

Estimación de Parámetros de Tránsito Generado en Proyectos de Vialidad Interurbana

Resumen Ejecutivo

29 de Julio de 2013

Preparado para:

Ministerio de Desarrollo Social
Gobierno de Chile
Ahumada 48
Santiago - Chile

Preparado por:

Steer Davies Gleave
Holanda 100, Oficina 504, Providencia
Santiago - Chile

+56 (0)2 757 2600

www.steerdaviesgleave.com

Resumen Ejecutivo

Introducción

El Ministerio de Desarrollo Social encargó a Steer Davies Gleave el estudio “Estimación de parámetros de tránsito generado en proyectos de vialidad interurbana”, buscando el mejoramiento y actualización de la metodología de formulación y evaluación de proyectos del transporte interurbano. Este estudio se enmarca en el subsistema de Análisis Técnico Económico del Sistema Nacional de Inversiones.

El objetivo general del estudio corresponde a la determinación de los parámetros que permitan calcular el tránsito generado en proyectos de vialidad interurbana. En particular, este proyecto se ha enfocado a los proyectos de pavimentación de caminos.

Las herramientas disponibles para la evaluación de proyectos de pavimentación de caminos, tales como el software HDM-4 que está en uso en el Ministerio, piden parámetros de generación de tránsito en la forma de elasticidades o factores de generación (porcentajes del tránsito base), pero no dicen qué valores de deben ocupar, ya que los valores ocupados deberían considerar condiciones que varían de país a país y posiblemente dentro de cada país también. Este proyecto busca establecer valores razonables de estos parámetros para Chile, que sean bien fundamentados sobre los mejores datos disponibles y desarrollados utilizando técnicas de análisis adecuados.

Este resumen ejecutivo se enfoca principalmente a los resultados finales recomendados. El informe final completo ofrece mucho más detalle incluyendo los resultados de otras metodologías y de otras pruebas.

Revisión de la bibliografía

La revisión de la literatura se enfocó a los temas de caminos rurales y de bajo flujo, metodologías de evaluación, y tránsito generado. En países desarrollados tales como Reino Unido, Nueva Zelandia y Estados Unidos, una preocupación importante es la congestión vehicular de la red troncal y la posibilidad de que el tráfico inducido reduzca los beneficios atribuidos a los proyectos de infraestructura vial (1,2). En el contexto de proyectos de pavimentación de caminos, muchas veces la preocupación es muy distinta: la escasez de tráfico.

Tanto en Reino Unido como en Nueva Zelandia se recomienda considerar cero tránsito inducido al no ser que existan condiciones de congestión vehicular. En esta misma línea, en México el SHCP instruye que para caminos rurales se debe suponer que el tráfico futuro con proyecto sea igual al tráfico futuro sin proyecto (3). De igual modo, en Brasil no se considera tránsito generado en el caso de los caminos rurales (4).

El Overseas Road Note 5 de TRL y DFID (5) indica rangos de elasticidades que se han encontrado en estudios empíricos anteriores: -0.6 a -2.0 para la elasticidad de la demanda de transporte al costo generalizado del viaje, con un promedio de 1.0. Se comenta que la elasticidad de demanda de pasajeros es normalmente un poco mayor que -1.0, en cambio la elasticidad de tráfico de carga es generalmente mucho menor, dependiendo de la proporción de los costos de transporte en el precio del producto transportado (5, página 39). Se recomienda que las elasticidades se apliquen siempre a los costos totales considerando los viajes completos de origen a destino.

El modelo RED del Banco Mundial (por sus siglas en inglés, el Roads Economic Decision Model) está pensado para proyectos viales en países en vías de desarrollo y tiene requerimientos de datos que son razonables en el contexto de las evaluaciones de caminos

de bajo flujo y caminos rurales (6, 7). Al igual que el HDM, el modelo RED pide al usuario cuáles supuestos quiere aplicar respecto al tránsito generado. RED refiere a las recomendaciones del Overseas Road Note 5 en cuanto a las elasticidades (que se deben aplicar a los costos de los viajes completos), sin embargo en los cálculos las elasticidades se aplican a los cambios de costos generalizados sobre el proyecto evaluado. Así el usuario debe decidir cómo se deben ajustar las elasticidades para reflejar la extensión del proyecto como una proporción del largo total de los viajes. Archondo-Callao, Méndez Talavera, y Cantarero Zeas presentan una aplicación del modelo RED a la red de caminos secundarios sin pavimentar de Nicaragua, donde se aplicó una elasticidad de -1 a todos los tipos de vehículos.

Elasticidades estimadas para vehículos livianos en 5 proyectos de infraestructura para cruzar estrechos en Noruega oscilan entre -0.75 y -0.88 (8).

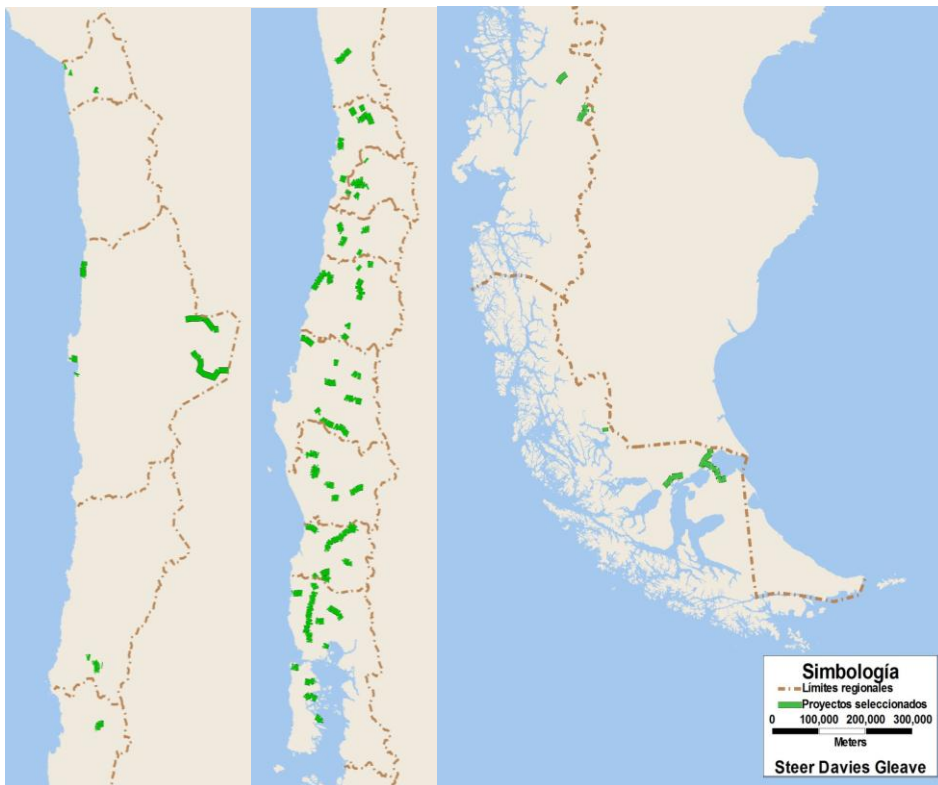
En resumen, la evidencia sobre las elasticidades de tráfico al costo generalizado de los viajes en el contexto de caminos rurales o de bajo flujo es escasa, y lo que hay es difícilmente aplicable porque se requieren datos de costos de los viajes totales que por lo general no están disponibles.

Datos

Se consideraron todos los proyectos de pavimentación relevantes del periodo 1994 - 2010 que tuvieran suficientes mediciones de flujo en el Plan Nacional de Censos. Se consideraron 99 proyectos, de los cuales se excluyeron 8 proyectos por falta de observaciones antes o después del proyecto de pavimentación, o por inconsistencias en los datos. La base de datos utilizada en el análisis final incluye 91 proyectos de pavimentación de caminos.

Se contaba con información detallada de los costos generalizados del tránsito por tipo de vehículo para 15 de estos proyectos. Para los demás proyectos se aplicaron estimaciones de cambios de costo generalizado promedio por tipo de vehículo.

MAPA DE PROYECTOS SELECCIONADOS



Fuente: Elaborado por Steer Davies Gleave

Formulación de los modelos

El tránsito generado se define cómo el flujo vehicular futuro utilizará el camino si se produce la mejora sus variables de servicio, pero no lo utilizaría si el camino no es mejorado.

Específicamente el tránsito generado considerado es aquel que provenga de:

- Aumento de frecuencia de viajes debido a la reducción del costo generalizado de transporte en la ruta.
- Nuevos viajes que se generan a raíz de la mejora.
- Viajes que estarían inhibidos sin la mejora, por ser su costo de transporte mayor que el beneficio que reporta su realización

Se requiere que para cada proyecto exista un punto próximo del Plan Nacional de Censos que permita estimar la variación del flujo de tránsito en el camino para un período

razonable antes de la pavimentación y para un segundo período razonable después de la pavimentación; un período del orden de 10 años antes y 10 después sería suficiente.

Se consideraron dos formulaciones distintos para modelar la generación de tránsito:

- elasticidades, y
- factores de generación (se interpretan como porcentajes del tráfico base).

Elasticidades

El modelo de elasticidades se formula de la siguiente manera:

$$F_t = F_0(1 + d)^t \left(\varepsilon \left(\frac{\Delta C}{C} \right) + 1 \right)^{\delta_G} \quad (1)$$

Si se linealiza con logaritmo natural queda expresado como

$$\ln(F_t) = \ln(F_0) + t * \ln(1 + d) + \delta_G * \ln \left(\varepsilon \left(\frac{\Delta C}{C} \right) + 1 \right) \quad (2)$$

Dónde:

- F_t : representa el flujo medido en el año t
- F_0 : es una constante de calibración
- d: es la tasa media de crecimiento
- ε : elasticidad
- C: representa el costo total de operación en la situación sin proyecto
- ΔC : representa la variación de costos como consecuencia del proyecto
- δ_G : es una variable binaria que vale cero para los años anteriores a la pavimentación y vale uno para los años posteriores a la misma

Para simplificar esta formulación, al considerar que:

$$a = 1 + d \quad (3)$$

Y que

$$b = \varepsilon \left(\frac{\Delta C}{C} \right) + 1 \quad (4)$$

La fórmula (2) queda expresada tal como lo muestra la siguiente ecuación.

$$\ln(F_t) = \ln(F_0) + t * \ln(a) + \delta_G * \ln(b) \quad (5)$$

Cabe señalar que la elasticidad está dada por

$$\varepsilon = (b - 1) * \left(\frac{C}{\Delta C} \right) \quad (6)$$

A priori se espera que las elasticidades de la demanda al costo generalizado de viaje sean negativas, aunque debido al ruido en los datos es posible que esto no siempre sea el caso. Valores de elasticidad en el rango entre 0 y -1 se consideran “inelásticos” y valores mayores que -1 se consideran “elásticos”. En la medida que los valores de elasticidad sean más negativos que -1, esto implica que la respuesta de la demanda a la pavimentación de un camino será más que proporcional a la reducción relativa del costo generalizado de transitar el tramo mejorado.

La ecuación 5 permite calcular directamente la elasticidad a partir de la información de flujo del PNC, el porcentaje de reducción de costos y el año de puesta en servicio de la pavimentación.

El costo total que debe ser considerado es el costo de operación más el valor del tiempo por el tiempo de viaje. Idealmente, debieran ser considerados a precios privados, pues son estos precios los que están ligados con la modelación del comportamiento de los usuarios. Sin embargo, es frecuente encontrar que el cociente entre precio social y precio privado es aproximadamente constante. Dado que sólo se requiere conocer el porcentaje de reducción, resulta posible usar los costos sociales como proxi, y esto es lo que se hizo en el análisis.

Factores de generación

La metodología de factores de generación es una simplificación de la metodología de elasticidades, donde las diferencias promedio del costo generalizado como resultado de los proyectos de pavimentación son implícitas. Por esto mismo es muy importante que se distinga entre tipos de vehículos a la hora de aplicar esta metodología. Los factores de generación se interpretan como porcentajes del tráfico base. Por ejemplo, un factor de generación de 0.12 significa que el tránsito generado sería 12% del tránsito base.

La formulación del modelo de factores de generación es así:

$$F_t = F_0(1 + d)^t (F_g + 1)^{\delta_G} \quad (7)$$

Si se linealiza con logaritmo natural queda expresado como

$$\ln(F_t) = \ln(F_0) + t * \ln(1 + d) + \delta_G * \ln(F_g + 1) \quad (8)$$

Dónde:

- F_t : representa el flujo medido en el año t
- F_0 : es una constante de calibración
- d : es la tasa media de crecimiento
- F_g es el factor de generación que se estimará
- δ_G : es una variable binaria que vale cero para los años anteriores a la pavimentación y vale uno para los años posteriores a la misma

Para simplificar esta formulación, al considerar que:

$$a = 1 + d \quad (9)$$

La fórmula (8) queda expresada tal como lo muestra la siguiente ecuación, que es la formulación que permite la estimación de los modelos.

$$\ln(F_t) = \ln(F_0) + \ln(a) * t + \ln(F_g + 1) * \delta_G \quad (10)$$

Análisis

El análisis consideró variables tales como el flujo vehicular por tipo de vehículo (vehículos livianos, buses y vehículos pesados, el año de puesta en marcha de la ruta (0 para años anteriores y 1 para años a partir del año de inauguración de la ruta pavimentada) y el costo generalizado total de transporte en el proyecto, por tipo de vehículo, para las situaciones sin y con proyecto.

Para llegar a los resultados se aplicaron dos tipos de estimación de modelos y se compararon los resultados. El primero consideró modelos de regresión individuales (modelos de mínimos cuadrados ordinarios), estimando las elasticidades y los factores de generación para cada punto censal y tipo de vehículo. Los resultados detallados obtenidos de esta metodología se encuentran en la versión completa del Informe Final.

El segundo método se trató de modelos mixtos multinivel para vehículos livianos, buses, y vehículos pesados. Esto, con el objetivo de probar de manera sistemática distintas hipótesis y el uso de variables auxiliares. El modelo mixto multinivel es un tipo de modelo lineal más general que el típico modelo de mínimos cuadrados ordinarios. Este tipo de modelo no está limitado por la restricción IID (errores distribuidos idénticamente e independientemente), por lo que se pueden modelar algunos parámetros distribuidos aleatoriamente, con distintas propiedades de distribución y correlación entre ellos. Es más, el modelo multinivel permite tomar en cuenta que cada proyecto puede tener varios puntos de medición, cuyos datos pueden estar correlacionados en mayor o menor grado.

En la modelación se probaron potenciales relaciones entre la generación de tránsito y un rango de distintas variables, tales como:

- La longitud construida del proyecto
- La zona del proyecto
- Densidad poblacional
- PIB per cápita
- Camino turístico¹

Sin embargo, no se encontró ninguna variable más allá que el tipo de vehículo que permitiera explicar variaciones en la generación de tránsito: por esto, los resultados representan los efectos promedios para cada tipo de vehículo, considerando toda la evidencia disponible.

Se han producido resultados en términos de dos tipos de parámetros: elasticidades y factores de generación. La metodología de factores de generación ofrece una primera aproximación de cuánto generación de tránsito se puede esperar, mediante un cálculo sencillo que es fácil y rápido de aplicar. Sin embargo, en casos donde se cuente con estimaciones de los cambios en el costo generalizado por tipo de vehículo que se pueden esperar como resultado de la pavimentación de un camino, la metodología de elasticidades es más adecuada ya que se aprovecharán mejor todos los datos disponibles.

En la tabla a continuación se muestran las elasticidades y los factores de generación obtenidas a partir de los modelos mixtos multinivel.

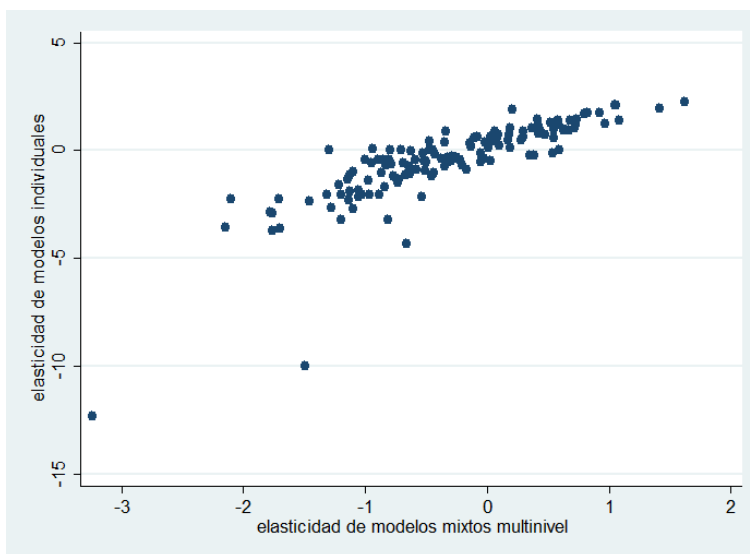
¹ La definición de los proyectos turísticos, se realizó revisando la base cartográfica de los proyectos y de sus puntos de medición, e identificando los lugares que son considerados como zonas turísticas. Estas zonas se definieron identificando los puntos censales de los proyectos seleccionados donde existe un aumento de flujo de tránsito en época de vacaciones, en relación a las mediciones obtenidas en invierno y primavera.

TABLA 1 ELASTICIDADES Y FACTORES DE GENERACIÓN OBTENIDOS DE LOS MODELOS MIXTOS MULTINIVEL

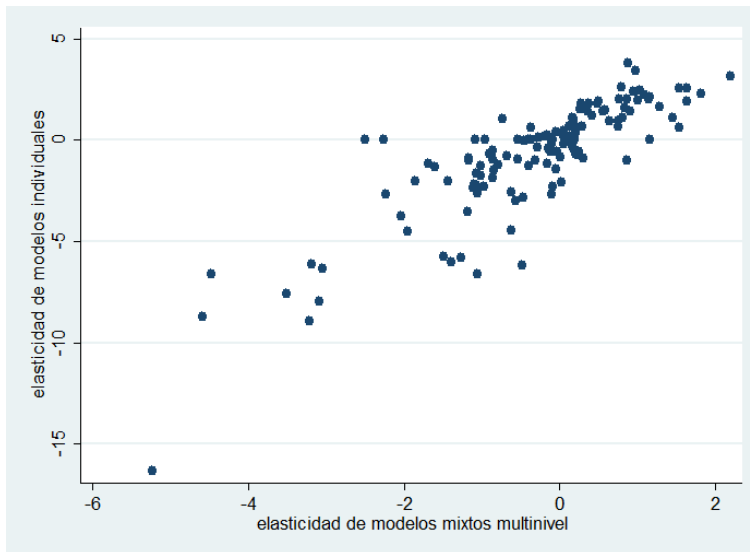
Tipo de vehículos	Variable	Coef.	Err. Est.	z	P>z	[Intervalo	Conf. 95%]
Livianos	elasticidad	-0,328	0,096	-3,40	0,001	-0,519	-0,136
Buses	elasticidad	-0,354	0,139	-2,54	0,013	-0,631	-0,077
Pesados	elasticidad	-0,106	0,108	-0,98	0,329	-0,321	0,109
Livianos	factor de generación	0,111	0,033	3,40	0,001	0,046	0,176
Buses	factor de generación	0,095	0,037	2,54	0,013	0,020	0,169
Pesados	factor de generación	0,030	0,031	0,98	0,329	-0,031	0,0932

Es interesante comparar las elasticidades obtenidas de los modelos mixtos multinivel con las obtenidas de los modelos individuales. Los siguientes tres gráficos permiten comparar las elasticidades resultantes de las dos metodologías para vehículos livianos, buses, y vehículos pesados, respectivamente.

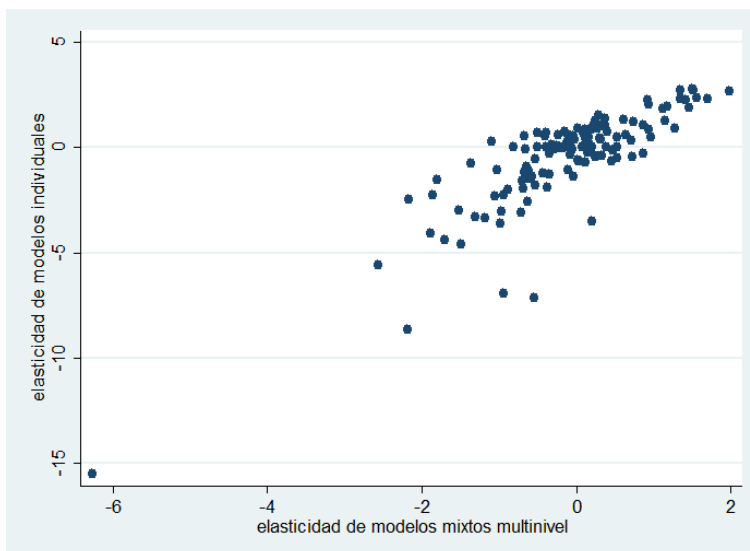
FIGURA 1 COMPARACIÓN DE ELASTICIDADES, VEHICULOS LIVIANOS



Fuente: Elaborado por Steer Davies Gleave

FIGURA 2 COMPARACIÓN DE ELASTICIDADES, BUSES


Fuente: Elaborado por Steer Davies Gleave

FIGURA 3 COMPARACIÓN DE ELASTICIDADES, VEHÍCULOS PESADOS


Fuente: Elaborado por Steer Davies Gleave

Se observa que mientras mayores son los flujos (como es el caso de los vehículos livianos), menos es la dispersión y menos extremos son los resultados.

Se observa también que las elasticidades producidas por los modelos mixtos multinivel, si bien están altamente correlacionadas con las elasticidades producidas por los modelos individuales, presentan una variación mucho más moderada y un rango más estrecho de valores.

Es probable que este efecto se deba a las pequeñas cantidades de observaciones ocupadas en cada modelo individual, que varían entre 7 y 15, y el hecho que cada modelo individual se estima de manera completamente independiente de los otros modelos. En cambio, en los modelos mixtos multinivel, las distribuciones estimadas a partir de todos los datos condicionan los resultados estimados para casos particulares, que resulta en más consistencia entre ellos.

Conclusiones y recomendaciones

Este estudio representa un avance importante en el conocimiento y evaluación de los efectos de proyectos de pavimentación en la generación de tránsito. No se han encontrado otros estudios de este tipo y los resultados obtenidos podrían representar un aporte a la evidencia internacional sobre el tema.

Se han encontrado elasticidades de generación de tránsito para vehículos livianos y para buses (transporte de pasajeros). Los factores de generación implican aproximadamente 10% de generación de tránsito de vehículos livianos y buses. Para vehículos pesados, la elasticidad promedia encontrada es baja y en términos estadísticos es débil, sin embargo representa la mejor aproximación que se pudo obtener y su tamaño es razonable en relación a los resultados obtenidos para los otros tipos de vehículo.

La siguiente tabla presenta los valores recomendados para los parámetros de generación de tránsito.

TABLA 2 ELASTICIDADES Y FACTORES DE GENERACIÓN FINALES

Parámetro	Tipo de vehículo	Valor central	Mínimo	Máximo
Elasticidad	Vehículos livianos	-0,328	-0,519	-0,136
Elasticidad	Buses	-0,354	-0,631	-0,076
Elasticidad	Vehículos pesados	-0,106	-0,321	0,000
Factor de generación	Vehículos livianos	0,111	0,046	0,176
Factor de generación	Buses	0,095	0,020	0,169
Factor de generación	Vehículos pesados	0,030	0,000	0,093

Fuente: Elaborado por Steer Davies Gleave

Se han definido tres tipos de actualización con distintas frecuencias para mantener los parámetros de tránsito vigentes, y también un calendario tentativo de implementación de estas actualizaciones a futuro. Se ha elaborado un sistema para apoyar la actualización de los parámetros de tránsito generado, que se ha traspasado al cliente junto al informe final del estudio. También se ha entregado al cliente una planilla que demuestra cómo se deben aplicar los parámetros de generación de tránsito a la evaluación de un proyecto de pavimentación.

Se espera que los resultados y los productos generados por este estudio sean un aporte valioso al Sistema Nacional de Inversiones y que dejen mejor fundamentados los criterios de evaluación de proyectos de pavimentación de caminos en Chile.

Referencias

1. *An Introduction to Variable Demand Modelling*, WebTAG, Department for Transport, United Kingdom. <http://www.dft.gov.uk/webtag/documents/project-manager/unit2.9.2.php>. Accedido Junio 28, 2013.
2. *Economic Evaluation Manual*, NZTA, New Zealand. <http://www.nzta.govt.nz/resources/economic-evaluation-manual/volume-1/index.html>. Accedido Junio 28, 2013.
3. *Guía rápida de la Metodología para la Evaluación de Proyectos de Caminos Rurales y Alimentadores*, SHCP, Mexico. http://www.shcp.gob.mx/EGRESOS/ppi/metodologias/metod_caminos_rurales/Guia_Caminos_Rurales.pdf. Accedido Junio 28, 2013.

4. *Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários*, Ministério dos Transportes do Brasil, Brasil. <http://www1.dnit.gov.br/download/DiretrizesBasicas.pdf>. Accedido Julio 5, 2013
5. *Overseas Road Note 5*, TRL and DFID, http://www4.worldbank.org/afr/ssatp/Resources/HTML/Models/RED_3.2/red32_en.htm. Accedido Julio 5, 2013
6. Archondo, R. *Roads Economic Decision Model, Software User Guide & Case Studies*, <http://www4.worldbank.org/afr/ssatp/Resources/SSATP-WorkingPapers/ssatpwp78.pdf>. Accedido Julio 5, 2013
7. Archondo, R. *RED Africa Transport Technical Note*, http://www4.worldbank.org/afr/ssatp/Resources/HTML/Models/RED_3.2/red32_en.htm. Accedido Julio 5, 2013
8. Braathe, S, Hervik, A. Strait crossings and economic development, Developing economic assessments by means of ex post analyses, *Transport Policy* Vol.4, Issue 4 1997, pp. 193-200.