

COSTOS MARGINALES DE LARGO PLAZO POR TIPO DE VEHICULO EN CARRETERAS

Sergio Jara-Díaz y Marcela Munizaga
Universidad de Chile, Casilla 228-3, Santiago
Fono: 6894206, Fax: 6712799

RESUMEN

El cobro por el uso de infraestructura es visto como una forma de introducir equidad y eficiencia en el transporte interurbano de carga y pasajeros. La asignación óptima de recursos requiere del cálculo de costos marginales asociados a la construcción y mantenimiento de caminos, los que son usados por una gran variedad de tipos de vehículo. Los automovilistas pueden argumentar que son los operadores de vehículos pesados quienes deben financiar los caminos, debido a que dichos vehículos requieren pavimentos de gran espesor; los operadores de camiones, a su vez, pueden señalar al gran volumen de vehículos livianos como el responsable del número de pistas y nivel de servicio requeridos. Así, cada usuario ve el problema con una perspectiva de costo incremental, tomando el otro flujo como base. En este artículo, se describe y aplica una metodología para obtener los costos marginales de largo plazo por tipo de vehículo; ella está basada en la estimación de una función de costos continua con multiproducto, en la cual los costos de construcción y mantenimiento dependen del nivel y composición del tráfico. Se usan las reglas vigentes de diseño para obtener los costos totales para un número adecuado de flujos vehiculares en un rango predeterminado, considerando cuatro tipos de vehículo. El método se aplica a nueve combinaciones de zona y topografía. Con estos datos se estima econometricamente funciones flexibles a partir de las cuales se calcula costos marginales que resultan ser, para camiones pesados, entre tres y doce veces el de los autos. Se detecta retornos crecientes a escala y economías de diversidad entre carga y pasajeros y entre vehículos livianos y el resto. Se discute el impacto de estos valores sobre el financiamiento de caminos.

1. INTRODUCCION

En el caso ideal, la asignación más adecuada de los recursos puede lograrse a través del mecanismo de precios, si se cobra a los usuarios el costo real del bien o servicio consumido. Por alguna razón, esta idea tan sencilla no ha recibido la atención adecuada en el caso de provisión de infraestructura de transporte en general, particularmente en el caso de carreteras. Esto se debe probablemente a la falta de un enfoque adecuado para enfrentar el problema, que puede ser planteado como el de estimar el valor de los recursos necesarios para permitir un viaje; cobrar ese valor al usuario introduciría equidad y eficiencia a la vez en el transporte interurbano de carga y pasajeros. Alternativamente, conocer tal monto permitiría proponer esquemas de segundo óptimo, de ser lo primero infactible o no deseable desde algún punto de vista.

Planteado de otra manera, la asignación óptima de recursos en el largo plazo requiere del cálculo de costos marginales debido a la construcción y mantenimiento de caminos, los que son usados por una mezcla heterogénea de vehículos. El problema que tradicionalmente causa mayores dificultades es el de identificar qué proporción del costo de construcción y mantención de carreteras se debe a cada uno de los tipos de vehículo que las utilizan. Si se habla de vehículos livianos y pesados, normalmente se argumenta en el siguiente sentido: si las carreteras fuesen sólo diseñadas, construidas y mantenidas para el tránsito pesado, serían de pavimentos resistentes y de capacidad (número de pistas) reducida; en tanto que si sólo fuesen hechas para automóviles, serían de pavimentos más livianos y de mayor capacidad. Con esta forma de mirar el problema, no es posible resolver la pregunta planteada anteriormente, ya que la respuesta depende de qué se tome como flujo base y qué como flujo adicional. Proponemos aquí una visión completamente distinta y novedosa en el contexto del análisis de este tipo de costos.

En este artículo, se describe y aplica una metodología para estimar costos marginales de largo plazo por tipo de vehículo en carreteras; ella se basa en la estimación de una función multiproductiva de costo en la cual los gastos de inversión y mantención dependen de la composición del tráfico de diseño. La idea básica, expuesta en la sección siguiente, es la de generar observaciones (en un sentido econométrico), usando las actuales normas de diseño para obtener el costo total para un número adecuado de composiciones de tráfico, seleccionadas aleatoriamente dentro de un rango predeterminado. Con esa base se obtiene econométricamente una función (flexible) de costos a partir de la cual puede calcularse analíticamente no sólo los costos marginales, sino también los grados de economías de escala y diversidad. El método fue aplicado a nueve combinaciones zona-topografía en Chile: norte, centro, sur, plano, ondulado, montañoso. Los resultados son descritos en la tercera sección, mostrando no sólo las cantidades obtenidas y las implicaciones económicas que de allí se derivan, sino también la efectividad del método. En la cuarta sección se extraen las principales conclusiones metodológicas y empíricas, incluyendo las consecuencias tarifarias y financieras.

2. METODOLOGIA

Como es sabido, una función de costo representa el mínimo gasto necesario para generar un cierto nivel de producto a precios de factores dados; el mecanismo de minimización es el de la adecuada elección (tipo y cantidad) de insumos. Si alguno de los insumos no es ajustable, se obtiene una

función de costo de corto plazo. En lo que sigue planteamos la visión de un tramo de carretera como el resultado de la combinación más adecuada de recursos (trabajo, maquinaria, materia prima y elaborada, etc.) para servir un cierto flujo vehicular, mirado como el producto del proceso. El costo asociado a ese uso de recursos correspondería a un punto de la función de costo respectiva.

En una visión de largo plazo, los costos asociados al transporte por carretera deben incluir la provisión de infraestructura necesaria, tanto su construcción como su mantención. Tales costos dependen del flujo considerado para el diseño, así como de las condiciones climáticas y topográficas. La idea central para realizar estimaciones de estos costos marginales, es la de enfrentar como continuo un problema usualmente visto de manera discreta y agregada. En síntesis, se trata de obtener una función escalar que entrega el costo de construcción y mantención de un camino en condiciones climáticas y topográficas dadas, en función del nivel y composición del flujo de vehículos utilizados para su diseño. Esta función de costos queda definida como

$$C_{ct} = C_{ct}(V_1, V_2, \dots, V_n)$$

donde C_{ct} es el mínimo gasto asociado a la provisión de infraestructura para un flujo de vehículos con composición V_1, V_2, \dots, V_n , en clima c y topografía t. Así, los costos marginales por tipo de vehículo son calculables directamente como la derivada de una función continua multivariada. Cabe hacer notar que los factores climáticos corresponden a la zonificación usada; se puede hablar así de clima o zona. Con este enfoque se trata de estimar econométricamente las funciones C_{ct} , generando un conjunto apropiado de vectores de flujo vehicular (variables independientes) y calculando, según normas establecidas, el costo de infraestructura asociado a cada vector (variable dependiente). Sobre la base de suficientes "observaciones" así generadas, se obtiene una función para cada combinación c-t considerada, a partir de las cuales se puede calcular los costos marginales como una serie de derivadas parciales $\partial C / \partial V_i$.

Como la información no será obtenida de flujos y gastos realmente observados, ellos serán creados en forma ad-hoc, lo que implica resolver varias dimensiones específicas del problema :

- i) identificar una forma concisa de representar flujos;
- ii) identificar un número y rango adecuado de observaciones de flujo; definición de una serie concreta de vectores;
- iii) cálculo del gasto necesario para construir (inversión) y mantener un tramo básico de carretera para cada vector (composición de tráfico) definido;
- iv) estimación de una función flexible de costos.

Este procedimiento puede ser efectuado para varias topografías tipo, identificadas por curvatura horizontal y vertical. El paso ii) deberá descansar en la evidencia empírica asociada a cada caso particular para determinar el rango en que se hará variar los V_i .

Las funciones así estimadas servirán para calcular los costos marginales (de la vía) de largo plazo que reflejen uso de recursos bajo una óptica de óptimo tecnológico; cabe hacer notar que el diseño mismo de la carretera adecuada en cada "observación" no es de interés en sí mismo para este propósito, sino un paso intermedio para calcular el costo equivalente asociado. Cabe hacer notar que la estrategia diseñada convierte un problema discreto (diseño) en un continuo (función de costo). Es interesante mostrar que la visión descrita al comienzo (enfoque del flujo "adicional") es interpretable bajo nuestro enfoque. Si V_L y V_P representan vehículos livianos y pesados, respectivamente, y la función estimada es $C(V_L, V_P)$, ese enfoque postularía que el gasto adicional debido a P es

$$C(V_L, V_P) - C(V_L, 0) = CI_P \quad (1)$$

donde CI_P , es el costo incremental (Baumol, Panzar y Willig, 1982). El gasto adicional debido a L sería

$$C(V_L, V_P) - C(0, V_P) = CI_L \quad (2)$$

y la "proporción" en que cada uno sería responsable del costo total de vías resulta

$$\frac{CI_P}{C(V_L, V_P)} \quad y \quad \frac{CI_L}{C(V_L, V_P)} \quad (3)$$

las que sumarían uno sólo si no existen economías de diversidad (ventajas de producción conjunta). Cada vehículo i respondería por un gasto de vía CI_i/V_i (Costo incremental medio; Baumol, Panzar y Willig, 1982). Nosotros proponemos usar $\partial C/\partial V_i$. Nótese que ambos coinciden sólo si la función de costos fuese de la forma

$$C(V_L, V_P) = \alpha V_L + \beta V_P$$

como es fácil comprobar, es decir, si no hay complementaridad de costos $(\partial^2 C/\partial V_i \partial V_j = 0)$.

Por las razones expuestas, se postula conveniente el uso de una función multivariada flexible, en el sentido de permitir segundas derivadas no nulas. Se mostrará conveniente desviar las observaciones de flujo con respecto a su media (\bar{V}) . Las funciones a estimar son del tipo cuadrático, es decir

$$C(V) = A_0 + \sum_{i=1}^n A_{ii} (V_i - \bar{V}_i) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n A_{ii} (V_i - \bar{V}_i)^2 + \sum_i \sum_{j \neq i} A_{ij} (V_i - \bar{V}_i) (V_j - \bar{V}_j) \quad (5)$$

las que son interpretables como una aproximación de la verdadera función $C(V)$ en serie de Taylor en segundo orden en torno a la media de los flujos.

De esta manera, los costos marginales evaluados en la media son :

$$m_1 = \frac{\partial C}{\partial V_1} \Big|_{\bar{V}} = A_1 \quad (6)$$

y el grado de economías de escala S (Panzar y Willig, 1975) se obtiene como

$$S = \frac{C(V)}{V \cdot \nabla C} \Big|_{\bar{V}} = \frac{A_0}{\sum_i \frac{A_i}{V_i}} \quad (7)$$

Este último tiene gran importancia en el análisis financiero del sistema de cobros, ya que si $S > 1$ (existen economías de escala), entonces la tarificación a costo marginal no cubre los costos de provisión de infraestructura.

Por último, a partir de la ecuación (5) se puede calcular el grado de economías de diversidad (ED) que sirve para examinar la conveniencia de producir dos sub-conjuntos ortogonales de flujo en forma conjunta o separada, es decir, con una misma infraestructura o segregando en dos caminos de tráfico especializado.

$$ED_R = \frac{1}{C(V)} [C(V^R) + C(V^{N-R}) - C(V)] \quad (8)$$

donde V^R es un vector con flujos V_i nulos para todo $i \notin R$, de forma tal que si ED_R fuese negativo, convendría construir dos carreteras : una para los flujos R y otra para los N-R.

3. APLICACION

3.1. Generación de observaciones

Luego de un detallado análisis de los factores que inciden en el diseño estructural y geométrico de caminos, se decidió estratificar por tipo de vehículo, por zona y por topografía para llevar el problema a dimensiones manejables, dada su naturaleza multiproductiva y continua (cada tramo de camino es distinto).

En la estratificación por tipo de vehículo, se definió cuatro clases, que se diferencian básicamente debido a la carga por eje que solicita el camino: estos son, vehículos livianos (automóviles, camionetas), buses, camiones y camiones pesados. Cada combinación (cuantitativa) es un vector de flujos que constituye una "observación" de la mano derecha de la función de costo.

Asimismo, se definió tres zonas (norte, centro y sur), que en combinación con tres tipos de topografía (plana, ondulada, montañosa), definen los parámetros dependientes del clima, tipo de suelo, desarrollo de entorno, etc. que son necesarios para el diseño estructural de pavimentos.

Se decidió estimar una función de costo multiproducto (que incluya los cuatro tipos de flujo) al interior de cada una de las combinaciones posibles de zona-topografía (nueve en total). Considerando un número de observaciones suficiente para permitir estimar efectos de segundo orden, se decidió generar 45 observaciones para cada modelo, que corresponde al mínimo para asegurar confiabilidad estadística (esto es treinta más que el número de parámetros de una función cuadrática con cuatro variables explicativas. Ver Jara-Díaz 1988). Las observaciones fueron generadas aleatoriamente, con una distribución uniforme multivariada entre cero y un flujo mayor que el máximo observado en caminos de cada zona y topografía. Esta forma de generar las observaciones asegura buenas propiedades para la estimación.

Los datos de flujo fueron entregados a un experto en diseño de caminos, quien para cada vector de flujos realizó el diseño según las normas establecidas por el Manual de Carreteras 1981 (Método AASHTO 1986, factor de seguridad 1), y calculó los costos de inversión inicial, repavimentación y mantención correspondientes a la construcción y operación del camino diseñado para el nivel de flujo y la zona dados. Se establece así una asociación entre costo total y el nivel y composición de flujo; esto es lo que llamaremos una observación en el sentido econométrico. A continuación se describe la mecánica a través de la cual el vector de flujos genera un nivel de gasto.

Los costos de construcción y operación dependen básicamente del número de pistas y del diseño estructural del camino. Analizaremos como influyen distintos aspectos en estas variables. El número de pistas queda determinado por el TMDA (suma de los flujos de distintos tipos) y su composición (factor por circulación de vehículos pesados), por el nivel de servicio que se decide otorgar al camino, y por factores que dependen del lugar en que se construye el camino (obstáculos laterales, desarrollo del entorno).

El diseño estructural de pavimentos tanto rígidos como flexibles depende de la solicitud del camino medida en ejes equivalentes en la vida de diseño, y de otros factores como el clima, tipo de suelo, y nivel de servicio. Los ejes equivalentes corresponden al número de pasadas de un eje de 8.15 toneladas a los que equivaldría la solicitud. Los factores de equivalencia están dados en el Manual de Carreteras y van desde del orden de 0.1 para ejes de menos de 5 toneladas hasta del orden de 40 para ejes simples con una carga de entre 18 y 19 toneladas; cabe señalar que estos factores son levemente distintos para el caso de pavimentos de asfalto y de hormigón. El diseño estructural queda definido en términos del espesor de la capa superior en cada caso, ya que el espesor de cada una de las dos capas inferiores depende o bien de la capa superior, o del clima, o está predeterminado. Se debe hacer notar que existe un diseño estructural mínimo.

Para cada diseño de camino (para cada observación) se calculó el costo unitario (por metro lineal) de construir y mantener un camino adecuado para el flujo dado, en la zona dada, con la topografía dada; estos costos fueron calculados tanto para asfalto como para hormigón, eligiendo finalmente como valor de la variable de la mano izquierda el diseño más barato. Los costos de inversión inicial incluyen costo del terreno, pavimento y obras preliminares y complementarias. Para el costo de pavimento, se definió en cada zona relaciones lineales con un término constante entre el gasto en pavimentación por metro cuadrado de carpeta y el diseño estructural (definido por el espesor de la capa superior) para pavimentos de asfalto y hormigón. El valor unitario de las obras preliminares y complementarias depende de la zona y del diseño estructural.

ACTAS DEL V CONGRESO CHILENO DE INGENIERIA DE TRANSPORTE, 1993
LAS SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA DE TRANSPORTE

actividades de mantención consideradas para pavimento asfáltico son sello asfáltico, bacheo superficial y bacheo profundo. En pavimentos de hormigón se consideró sello de juntas y grietas, reparación de juntas y reposición de losas. En ambos tipos de pavimento se incluyó el costo de mantención rutinaria que incluye limpieza de fajas, limpieza de obras de arte, etc. En el caso de pavimento de hormigón, el costo de mantención depende del ancho de plataforma y del costo de la losa. En el caso de pavimento asfáltico depende sólo del ancho de calzada.

Así, tanto el número de pistas como el espesor del pavimento (que generan directamente el costo), son funciones relativamente complejas, pero muy evidentes, del nivel y composición del tráfico.

En la Tabla 1 se entrega información resumida de la base de datos generada. Para cada combinación zona-topografía, se entrega la media del nivel de flujo de cada uno de los cuatro tipos de flujo y la media de la variable dependiente (costo). Cabe señalar que en todos los casos el diseño en hormigón resultó ser de menor costo que el diseño en asfalto. La zona de mayor flujo es sin duda la zona central; además, los niveles de flujo son mayores en topografías planas que onduladas y montañosas. No tiene sentido hacer análisis de correlación y varianza entre flujos ya que la generación aleatoria de ellos asegura ausencia de colinealidad. Estas observaciones permiten estimar econométricamente una función que las relacione (función de costo).

TABLA 1
NIVEL DE FLUJOS Y COSTO EN LA MEDIA
DE LAS OBSERVACIONES POR ZONA-TOPOGRAFIA

Zona - Topografía	VLiv	Buses	Cam	Cam Pes	Total	Costo \$/m/año
Nor-Plan	8553	726	346	1097	10723	12782
Nor-Ondu	7613	508	337	898	9356	16765
Nor-Mont	615	190	244	147	1196	18458
Cen-Plan	9210	2078	2658	1757	15704	32328
Cen-Ondu	4149	500	955	537	6141	27816
Cen-Mont	2745	345	338	306	3734	42680
Sur-Plan	6625	628	1117	2178	10548	21112
Sur-Ondu	3311	425	1145	1145	6025	27684
Sur-Mont	1414	477	529	270	2691	43580

3.2. Modelos y resultados

A partir de las observaciones generadas en la forma descrita en el punto anterior, se estimó mediante regresión lineal múltiple funciones de costo multiproductivas para cada combinación zona-topografía. Las funciones estimadas incluyen un término constante, términos lineales en cada uno de los cuatro tipos de flujo y todos los efectos de segundo orden.

Los resultados de la estimación en términos de la confiabilidad estadística son muy buenos. El ajuste de todas las curvas es excelente (R^2 corregido sobre 0.992 en todos los casos). El test t indica que todos los términos de primer orden y algunos términos de segundo orden son significativos al 99% de confianza. Se sacrificará el análisis de los coeficientes directamente por el análisis de variables interesantes que se obtienen a partir de los parámetros en la forma indicada en la sección 2.

En la Tabla 2 se entrega los costos marginales estimados en el punto de aproximación, que es uno de los elementos mejor captados por las funciones cuadráticas en general. No se incluyó en la Tabla 2 los valores del estadístico t debido a que todas las estimaciones reportadas en ésta son significativas al 99% (t mayor que 2.807). Estos valores deben ser interpretados como el aumento marginal en el gasto en construcción y mantención de caminos que provocaría el paso de un vehículo de un determinado tipo por un kilómetro de camino en la zona y topografía especificada. Cabe recordar que el concepto de costo marginal está asociado a un vehículo adicional al flujo existente, y que no es lo mismo que el costo medio incremental.

TABLA 2
COSTOS MARGINALES ESTIMADOS
EN LA MEDIA DE LAS OBSERVACIONES

ZONA	C _{mrg} [*] [\$/veh/km]			
	LIV	CAM	PES	BUS
N - P	1.61	3.85	10.02	4.11
N - O	1.77	8.66	15.52	7.28
N - M	4.40	38.88	50.09	26.05
C - P	2.75	4.96	8.57	4.95
C - O	2.80	12.77	20.08	9.87
C - M	4.35	37.96	53.03	26.14
S - P	2.17	4.69	9.07	4.61
S - O	2.59	11.17	17.79	9.23
S - M	3.95	33.30	46.99	23.30

* Todos los valores significativos al 99%

Los valores reportados indican costos marginales menores para vehículos livianos, medios para buses y camiones livianos, y mayores para camiones pesados. Esta relación de orden está de acuerdo con lo esperado y por lo tanto es un indicador de que los resultados obtenidos son razonables. Asimismo, los costos marginales son sistemáticamente menores en caminos planos que en caminos ondulados, y estos a su vez menores que los de caminos montañosos (para una misma zona). Finalmente, los resultados indican que los costos marginales son mayores en el centro, y menores en el norte.

Para ilustrar el orden de magnitud de estos costos marginales, consideremos un viaje a La Serena (475 kilómetros) en automóvil; el costo de construcción y mantención de carreteras asociado a ese viaje sería de 1330 pesos suponiendo zona centro y topografía ondulada (el peaje que un automóvil debe pagar por ese viaje es de 1000 pesos en día laboral y 2000 pesos en día festivo). El cálculo para cada viaje específico implica descomponer el camino en tramos según la clasificación zona-topografía y multiplicar por los costos marginales respectivos para obtener el costo marginal total.

Detrás de los resultados analizados están incorporados diversos efectos como por ejemplo la influencia del nivel de flujo. Para un análisis riguroso de efectos económicos globales se calculó los grados de economías de escala y de diversidad. Los valores son reportados en la Tabla 3. Como se puede ver, el modelo detecta la existencia de economías de escala y de diversidad en todos los casos. La existencia de economías de escala debe ser interpretada como la ventaja (desde el punto de vista de los costos) de la "producción" masiva de flujos de automóviles, camiones livianos y pesados y buses. La existencia de economías de diversidad indica conveniencia desde el punto de vista de los costos de producir en conjunto flujos de vehículos de carga y pasajeros en un caso, y flujos de vehículos livianos y vehículos pesados en el otro caso.

TABLA 3
GRADOS DE ECONOMIAS DE ESCALA Y DE DIVERSIDAD*

Zona-Topog.	S	ED Carga-Pas	ED Liv-Resto
N - P	1.45	0.24	0.23
N - O	1.56	0.31	0.32
N - M	2.04	0.29	0.24
C - P	1.29	0.33	0.30
C - O	1.82	0.39	0.38
C - M	2.32	0.53	0.52
S - P	1.56	0.30	0.29
S - O	1.73	0.40	0.39
S - M	2.30	0.50	0.49

* Todos los valores significativos al 99%

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Es importante señalar, en primer lugar, que la aplicación de la metodología aquí descrita, basada en un enfoque multiproductivo, no presentó dificultad alguna de implementación. Una de las labores más importantes fue la de seleccionar adecuadamente la tipología de caminos (zonatopografía) y los parámetros de diseño que la acompañan; una vez decidido esto, el procedimiento de cálculo del costo (mínimo) asociado al diseño (óptimo) para cada vector de flujos, pudo ser realizado mediante un programa computacional. Dado que las observaciones son simuladas, el método no presenta (por construcción) los problemas estadísticos usuales (autocorrelación, multicolinealidad o heteroscedasticidad), lo que refuerza la idea de lo adecuado que resulta utilizar una especificación flexible.

Los resultados muestran regularidades que responden a la intuición. Para cada tipo de vehículo y zona, los costos marginales crecen con el grado de dificultad de la topografía, en tanto que para cada topografía y zona, los costos marginales crecen con el tamaño del vehículo; en todos los casos, camiones livianos y buses presentan costos marginales en el mismo rango, que representa un nivel intermedio entre el de los vehículos livianos y los camiones pesados. También se presentan otras regularidades menos intuitivas, como que, a igual topografía, los costos marginales son normalmente mayores en la zona central salvo dos excepciones. Además, la razón entre costos marginales tomando los vehículos livianos como base, crece para los tres tipos de vehículo pesado en cada zona, en proporción variable entre dos y cuatro al pasar de plano a montañoso; es decir, la dificultad topográfica magnifica las diferencias entre costos marginales.

Al pasar a una visión de los costos marginales como elementos para la tarificación por el uso de caminos, los resultados en términos de las estimaciones del grado de economías de escala adquieren particular relevancia. En efecto, si se tarificase a costo marginal, el denominador de la expresión para S (ecuación 7) representa la recaudación total debido al flujo medio; como el numerador representa el costo en la media, la presencia de economías de escala ($S > 1$) indica que los costos no son cubiertos por los precios óptimos. De la Tabla 3, se desprende que éste es precisamente el caso en carreteras, lo que sugiere que un esquema de tarificación óptima requiere de subsidios o, si se desea recaudar con mínima distorsión, de esquemas que reflejen algún tipo de segundo óptimo.

Puede llamar la atención la gran proporción entre el costo marginal de los camiones pesados y el de los vehículos livianos en topografía montañosa. Sin embargo, de la Tabla 1 se observa que el flujo medio en esos casos es el menor dentro de cada zona, lo que, sumado a la presencia de economías de escala (ventajas de costo en la expansión de flujos) contribuye a explicar el fenómeno. Este mismo análisis es aplicable al caso de caminos ondulados.

Los resultados de economías de diversidad muestran la inconveniencia de construir carreteras "especializadas" (e.g. vehículos livianos - resto). Esto muestra que, a pesar del mayor número de pistas inducido por el volumen de vehículos livianos, y del mayor espesor de pavimento inducido por los vehículos pesados, existen ventajas de producción conjunta, probablemente provocadas por las obras básicas que son comunes. En todo caso, es necesario señalar que el

análisis de diversidad aquí realizado es sólo ilustrativo ya que los caminos fueron diseñados considerando siempre flujo mixto (por pequeño que fuese alguno), lo que implica que no es posible capturar la posible discontinuidad en el diseño al anular el liviano o el pesado; tal posibilidad debería ser fruto de un análisis especial.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue parcialmente financiada por FONDECYT, proyecto 19308-90.

REFERENCIAS

- Baumol, W., J. Panzar y R. Willig (1982) *Contestable markets and the theory of industry structure*. Harcourt Brace Jovanovich, New York.
- Jara-Díaz, S. (1988) "Multioutput analysis of trucking operations using spatially disaggregated flows", *Transportation Research* 22 B, pp. 159-171.
- Jara-Díaz, S. (1983) "Freight transportation multioutput analysis", *Transportation Research* 17 A, pp. 429-438.
- Ministerio de Obras Públicas (1981) *Manual de Carreteras*.
- Panzar, J. y R. Willig (1975) "Economies of scale and economies of scope in multioutput production", *Bell Lab Economic Discussion Paper* 33, August.