial. En este tipo de situaciones, los beneficios del proyecto consisten en gran parte en los ahorros para el tránsito normal o existente y su crecimiento previsto y la magnitud de los beneficios del tránsito inducido es comparativamente pequeña.

Consecuentemente, en Chile ha sido usual el no considerar el tránsito inducido en la evaluación económica por medio de la metodología tradicional, asumiendo que dicha omisión no introduce errores de subestimación de beneficios. Ello ha estado avalado por la favorable circunstancia que la mayoría de los proyectos evaluados y ejecutados en el país desde mediados de la década anterior corresponden a mejoras de caminos ya existentes. Casos típicos de ellos son las repavimentaciones y ripiñaduras de tramos que previamente poseían dichas carpetas y que debido al uso se habían desgastado o deteriorado. Estos caminos poseen demandas relativamente cautivas y ha sido razonable asumir que no generan nuevos tránsitos en volúmenes significativos, excepto lo que podría corresponder a tránsitos desviados en los que la determinación de los beneficios no presenta mayores dificultades. Sin embargo, uno de los requerimientos planteados para el Estudio de Caminos Productivos, fué el de estimar la magnitud del tránsito inducido y los consiguientes beneficios derivados de él, para la generalidad de los proyectos que se evaluaran mediante la metodología tradicional.

Si para el análisis de un caso en particular el problema a resolver presenta dificultades y requiere de un análisis en detalle de variables de orden económico inherentes al camino específico, esta tarea resultaba especialmente compleja tomando en cuenta la gran cantidad y variedad de caminos que se debían evaluar así como la carencia de métodos, parámetros o antecedentes que pudiesen servir como elementos para un análisis a nivel agregado. Por tal motivo, los métodos desarrollados y las estimaciones logradas corresponden a formas simplificadas y prácticas de abordar planteamientos teóricos y deben ser consideradas como un primer esfuerzo para resolver este aspecto que representa un problema complejo en la investigación aplicada de la economía del transporte.

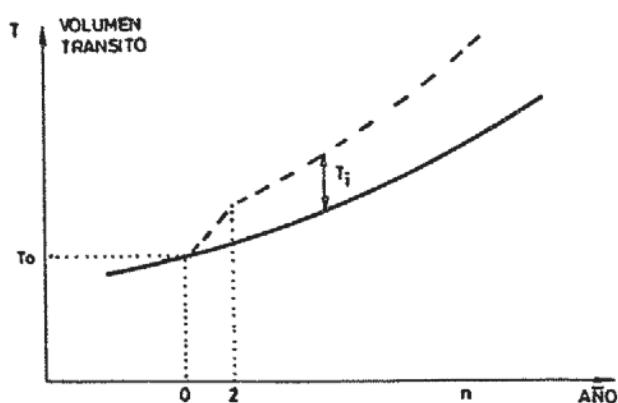
#### 4.2 Planteamiento del Problema y Métodos Desarrollados

Desde el punto de vista teórico el tránsito inducido aparece claramente representado a través de la curva de demanda de transporte que se expuso en el Gráfico 3.1. De la forma en que se representa esta curva se infiere que una disminución de los costos generalizados de viaje o de transporte involucra un aumento de la cantidad de viajes o, en general, de la demanda de transporte (demanda elástica). Sin embargo, la función de demanda de transporte, que en el gráfico corresponde a una representación agregada, es distinta para cada par origen destino de los flujos de transporte, para cada tipo de carga o usuario, para cada tipo de vehículo, para cada período de tiempo, para cada zona geográfica, etc. Por lo tanto, la determinación de la función de demanda de transporte es una materia compleja y ardua que requiere de una gran cantidad de antecedentes a nivel regional y que implica un proceso de modelamiento de tipo econométrico.

Como alternativa simplificada y útil para predecir el transito inducido se desarrollaron dos métodos alternativos, que se denominaron "Método de Coeficientes de Impacto" y "Método de la Elasticidad Costo-Demanda".

Ambos métodos se desarrollaron sobre la base de estudiar, en forma retroactiva el efecto en los niveles de tránsito, causado por proyectos de mejoramiento vial en varios caminos del país. Con dicho propósito se analizó la mayor cantidad de casos de caminos con mejoramientos anteriores en los que fue posible disponer de antecedentes confiables, considerando el comportamiento del tránsito "antes" y "después" del mejoramiento, obteniéndose dos conclusiones principales: 1) que solamente los cambios de estándar de carpeta (de tierra a ripio y de ripio a pavimento) causaron efectos en los niveles de tránsito perceptibles de identificar y de cuantificar, mientras que las mejoras de las mismas carpetas (ripiaduras o repavimentaciones) son imperceptibles (en términos de incremento de tránsito, excluido un posible tránsito desviado o atraído); y 2) que los cambios se reflejan bien como un "salto" entre el tránsito normal antes de la mejora y después de ella. Este fenómeno se representa gráficamente de la siguiente forma:

Gráfico 3.4 Representación del Tránsito Inducido



#### 4.3 Casos considerados para el análisis

Del universo de caminos analizados que correspondieron han tenido cambios de estándar, según registros de la Dirección de Vialidad, se seleccionaron aquellos que cumplieran los siguientes requisitos:

- Fueran caminos de la red vial secundaria
- Contaran con información confiable de tránsito antes y después de la mejora.
- Fueran caminos lo más libre posible de efectos de tránsito desviado.

Los caminos seleccionados para el análisis sumaron un total de 10 casos y correspondían a proyectos de cambio de carpeta de rodado de ripio a pavimento económico (Doble tratamiento Superficial), ejecutados entre la VI y la X Regiones.

#### 4.4 Método del "Coeficiente de Impacto"

La expresión general para determinar el Tránsito en un año  $n$  a partir de un Tránsito Base ( $T_0$ ), considerando una tasa de crecimiento vegetativo  $r_v$ , es:

$$T_n = T_0 * (1 + r_v)^n \quad (3)$$

Esto es referido a cada tipo de vehículo, en que  $r_v$  a veces es relativamente constante año a año, o bien fluctúa en un intervalo pequeño y delimitado.

Si se asume que dicho camino se pavimenta en el año  $n+1$ , el tránsito en el año  $n+2$  será:

$$T_{n+2} = T_{n+1} * (1 + r_i) \quad (4)$$

en que " $r_i$ " es la tasa que incluye el crecimiento vegetativo más el impacto.

Definiendo el coeficiente de impacto como  $k = r_i / r_v$

El Tránsito Inducido I una vez ejecutado el cambio de estándar en el año  $n+1$ , será, en el año  $n+2$ :

$$I = T_{n+1} (1+r_i) - T_{n+1} (1+r_v)$$

$$\text{luego } I = T_{n+1} * r_v (k-1) \quad (5)$$

en que  $k$  y  $r_v$  son conocidos y  $T_{n+1} = T_0 (1+r_v)$

Otro aspecto a definir para este método es, por una parte, el lapso de duración del impacto y, por otra, la tasa de crecimiento del flujo a continuación del impacto. Es claro que del estudio de casos no se obtiene esta información. No obstante, por definición, se infiere que su duración es breve, retornando posteriormente la tasa de crecimiento del flujo a un nivel próximo al del tránsito normal. Con estas consideraciones se propuso en el Estudio de Caminos Productivos: 1) adoptar la duración del impacto a un lapso de 2 a 3 años desde la puesta en servicio del cambio de estándar y 2) que el flujo continúe su evolución posterior, a partir de los nuevos niveles alcanzados, con la tasa de crecimiento del tránsito normal.

#### 4.5 Método de la Elasticidad Costo - Demanda

La elasticidad de la demanda de transporte en relación a su precio implica que una reducción de los costos de transporte producirá un aumento del tránsito, cuyo incremento es definido como Tránsito Inducido. Esto puede ser formulado como sigue:

$$\frac{dT}{T} = -e * \frac{dC}{C} \quad (6)$$

$$\text{o bien } e = -\frac{(dT/T)}{(dC/C)}$$

en que:

e: coeficiente de elasticidad Costo-Demanda de transporte.

T: volumen de tránsito normal

C: costo de transporte

El valor de e representa la tasa de cambio entre una variación relativa de los niveles de tránsito con respecto a la variación relativa de los costos de transporte.

##### - Procedimiento práctico para estimar el coeficiente de elasticidad

En términos teóricos, la elasticidad precio de la demanda podría ser calculada conociendo previamente la relación de la demanda de tránsito en función de su precio. Sin embargo, para obtener esta relación se requiere una gran cantidad de datos derivados de estudios regionales y el uso de modelos econométricos para obtener los valores de los parámetros de la relación.

La forma práctica adoptada para obtener el coeficiente de elasticidad fué la de relacionar las variaciones de tránsito con las reducciones de costos privados de operación de los vehículos, para el año inmediatamente después del mejoramiento del camino en que se disponga de información del TMDA medido por el Plan Nacional de Censos de la Dirección de Vialidad.

Con este objeto, se agregó al estudio de tránsito de los caminos empleados en el método anterior, la estimación de los costos privados de operación de los vehículos antes y después del mejoramiento. Esta estimación se hizo por tipo de vehículo y de carpeta, asumiendo características físicas medias típicas de los caminos y precios privados de los insumos por cada Región en que se ubican los caminos analizados.

Debido al desconocimiento de la estructura origen-destino de los viajes en la fecha en que se llevaron a cabo los proyectos de mejoramiento o en que se realizaron las mediciones de tránsito del PNC, se utilizó la siguiente expresión agregada para el cálculo de la elasticidad por tipo de vehículo:

$$e = I / (T * R) \quad (7)$$

en que I, T y R corresponden al tránsito inducido, al tránsito normal y a la reducción relativa de los costos privados de operación ( $-\Delta C/C$ ), respectivamente, para todos los orígenes y destinos del tránsito.

Para la determinación del tránsito normal ( $T$ ) en el año posterior al proyecto, se recurre a la tendencia histórica de crecimiento que presentaba el camino hasta antes del proyecto, analizando además el crecimiento de un camino homólogo sin mejoramiento.

El tránsito inducido por tipo de vehículo ( $I$ ) se obtiene entonces de la diferencia entre en el valor del TMDA medido en el año más próximo a la puesta en servicio de proyecto y el TMDA normal de ese mismo año calculado según lo indicado en el párrafo anterior.

El Valor de  $R$ , se calculó considerando los costos privados de operación medios por kilómetro, para cada tipo de vehículo, antes y después del proyecto, según la expresión:

$$R = - (C_{sp} - C_{cp}) / C_{sp} \quad (8)$$

$sp$  : situación sin proyecto

$cp$  : situación con proyecto

#### 4.6 Análisis Comparativo de ambos Métodos

##### - Resultados

Los valores medios del coeficiente de impacto y del coeficiente de elasticidad obtenidos de la forma descrita en los puntos anteriores, para cada tipo de vehículo, fueron los siguientes:

Cuadro N° 4.1 : Valores medios de  $k$  y  $e$

Vehículo	$k$	$e$
Autos	2,6	0,35
Ctas.	2,1	0,39
C.Simple	1,5	0,10
C.Pesado	2,5	1,00
Buses	1,8	0,24

Los resultados obtenidos muestran, en general, un amplio rango de variación de los valores de la elasticidad para cada tipo de vehículo, lo que es un reflejo de la situación particular de cada camino. Considerando el flujo vehicular en su conjunto, el valor de  $e$  varía entre 0.04 y 1.42, concordando con cifras que tradicionalmente se conocen al respecto, que sitúan el coeficiente de elasticidad en el rango entre 0.0 y 1.5.

Los resultados obtenidos, tanto por el Método de los Coeficientes de Impacto sobre las tasas de crecimiento como por el Método de Elasticidad Costo-Demanda, se obtuvieron sobre la base de un análisis realizado a un conjunto de caminos de determinadas características productivas y de ubicación dentro del territorio nacional. En efecto, los caminos seleccionados y analizados sirven preferentemente a zonas de actividad hortícola - frutícola (los de la VI Región) a

zonas de actividad ganadera (los de la X Región) y a zonas en que la componente forestal es importante ( los de la XIII y IX Regiones). No obstante esta diferenciación entre actividades productivas no fué posible obtener valores diferenciados de  $k$  y de  $e$  para cada uno de estos sectores en particular, por tanto, ellos podrían ser considerados como representativos de caminos pertenecientes al sector silvoagropecuario en la zona centro sur del país.

Tomando como base los valores medios de  $k$  obtenidos por el método de los coeficientes de impacto y los valores medios de  $e$  determinados por el método de la elasticidad, considerando  $k$  y  $e$  para cada tipo de vehículo, se utilizó un método estadístico simple para comparar el grado de predicción del tránsito inducido. El método consistió en calcular las sumatorias de las diferencias cuadráticas entre los valores de tránsito inducido real ( $I_r$ ) de cada uno de los 10 caminos analizados y los valores de tránsito inducido que predice cada Método ( $I_k$  e  $I_e$ ) para cada uno de esos caminos.

Es decir, se comparó  $\sum (I_r - I_k)^2$  con  $\sum (I_r - I_e)^2$ , para cada tipo de vehículo.

El valor de  $I_r$  corresponde a la diferencia entre el valor del TMDA medido por el PNC en el año más próximo a la fecha en que se terminó el proyecto y el TMDA "normal" que se habría presentado en ese año , según las tasas de crecimiento vegetativo.

De esta comparación se obtuvo que  $\sum (I_r - I_e)^2 < \sum (I_r - I_k)^2$  para cada tipo de vehículo, lo que indica que las predicciones del tránsito inducido obtenidos con valores medios de  $e$  resultan mejores que los con los valores medios de  $k$ .

En los cuadros Nº4.2 y Nº 4.3 se presentan la comparación de los tránsitos inducidos predichos por ambos métodos para dos de los caminos considerados en el análisis.

#### - Otras Consideraciones

Los métodos desarrollados son sencillos de aplicar en términos matemáticos y requieren de información básica fácil de obtener cuando se proceda a evaluar un proyecto de mejoramiento vial. Así por ejemplo, ambos métodos requieren de la tasa vegetativa de crecimiento del tránsito normal, la que se obtiene habitualmente de considerar la evolución histórica del tránsito y su correlación con las actividades productivas y demográficas del área de influencia del camino o con variables económicas y poblacionales a nivel regional o nacional. Estimada la tasa de crecimiento para cada vehículo se obtiene el valor del tránsito normal al año siguiente de la puesta en servicio del proyecto.

Adicionalmente, el método de la elasticidad requiere de los costos privados o financieros de operación para cada tipo de vehículo, en las situaciones sin y con proyecto, para calcular la reducción relativa de dichos costos en el período inmediatamente antes y después del proyecto. Esta información es fácil de obtener por cuanto implica solo valorar a precios de mercado los insumos que están presentes en el modelo de costos de operación que se emplea en la evaluación social. La incorporación de la variable de costos para la determinación del Tránsito Inducido, aparte de no representar una dificultad, constituye el principal aporte de éste Método por cuanto permite, por definición y en forma explícita, obtener valores distintos del Tránsito Inducido según sea el monto

de la reducción relativa de los costos de operación, hecho que no es posible a través del método de los coeficientes de impacto.

En base a éstas consideraciones y de acuerdo a la comparación de resultados expuesta en el punto anterior, se adoptó el método de la elasticidad para el cálculo de los Tránsitos Inducidos para los caminos evaluados por la metodología tradicional en el estudio de Caminos Productivos. Esto no significó el tener que aplicar directamente los mismos coeficientes medios de elasticidad obtenidos de la muestra de caminos seleccionados con anteriores proyectos de mejoramiento, sino que se debió analizar, para cada caso en particular y para cada tipo de vehículo, la conveniencia de usar estos valores medios o adoptar valores mayores, valores menores o incluso valores nulos de la elasticidad.

#### 4.7 Criterios Generales para la Aplicación del Método de la Elasticidad Costo - Demanda

A continuación se indica la forma en que los valores del método de la elasticidad, se hicieron extensivos al Estudio de Caminos Productivos.

En primer lugar, se realizó una clasificación de los caminos estudiados, según la principales componentes del flujo de carga que se moviliza por estos caminos, el que está relacionado con la actividad productiva que se desarrolla en el entorno o en el área de influencia del camino o con las actividades de las zonas o centros de producción y consumo que permite conectar ese camino.

En segundo lugar, se establecieron las similitudes y diferencias que existen entre los caminos correspondientes a la muestra con la cual se obtuvieron los coeficientes de elasticidad y los caminos a los cuales se les podría aplicar en forma directa, los resultados obtenidos.

Por último, se estableció un procedimiento que permitiera indicar la eventualidad de considerar coeficientes de elasticidad cero o mínimo o de considerar mayores valores de ese coeficiente. Naturalmente, esta selección fué tentativa y estuvo sujeta a los resultados que arrojaran el estudio de la demanda existente y sus proyecciones.

Cabe señalar, por último, que el programa de evaluación desarrollado para el Estudio de Caminos Productivos (Programa EVIAL 2) sensibiliza los indicadores de rentabilidad de la evaluación económica considerando la presencia o no de tránsito inducido.

#### 4.8 Efectos de los Beneficios por Tránsito Inducido en los resultados de la evaluación económica

El efecto de haber considerado el tránsito inducido y los beneficios derivados de éste en la evaluación económica de aquellos caminos que se evaluaron a través de la metodología tradicional, se visualiza a través de los resultados que, a modo de ejemplo, se muestran en los cuadros Nº 4.4 y Nº 4.5, que representan a caminos con un TMDA entre 300 y 500 vehículos ubicados en la zona central del país.

El tránsito inducido I se obtuvo, para los caminos del ejemplo, considerando los valores medios de elasticidad estimados para cada tipo de vehículo.

En los proyectos viales mostrados, los beneficios por tránsito inducido incrementan del orden del 10% el VAN del escenario en que no se considera este beneficio e incrementan en más de un punto la Tasa Interna de Retorno y la Tasa de Rentabilidad Inmediata. No obstante este aporte a los indicadores de rentabilidad del proyecto, el efecto de no considerar beneficios por tránsito inducido es menor que las variaciones que experimentan los indicadores de rentabilidad al sensibilizar los resultados en los rangos que habitualmente se utilizan para los costos de inversión y los ahorros por costos totales de operación en un escenario pesimista.

**CUADRO N° 4.2**

COMPARACION DE TRANSITOS INDUCIDOS PREDICHOS POR AMBOS METODOS						
Camino : Codo - Las Cabras			Región: VI		Long. : 11.0 Kms.	
Proyecto: Pavimentación			F. Inversión: Nov/84 - Dic/85			
	Autos	Ctas	C.S.	C.P	Buses	TMDA
Coef. k	2.6	2.1	1.5	2.5	1.8	
Coef. e	0.35	0.39	0.1	1	0.24	
R	0.506	0.526	0.515	0.466	0.388	
<b>TRANSITO TOTAL</b>						
TMDA medido 1984	446	335	180	36	126	1123
TMDA medido 1986	643	467	207	82	143	1542
TMDA 1986 estim.(1)	528	391	191	52	132	1294
<b>TRANSITO INDUCIDO</b>						
Método k	131	62	6	24	5	227
Método e	94	80	10	24	12	220
Real	115	76	16	30	11	248

(1) Según tasa de crecimiento vegetativa (rv)

**CUADRO N° 4.3**

COMPARACION DE TRANSITOS INDUCIDOS PREDICHOS POR AMBOS METODOS						
Camino : Rosario - Qta. de Tilcoco			Región: VI			
Proyecto: Pavimentación			Long. : 13.4 Kms.			
F. Inversión: Abr/86 - Dic/86						
	Autos	Ctas	C.S.	C.P	Buses	TMDA
Coef. k	2.6	2.1	1.5	2.5	1.8	
Coef. e	0.35	0.39	0.1	1	0.24	
R	0.506	0.526	0.515	0.466	0.388	
<b>TRANSITO TOTAL</b>						
TMDA medido 1986	381	191	135	6	43	756
TMDA medido 1988	486	323	157	44	63	1073
TMDA 1988 estim.(1)	427	264	142	33	55	921
<b>TRANSITO INDUCIDO</b>						
Método k	74	80	4	41	10	208
Método e	76	54	7	15	5	158
Real	59	59	15	11	8	152

(1) Según tasa de crecimiento vegetativa (rv)

**CUADRO N° 4.4 : EVALUACION CAMINO LOLENCO - MARIA PINTO**

SECTOR : Cruce Ruta 68 - María Pinto Longitud 15,7 Kms.  
 SIT. SIN PROY. : Carpeta Granular  
 SIT. CON PROY. : Carpeta D.T.S.  
 ACT. PRODUCTIVA : Hortalizas, leche, ganado, frutas, otras agrícolas

TRANSITO	A	C	CS	CP	B	
TMDA BASE 1991	99	124	57	2	26	
TASA CREC. %	6.0	6.0	4.0	2.8	4.0	
COEF. ELASTIC.	0.35	0.39	0.10	1.00	3.00	
TTO. INDUCIDO	16	21	3	1	3	
COPER \$/VEH. (1er. año)	S/P C/P	798.5 449.8	878.3 507.8	2065.4 985.0	3200.2 1823.7	2644.9 1509.3

**RESULTADOS DE LA EVALUACION**

ESCENARIOS	VAN (MILL.\$)	TIR (%)	B/C	TRI (%)
SITUACION MEDIA (1)	453.10	26.35	1.93	22.03
SIN TTO. INDUCIDO	411.50	25.15	1.82	20.88
+ 20% INVERSION (2)	383.30	22.48	1.61	
- 20% BENEF. OPERAC. (2)	317.65	22.38	1.60	
- 50% VALOR TIEMPO (2)	413.19	25.16	1.83	

**CUADRO N° 4.5 : EVALUACION CAMINO SAN VICENTE - EL TAMBO**

SECTOR : San Vicente - El Tambo Longitud 10,0 KMS.  
 SIT. SIN PROY. : Carpeta Granular  
 SIT. CON PROY. : Carpeta D.T.S.  
 ACT. PRODUCTIVA : Fruticola, Horticola

TRANSITO	A	C	CS	CP	B	
TMDA BASE 1991	137	155	75	19	60	
TASA CREC. %	6.0	6.0	5.6	5.8	4.0	
COEF. ELASTIC.	0.35	0.39	0.10	1.00	0.24	
TTO. INDUCIDO	18	21	4	7	6	
COPER \$/VEH. (1er. año)	S/P C/P	476.0 293.4	522.5 334.9	1208.2 640.6	1914.7 1180.3	1579.1 975.5

**RESULTADOS DE LA EVALUACION**

ESCENARIOS	VAN (MILL.\$)	TIR (%)	B/C	TRI (%)
SITUACION MEDIA (1)	457.36	31.19	2.99	26.45
SIN TTO. INDUCIDO	419.55	29.75	2.82	25.04
+ 20% INVERSION (2)	407.43	26.70	2.47	
- 20% BENEF. OPERAC. (2)	342.12	26.75	2.49	
- 50% VALOR TIEMPO (2)	421.01	29.72	2.83	

(1) Incluye tránsito inducido

(2) Variaciones c/r a la situación media