

# Evaluación del Impacto de la Inversión en Infraestructura del Transporte en el Crecimiento de la Economía en Colombia

Lucas García Rico  
Asesor: Jesús A. Botero García

Universidad EAFIT  
Mayo de 2011

# Contenido

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>2</b>
1.1	Diagnóstico y propuesta para la infraestructura del transporte en Colombia . . . . .	4
1.2	Tendencias de inversión en infraestructura del transporte en el resto del mundo . . . . .	7
<b>2</b>	<b>Modelo</b>	<b>8</b>
2.1	La conducta de los consumidores . . . . .	9
2.2	La conducta de las empresas - Competencia monopolística . . . . .	10
2.2.1	La demanda de factores . . . . .	11
2.3	El comercio exterior . . . . .	12
2.4	El Gobierno . . . . .	13
2.5	Cierre macroeconómico . . . . .	13
2.6	Los procesos exógenos - <i>shocks</i> . . . . .	14
<b>3</b>	<b>Parámetros y Calibración</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>Resultados</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>23</b>
<b>6</b>	<b>Referencias Bibliográficas</b>	<b>24</b>

# 1 Introducción

El crecimiento económico de largo plazo y la prosperidad de una sociedad dependen en gran medida de la cantidad y la calidad del capital de la misma. Según Antunes et al (2010), este capital puede ser natural, humano, institucional y físico. El último de ellos, puede ser aportado bien sea por el gobierno o por agentes privados. En Colombia, y en la gran mayoría de los países en desarrollo, las grandes obras de infraestructura y en particular las del transporte, son emprendidas por las entidades gubernamentales.

De acuerdo con Echeverry et al (1999), la enorme importancia del transporte para la economía se deriva de su incidencia sobre el buen desempeño de los demás sectores. Un gran porcentaje de los productores utilizan el transporte en alguna etapa de sus procesos de producción y comercialización, de tal manera que la eficiencia del transporte afecta la competitividad internacional de los productos nacionales. Hummels (1999) y Clark (2004), por ejemplo, concluyen que para el comercio internacional, los largos tiempos de transporte constituyen una fuerte barrera de entrada. Es importante mencionar que no sólo se contabiliza el tiempo de viaje de las mercancías por las carreteras, sino también su llegada a los puertos y su posterior embarco. Lo anterior sugiere que para evitar cuellos de botella, la inversión en la infraestructura del transporte debe ser integral de forma tal que se construyan no sólo carreteras, sino también puertos, aeropuertos y se mejoren y recuperen las redes fluviales.

Una infraestructura del transporte deteriorada y mal planeada además de representar una barrera de entrada para el comercio internacional, también representa un impedimento para el crecimiento del capital humano. En la medida que se reduzcan los costos del transporte o las distancias entre los asentamientos humanos y los centros educativos serán menos las barreras para acceder a la educación. En efecto, Frenette (2004) demuestra cómo la distancia a las universidades es una variable importante para decidir si continuar o no con la educación superior.

Según Gibbons (2006), en el ámbito laboral, una adecuada infraestructura del transporte no sólo mejora la competitividad del producto sino también la de los trabajadores. Bajo tales condiciones, los trabajadores pueden trasladarse a centros productivos cada vez más lejos de sus hogares aumentando así la posibilidad de más y mejores empleos. También la reducción de los tiempos de viaje posibilita un mayor descanso y una mejor capacitación. En el caso de los fletes, Antunes et al (2010) revela que la confiabilidad y el cumplimiento de los horarios programados son más valorados que la reducción en el tiempo de los mismos. Mientras lo segundo resulta esporádico de acuerdo con la congestión en los distintos medios de transporte y las condiciones climáticas, lo primero sólo se logra con una muy buena calidad de la infraestructura del transporte.

En Colombia, aún prevalece un problema de competitividad y productividad que en parte se puede atribuir al atraso de la infraestructura que conecta los centros productivos unos con otros y con los puertos. De acuerdo con Echeverry et al (2009), en Colombia necesitamos proyectos ambiciosos para superar el atraso relativo en la infraestructura del transporte y la topografía desafiante de nuestro territorio. De esta manera, la forma como se desarrollen las ciudades, como se conecten entre ellas, con los puertos y con el comercio internacional, determinará la materialización del crecimiento económico, la consolidación del bienestar social y el aumento de la clase media.

La infraestructura del transporte cumple un papel dual, tanto de efecto como de causa del proceso de desarrollo y crecimiento económico. Numerosos estudios coinciden en afirmar que la inversión inicial, el diseño y la ejecución de las obras de infraestructura son efectivos en el corto plazo como medida contra cíclica, y que las obras, una vez finalizadas y en servicio, aumentan la productividad en el mediano y largo plazo. Sin duda alguna el transporte es partícipe en toda actividad de la vida diaria y es a través de una correcta inversión en infraestructura del transporte que se logra un crecimiento económico y un mejoramiento de la calidad de vida.

Tal como se concluye en Straub (2008), el mejoramiento de la infraestructura no solo aumenta directamente la productividad del capital físico y humano, sino también produce mayor crecimiento, más economías de escala y productividad, al permitir indirectamente la reducción de los costos del transporte.

No sólo la inversión en infraestructura sino también la manera como ésta se implemente resulta determinante como factor de crecimiento económico. De acuerdo con Leeper et al (2010), un aumento en el gasto del gobierno en infraestructura puede aumentar, en el corto plazo, el consumo de bienes y servicios y en el largo plazo puede hacer más productiva la economía y con ello generar mayor crecimiento. Lo anterior puede encontrar obstáculos

de presentarse retrasos en la ejecución de tales inversiones. La inversión en infraestructura y particularmente la infraestructura del transporte requiere de la planeación, el diseño, los procesos de licitación, la contratación y luego la ejecución por parte de entidades locales y nacionales que de no hacerse con celeridad, eficiencia y transparencia, no producen el estímulo esperado en el corto plazo y pueden también generar efectos negativos en variables como el consumo, el empleo y el crecimiento económico de largo plazo.

Abordar el estudio y el análisis de la incidencia que tiene la infraestructura del transporte en la economía colombiana no sólo es oportuno sino también urgente<sup>1</sup>. La evaluación y estimación de efectos de la inversión en infraestructura debe hacerse con rigurosidad para no sólo planificar grandes inversiones sino también para evidenciar cómo éstas afectan los indicadores macroeconómicos del país.

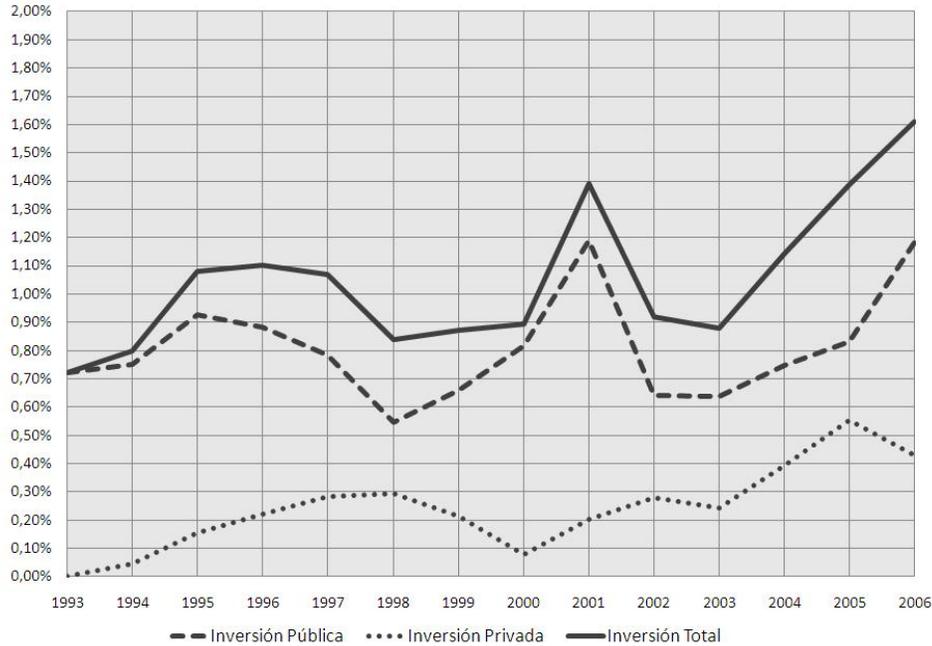


Figura 1: Inversión en la infraestructura del transporte en Colombia como porcentaje del PIB - Fuente DNP

Es a partir del trabajo de Barro (1990) que se inicia con el estudio de la relación entre inversión en infraestructura y crecimiento. A partir de este momento se introduce el gasto del gobierno en la función de producción. Los primeros trabajos desarrollaron metodologías econométricas para encontrar la elasticidad del crecimiento económico a la infraestructura y el vínculo que existe entre la infraestructura y la productividad de una economía, entendida esta última como la eficiencia con que son producidos los distintos bienes y servicios. Aschauer (1989) y Munnell (1990), por ejemplo, concluyeron que la inversión en carreteras tiene fuertes impactos en el producto agregado. La metodología utilizada es relativamente sencilla puesto que definieron una función de producción tipo Cobb - Douglas con retornos constantes de escala con la única diferencia que separaron el capital de infraestructura del capital restante. Nadiri et al (1998) encontraron también que la inversión en carreteras contribuye al crecimiento de la economía, disminuye los costos y aumenta las ganancias de los sectores usuarios del transporte. Concluyeron también que la elasticidad de la producción al *stock* de carreteras es de 0.08 para Estados Unidos entre 1950 y 1991. Por último y en esta misma corriente de investigaciones es importante mencionar a Hulten (1996), que además de estimar la elasticidad, establece una primera aproximación de la efectividad en la inversión en infraestructura.

Luego de examinarse el mencionado vínculo, y en razón de críticas, de diferentes expertos, relacionadas al hecho de que la función de producción magnifica el verdadero impacto de la inversión en infraestructura<sup>2</sup>, se

<sup>1</sup>Para tener una idea de la inversión en infraestructura del transporte en Colombia se puede revisar la figura 1.

<sup>2</sup>El trabajo de Aschauer fue particularmente criticado por obtener tan altos valores para la elasticidad de la producción al *stock* de infraestructura - valores entre 0.20 y 0.40. Aquellos trabajos que utilizaron una única ecuación de regresión para las series agregadas

desarrollaron trabajos que contemplaron las funciones de costos en las cuales se incluyeron los costos del trabajo, de los insumos y del capital privado. Como muestra de esta tendencia de abordar la temática en cuestión, Harchaoui et al (2003), encontraron que por cada \$1.0 que se incrementa el *stock* de capital físico en Canadá, el sector privado se ahorra 17 centavos.

Luego de los primeros enfoques cuantitativos a través de estimaciones con base en las funciones de producción y de costos, las investigaciones sobre la inversión en infraestructura y el *stock* de capital físico, pasaron a basarse recientemente en las nuevas teorías del crecimiento y en los modelos de equilibrio general.

El marco teórico de los enfoques de las funciones de producción y de costos es el mismo marco de la teoría neoclásica en el que se asume que la tecnología es una variable exógena y las políticas del gobierno pueden tener un impacto en el crecimiento económico de corto plazo pero en el largo plazo, el ingreso real, sólo aumenta en la medida que también aumente la productividad del trabajo. Contrario a lo anterior, en las nuevas teorías del crecimiento, la tecnología es endógena y puede ser definida, entre otras variables, por la inversión en infraestructura y particularmente en infraestructura del transporte. Haciendo estimaciones con base en estas nuevas teorías, Easterly y Rebelo (1993) encontraron que la participación de la inversión pública en transporte y comunicaciones está fuertemente relacionada con el crecimiento económico en los países en desarrollo.

Adoptando las nuevas teorías del crecimiento y los modelos de equilibrio general, surgen los modelos dinámicos estocásticos de equilibrio general - DSGE por sus siglas en inglés -. La literatura sobre estos modelos DSGE es relativamente reciente porque su incursión en los análisis económicos data a partir del año 2000 cuando se empieza a investigar principalmente en políticas monetarias. Luego, estos modelos, se empiezan a aplicar en otro tipo de investigaciones. Machicado (2007), por ejemplo, desarrolla un modelo DSGE para revisar los efectos de la inversión pública en infraestructura en el producto, el consumo, la inversión privada, la balanza comercial y el bienestar en Bolivia, Chile, Brasil, Venezuela y Argentina. Todo este trabajo anteriormente descrito se hace con base en el modelo del equilibrio general presentado en Rioja (2001).

En el ámbito nacional, García (2007) presenta una revisión teórica sobre la relación existente entre inversión en infraestructura del transporte y crecimiento económico e igualmente menciona los métodos utilizados para modelar dicha relación. También se destaca Perdomo (2005) en el que se construye un modelo de equilibrio general computable dinámico recursivo para analizar cuál sería el impacto, sobre la economía colombiana, de adelantar una política de mejoramiento en las características de la infraestructura del transporte.

En Colombia no son muchos los estudios que se han hecho sobre la evaluación y estimación de los efectos de la inversión en infraestructura del transporte y de hecho no se ha aplicado nunca para los mismos propósitos un modelo dinámico estocástico de equilibrio general - DSGE <sup>3</sup>. Precisamente con un modelo DSGE se pueden evaluar las funciones de impulso - respuesta de la inversión en infraestructura del transporte. El objetivo entonces con este artículo es el de cuantificar la relación existente entre el crecimiento económico y la inversión en infraestructura del transporte en Colombia, evaluando el impacto de la misma sobre la economía colombiana y la productividad del país.

Además de esta introducción, este artículo se compone de otras cinco secciones. En la segunda sección se presenta el modelo construido, en la siguiente sección se profundiza en los parámetros del modelo y el proceso de calibración. En la cuarta sección se exponen los resultados más importantes para luego hacer en la siguiente sección las conclusiones del caso. Por último, se presentan las fuentes bibliográficas.

## 1.1 Diagnóstico y propuesta para la infraestructura del transporte en Colombia

Los indicadores de calidad de la infraestructura del transporte<sup>4</sup> calculados por el Foro Económico Mundial (FEM) para 133 países, presentan a Colombia en el puesto 101 con una calificación inferior a la de países como Chile

---

no resolvieron el problema de la endogeneidad. Como respuesta, se aplicaron técnicas basadas en la varianza y tests de causalidad, encontrándose valores para la elasticidad cercanos a 0.11.

<sup>3</sup>Se explicará con mayor profundidad de que trata este modelo en la sección 3.

<sup>4</sup>Para la estimación de este indicador, el FEM realiza una encuesta entre empresarios de cada país, quienes clasifican la calidad de la infraestructura entre uno (pobremamente desarrollada) y siete (entre las mejores del mundo). En esta encuesta se evalúa la calidad de las carreteras, de las vías férreas, de la infraestructura portuaria y de la infraestructura aeroportuaria.

(37), México (57), Brasil (67), Uruguay (75), Argentina (89) y Ecuador (99) y con una calificación superior a la de algunos países de la región como Bolivia (122), Venezuela (123) y Paraguay (138).

En particular, la situación del transporte carretero en Colombia es crítica y el retraso se puede acentuar en la medida que no se construyan más carreteras y se haga el correcto mantenimiento a las existentes. De 120 países, Colombia ocupa el puesto 97 en la relación  $km/hab$  y la densidad de carreteras pavimentadas es de  $0.013km/km^2$ , siendo una de las menores de América. Lo anterior es suficiente para pensar que se necesitan políticas de inversión públicas y privadas con las que se mejoren en Colombia los indicadores de competitividad.

Aunque entre 2006 y 2010 se mejoraron 4.724 km de la red vial nacional entre el INCO y el Invías<sup>5</sup>, y que entre 2002 y 2009, de acuerdo con la Cámara Colombia de la Infraestructura, la extensión de las dobles calzadas pasó de 52 km a 726 km, el país aún cuenta con bajos niveles de modernización de infraestructura vial.

Son muchas las explicaciones del atraso en infraestructura del transporte en Colombia y todas éstas se resumen, tal como se expone en el Plan de Desarrollo 2010 - 2014 de Planeación Nacional, en que la evolución de la institucionalidad del sector transporte se basa en la constante intención de construir una base técnica para soportar el desarrollo del sector transporte alejado de la influencia política. Sin embargo, esta insistente búsqueda, ha redundado en repetidos fracasos que a pesar de las lecciones aprendidas, se siguen presentando.

Sumado a lo anterior, los organismos de control, supervisión y vigilancia, no cuentan con la operatividad, autonomía ni suficiencia técnica para garantizar el cumplimiento de estas funciones y tampoco tienen la plena capacidad de garantizar la protección al usuario de la infraestructura.

Desde 1994, luego de la expedición de la Ley 105<sup>6</sup>, la inversión pública en infraestructura en Colombia ha sido complementada con inversión privada. Lo anterior significó que se invirtiera una cifra cercana a 1.076 millones de dólares en 13 proyectos en la denominada primera generación de concesiones.

La evidencia permite afirmar que la financiación privada de carreteras liberó menos fondos de los recursos públicos de lo que se esperaba en un principio porque muchos de estos recursos se destinaron para rescatar a los concesionarios luego de las renegociaciones. Todo lo anterior se explica porque en su momento, el INVÍAS no definió los trazados definitivos con lo que fue imposible en un principio comenzar con la adquisición de predios incurriendo así en un grave retraso, los procesos licitatorios fueron cortos y no hubo oportunidad de hacer audiencias en el exterior<sup>7</sup> de manera que más y mejores proponentes participaran, muchos contratos fueron adjudicados cuando los estudios técnicos se encontraban aún en la etapa de factibilidad y los estudios de tráfico aún eran preliminares, y por último, no se evaluó el estado financiero de los proponentes y algunos de éstos no tuvieron acceso inmediatamente a créditos.

Otro error sistemático que se ha cometido, es el diseño del mecanismo de adjudicación. Repetidamente se diseñan contratos a término fijo que resultan riesgosos en el sentido que los estudios de tránsito no pueden prever con exactitud la demanda esperada, y más aún, el comportamiento de los usuarios de la vía al cobrarles los peajes. Muchas veces son necesarias renegociaciones porque los operadores privados no pueden soportar la carga financiera ante la eventualidad de demandas bajas de viajes.

Según el economista e ingeniero Juan Benavides, la lógica del negocio para los constructores es hacer obras y la de los financistas es promover el crecimiento del capital. Mientras los primeros sólo las financian con los peajes y los dineros públicos de vigencias futuras, los segundos inyectan capitales frescos tanto de patrimonio como de deuda. Mientras en Colombia con 22 concesiones a 2008 sólo se habían emitido bonos por 226 millones de dólares, en Chile a 2007 los operadores de 12 concesiones viales habían emitido bonos por 4.113 millones de dólares para las obras.

En conclusión, el modelo colombiano es un modelo perverso en el sentido que se pueden extraer rentabilidades exorbitantes sin aportes patrimoniales dado que los mecanismos vigentes incentivan y aumentan la posibilidad de

<sup>5</sup>Según el SIGOB 2010 - Gestión y Seguimiento de las Metas del Gobierno.

<sup>6</sup>Por la cual se dictan disposiciones básicas sobre el transporte, se redistribuyen competencias y recursos entre la Nación y las Entidades Territoriales, se reglamenta la planeación en el sector transporte y se dictan otras disposiciones.

<sup>7</sup>Estas audiencias reciben el nombre de *Road Shows*.

incurrir en renegociaciones que a su vez motivan a grupos inversionistas, que más que expertos en infraestructura y operación de la misma, son concededores de negociaciones y pleitos con entidades de un Estado débil.

A pesar de los avances, se hace necesario entonces trabajar en aumentar los niveles de inversión en el sector, los cuales están aún muy por debajo de lo recomendable para un país de ingreso medio como Colombia. Se debe contar con una institución especializada en la estructuración, promoción y definición de mecanismos de financiación para proyectos.

El esquema de carreteras privadas<sup>8</sup> tiene varias ventajas. El hecho de que la firma que ejecuta la obra, sea la misma encargada de ejecutar los mantenimientos, genera los incentivos para que la construcción se realice con la máxima calidad. Además de esto, el gobierno no tiene una vocación gerencial de los proyectos de infraestructura y generalmente las empresas privadas son mejores y más eficientes al manejar este tipo de proyectos. Por último, el hecho de que sea el pago por el uso de la carretera el que genera el retorno de la inversión para el inversionista, incentiva a que éste realice estudios técnicos y financieros adecuados, que garanticen el éxito de la inversión.

Otra medida que valdría la pena replicar en Colombia, es el modelo brasilero del Fondo Privado de Inversión en Infraestructura. Este fondo es destinado a promover financiamiento privado a mediano y largo plazo para proyectos de infraestructura, constituido por una combinación de títulos de deuda y capital de riesgo. El fondo es administrado por una corporación administradora de fondos seleccionada independientemente que capta ahorros de los fondos de pensiones brasileros y de otros inversores institucionales, cuyas inversiones se constituirán en cuotas de aporte al mismo. El fondo procura obtener para sus inversionistas un rendimiento a largo plazo superior al que se ofrece actualmente en Brasil para inversiones también de largo plazo<sup>9</sup>.

También es muy importante que las tareas de regulación se asignen a agencias públicas independientes conformadas por equipos técnicos sin que ocurra el fenómeno, que en muchos países ocurre, de "captura del regulador" en el que la entidad que ejerce la regulación se identifica más con los intereses del operador que de los usuarios. En el caso contrario, que se conoce como "expropiación parcial", el regulador ejerce una excesiva injerencia que ahuyenta los inversionistas potenciales o simplemente hace que éstos demanden unas mayores tasas de rentabilidad para cubrir el riesgo.

En el proceso de planificación de las obras se deben considerar todas las etapas del proyecto; que incluyen los estudios de factibilidad, la estructuración financiera, los diseños de ingeniería y la gestión ambiental, social y predial que permiten un adecuado esquema de asignación de riesgos asociados a la construcción, operación y mantenimiento de la infraestructura del transporte. Lo anterior sugiere implícitamente que no sólo la calidad técnica de la construcción es una variable a considerar, sino que la calidad del servicio que preste la vía también debe participar en la ecuación con la que se calculen los retornos del concesionario.

Aunque el propósito de este documento es hacer énfasis en la construcción de nueva infraestructura del transporte, no se puede olvidar del todo el tema de la inversión en mantenimiento del stock de infraestructura del transporte con el que ya cuenta el país. La reconstrucción de un kilómetro de carretera puede costar, en valor presente, hasta cinco veces el costo de realizar un buen mantenimiento preventivo. Así mismo, para los usuarios, los mayores gastos en que incurren en una vía en mal estado -tiempo de viaje, combustible, repuestos, entre otros, son mayores que el aporte que se tendría que destinar para cubrir los gastos del mismo. Esto último refuerza la idea de que se avanza significativamente cuando los incentivos de los diferentes contratos van dirigidos a propender por la calidad de las obras desde su construcción y luego operación.

Por último, se puede afirmar que los retos que afronta Colombia en materia de infraestructura de transporte son grandes porque sumados a los problemas técnicos, se debe contemplar también la superación de problemas financieros, legales e incluso culturales<sup>10</sup>.

---

<sup>8</sup>Las carreteras privadas son aquellas que son financiadas, diseñadas y construidas por un concesionario privado (puede tener también un componente público), encargado de operar y mantener la obra de infraestructura por un tiempo tal que se le garantice - o por lo menos este sería el propósito ideal - la recuperación de la inversión inicial y una tasa de rentabilidad acordada. Luego de que se cumpla el plazo, la carretera pasa a manos del gobierno y se culmina lo que se llama un contrato BOT - por sus siglas en inglés de *Build, Operate and Transfer*.

<sup>9</sup>Información tomada de la revista del Banco Interamericano de Desarrollo - BID.

<sup>10</sup>Todos estos factores son recogidos por el parámetro  $\gamma$  de efectividad de la inversión en infraestructura del transporte que se presentará más adelante en la sección del Modelo.

## 1.2 Tendencias de inversión en infraestructura del transporte en el resto del mundo

De acuerdo con las cifras e informes reportados en el Foro Internacional del Transporte en el año 2008, las siguientes son las tendencias de inversión mundial en infraestructura del transporte<sup>11</sup>.

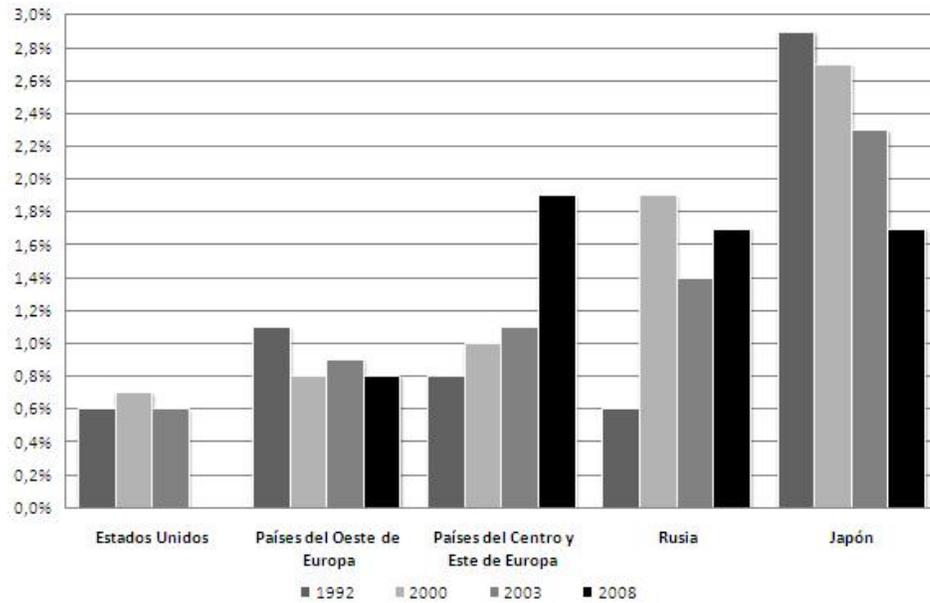


Figura 2: Inversión en la infraestructura del transporte en algunos países del Mundo como porcentaje del PIB - Fuente: Foro Internacional del Transporte 2008.

En los países del oeste de Europa<sup>12</sup>, se hace evidente una tendencia por reducir la inversión en infraestructura del transporte como porcentaje del PIB. En 1975 se reportaba un promedio de inversión cercano al 1.5% del PIB, en 1980 un 1.2% y en 1982 pasó a un 1.0%. Durante los siguientes años, el 1.0% del PIB para inversión en infraestructura del transporte se convirtió en casi una política y referencia comunes en los países del oeste de Europa. Sin embargo, en los años 2007 y 2008 nuevamente se redujo la inversión a un 0.7%.

En contraste con lo anterior, en los países del centro y el este de Europa<sup>13</sup>, la participación del PIB en la inversión en la infraestructura del transporte, que hasta el 2002 se mantenía constante en un 1.0%, a partir de este año ha aumentado significativamente hasta llegar a valores cercanos al 2.0%. Claramente, el aumento repentino de estas cifras obedece a la intención de subsanar una atrasada y poca intervenida infraestructura del transporte. Son entonces esfuerzos por compensar las bajas inversiones históricas pasadas con ayuda de la Unión Europea.

En el caso particular de Estados Unidos, el porcentaje del PIB destinado a la inversión en infraestructura del transporte ha permanecido relativamente constante y oscila entre un 0.6 y 0.7%.

Por último, en Japón, el porcentaje del PIB destinado a la inversión en infraestructura del transporte ha sido relativamente alto pero a partir del 1990 ha disminuido. Es así como se pasó en 1992 de aproximadamente un 3.0% a un 1.7% en el 2008.

<sup>11</sup>Recopila las inversiones para nuevas construcciones, ampliaciones y reparaciones en carreteras, vías ferreas, vías fluviales, puertos y aeropuertos.

<sup>12</sup>Alemania, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Irlanda, Islandia, Luxemburgo, Reino Unido y Suecia.

<sup>13</sup>Croacia, Eslovaquia, Eslovenia, Estonia, Hungría, Latvia, Polonia, República Checa, Rumania y Serbia

## 2 Modelo

En términos generales, los modelos DSGE - *Dynamic Stochastic General Equilibrium* - asumen un equilibrio de estado estacionario, y luego se producen *shocks* en la economía. El modelo, luego de ser alterado su estado de equilibrio, determina entonces la trayectoria de las variables, por lo que se puede concluir cuál es el impacto de una determinada política mediante el análisis de impulso - respuesta.

Además de lo anterior, los modelos DSGE son fundados microeconómicamente en el sentido que los distintos agentes toman decisiones intertemporales dándoles así también la característica de ser dinámicos. Las decisiones de los agentes que se basan en las expectativas que tiene de un futuro incierto y sus propias funciones de utilidad, definen los agregados macroeconómicos.

La estructura básica de un modelo DSGE es simple y tres bloques interrelacionados son los presentes. El primero de los bloques es el de demanda, el segundo es el de oferta y por último el bloque de política económica. La estructura flexible de los modelos DSGE les permite ser no sólo utilizados en evaluaciones de política monetaria, para lo que en un principio fueron creados, sino también en evaluación de política fiscal, medidas financieras y en general cualquier política que pueda afectar las variables macroeconómicas. En este caso particular se quiere hacer una evaluación de una política basada en la inversión en infraestructura del transporte.

El modelo describe una economía abierta, en la que los hogares ejercen derechos de propiedad sobre las rentas de las empresas, y en la que el sector petrolero, de carácter público, pero con participación privada, representa una fuente fundamental de rentas de exportación. Los hogares maximizan la utilidad; las empresas operan en competencia monopolística, maximizando sus ganancias; la demanda de importaciones y la demanda de exportaciones se modelan mediante funciones CES que agregan bienes domésticos e importaciones, con los consumidores minimizando el gasto; y la oferta de exportaciones se modela mediante una frontera de posibilidades de producción de la cual las empresas maximizan una renta. El sector público recibe impuestos directos, impuestos indirectos, aranceles y rentas del sector petrolero, y determina el gasto público y la inversión pública en infraestructura del transporte, manteniendo un nivel de endeudamiento público máximo, previamente determinado.

En el modelo, los precios son flexibles, y se ajustan para equilibrar los mercados. El numerario del sistema es el precio de la demanda doméstica, y la tasa de cambio se ajusta para igualar la cuenta corriente de la balanza de pagos con los flujos de capital, destinados a financiar el déficit público.

La inversión en infraestructura del transporte se acumula en un *stock*, que tiene efectos externos sobre el nivel de producción de las empresas, a través de la productividad total de los factores: ese efecto, que recoge las consecuencias positivas de la infraestructura del transporte sobre el uso eficiente de los recursos en la producción, se mide mediante un parámetro de productividad, que expresa, en última instancia la elasticidad de la producción al *stock* de infraestructura.

El *stock* de infraestructura del transporte se deprecia a una tasa exógenamente determinada, y se actualiza con la nueva inversión, que puede financiarse a través de recortes de gasto público<sup>14</sup>, de nuevos impuestos<sup>15</sup>, o mediante esquemas de concesión, que son remunerados mediante el cobro de peajes<sup>16</sup>. En los dos primeros casos, el gobierno mantiene la restricción de endeudamiento máximo, pero en el tercero, en cambio, contabiliza como endeudamiento público adicional la financiación de las obras, hasta amortizarla con los peajes recibidos, que son pagados por los hogares. La financiación se asume que es obtenida en mercados de crédito internacionales, y tiene por ello efectos cambiarios. Esta simplificación es necesaria por el hecho de que no se modelan de manera expresa mercados financieros que reciban el ahorro de los hogares y lo pongan a disposición de las empresas. En efecto, se asume, que los hogares ejercen derechos de propiedad plenos sobre las rentas de las empresas, y que deciden cuánta inversión realizan, para acrecentar el capital de las empresas, dedicando la totalidad de sus recursos, bien sea al consumo, o a la inversión.

Las posibles ineficiencias en la inversión en infraestructura son capturadas, por su parte, en un parámetro de

---

<sup>14</sup>Para efectos prácticos, en el resto del artículo se referirá a este modelo como el Modelo-Gasto.

<sup>15</sup>Para efectos prácticos, en el resto del artículo se referirá a este modelo como el Modelo-Impuesto.

<sup>16</sup>Para efectos prácticos, en el resto del artículo se referirá a este modelo como el Modelo-Peaje.

eficiencia de la inversión en infraestructura, que puede entenderse como el porcentaje de inversión equivalente, que produciría un efecto igual de infraestructura, en caso de que no hubiese ningún desperdicio de recursos, bien sea por corrupción, por decisiones inadecuadas de diseño, o por problemas de ejecución de las obras. La idea básica es que no siempre la totalidad de los recursos empleados en la inversión en infraestructura se convierten en un *stock* efectivo de puentes, carreteras, instalaciones portuarias, entre otros. Una porción de los recursos se dilapida por problemas de contratación o de gestión de las obras, atenuando el efecto positivo de la inversión.

Las ecuaciones del modelo se describen brevemente a continuación.<sup>17</sup>

## 2.1 La conducta de los consumidores

La decisión de los hogares, modelada mediante un "hogar representativo"<sup>18</sup>, es una decisión intertemporal, que resuelve simultáneamente la cantidad consumida y la oferta de trabajo. El "hogar representativo" recibe rentas de trabajo<sup>19</sup>, rentas de capital y ganancias de las empresas en el modelo de competencia monopolística, remesas del exterior y participa además en las rentas del sector petrolero.

El problema a resolver para los consumidores es:

$$\max_{c_t, n_t, k_{t-1}} E_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \frac{L_t}{L_0} (\ln c_t + \psi \ln (1 - n_t))$$

Sujeto a:

$$(1 - \tau) \left( R_t k_{t-1} \frac{L_{t-1}}{L_t} + W_t n_t + ga_t \right) + er_t f_t + (1 - share) q_t w_t i_t er_t = p_t (c_t + i_t)$$

En la anterior ecuación  $n$  es la oferta de trabajo,  $c$  es el consumo,  $p$  es el precio de los bienes consumidos,  $L$  es la población,  $R$  es la remuneración al capital,  $W$  es el salario,  $\tau$  es la tasa impositiva a la renta,  $er$  es la tasa de cambio,  $f$  son las remesas exógenas,  $i$  es la inversión per cápita,  $ga$  son las ganancias de las empresas por tratarse de un modelo de competencia monopolística,  $share$  es la participación del sector privado en las rentas petroleras,  $q$  son las exportaciones petroleras y  $w_t i$  es el precio internacional del petróleo. Por último  $\beta$  y  $\psi$  son los parámetros de la función de utilidad.

Luego de resolver el problema de maximización y obtener las respectivas condiciones de primer orden, se llega a:

$$\frac{c_t}{(1 - n_t)} = \frac{(1 - \tau) w_t}{\psi p_t} \quad (1)$$

$$E_t (c_{t+1}) = \beta [E_t (r_{t+1}) (1 - \tau) + 1 - \delta_k] c_t \quad (2)$$

$$(1 - \tau) r_t k_{t-1} + (1 + \theta) [(1 - \tau) (w_t n_t + ga_t) + er_t f_t + (1 - share) q_t w_t i_t er_t - (c_t + k_t)] + (1 - \delta_k) k_{t-1} = 0 \quad (3)$$

$\theta$  es la tasa del crecimiento de la población y  $\delta_k$  es la tasa de depreciación.

<sup>17</sup>Todas las ecuaciones presentadas son aquellas que componen el modelo en el que la financiación es a través de recortes de gasto público. Luego de este desarrollo, se presentarán las variaciones para el modelo en el que el financiamiento es a través de nuevos impuestos y las del modelo con una financiación a través de los peajes.

<sup>18</sup>El problema se puede plantear también a partir de un continuo de hogares, indexado desde 0 a 1.

<sup>19</sup>El modelo no hace explícito el tema de las contribuciones a la seguridad social y las prestaciones correspondientes, que quedan incluidas en los flujos de renta que los hogares tienen con los demás agentes económicos.

La ecuación de la dinámica del capital  $k$  es:

$$k_t = \frac{(1 - \delta_k) k_{t-1}}{(1 + \theta)} + i_t \quad (4)$$

## 2.2 La conducta de las empresas - Competencia monopolística

Se asume que hay un continuo de empresas en el intervalo  $[0, 1]$  que producen un bien diferenciado, cuya agregación se representa mediante una función CES.

Quién adquiere el bien agregado, minimiza su gasto en los bienes diferenciados:

$$\min_{y_{t,i}} \sum_i p_{t,i} y_{t,i}$$

Sujeto a la función de agregación

$$y_t = \left[ \int_0^1 y_{t,i}^{\frac{\epsilon-1}{\epsilon}} di \right]^{\frac{\epsilon}{\epsilon-1}}$$

Donde  $\epsilon$  es la elasticidad de sustitución entre los bienes y debe ser mayor a 1,  $y_t$  es la producción total en el periodo  $t$ ,  $y_{t,i}$  es la producción de la empresa  $i$  en el periodo  $t$ ,  $p_{t,i}$  es el precio del bien diferenciado. Las funciones de demanda derivada son:

$$y_{t,i} = \left( \frac{p_{t,i}}{py_t} \right)^{-\epsilon} y_t$$

Donde:

$$py_t = \left[ \int_0^1 p_{t,i}^{1-\epsilon} di \right]^{\frac{1}{1-\epsilon}}$$

En el corto plazo, cada empresa busca maximizar la ganancia, dada la función de agregación de bienes, y dados rendimientos constantes de escala:

$$\max_{p_{t,i}} \pi_{t,i} = p_{t,i} y_{t,i} - cm_{t,i} y_{t,i}$$

Sujeto a:

$$y_{t,i} = \left( \frac{p_{t,i}}{py_t} \right)^{-\epsilon} y_t$$

Donde  $cm_{t,i}$  es el costo medio unitario y dado que se suponen rendimientos constantes a escala, es también igual al costo marginal.

La condición de primer orden del problema conduce a:

$$p_{t,i} = \frac{\epsilon}{\epsilon - 1} cm_{t,i}$$

Asumiendo simetría, los precios de todas las empresas son iguales, y se cumple:

$$\frac{py_t}{p_t} = (1 + ma) \frac{cm_t}{p_t} \quad (5)$$

Donde  $ma$  es el *mark-up* y es definido por:

$$ma = \frac{\epsilon}{\epsilon - 1} - 1 = \frac{1}{\epsilon - 1}$$

### 2.2.1 La demanda de factores

El problema de la contratación de factores, dado el supuesto de que la función de producción exhibe rendimientos constantes a escala, puede plantearse de forma agregada, como<sup>20</sup>:

$$\min_{K_t, n_t} CT = r_t K_t + w_t L_t n_t$$

Sujeto a:

$$Y_t = K_{t-1}^\alpha (z_t \mu_t^\varphi n_t L_t)^{1-\alpha}$$

Donde  $z$  es la tecnología y  $\mu$  es definido por:

$$\mu_t = \frac{sp_{t-1}}{sp_0}$$

$sp$  es el *stock* de infraestructura del transporte. El exponente  $\phi = \varphi(1 - \alpha)$  es el parámetro de la productividad del *stock* de infraestructura de transporte.

Las condiciones de primer orden son:

$$\begin{aligned} \frac{\partial Y_t}{\partial K_{t-1}} &= r_t - \lambda_{y,t} \alpha K_{t-1}^{\alpha-1} (z_t \mu_t^\varphi n_t L_t)^{1-\alpha} \\ \frac{\partial Y_t}{\partial L_t n_t} &= w_t - \lambda_{y,t} (1 - \alpha) K_{t-1}^\alpha (z_t \mu_t^\varphi)^{1-\alpha} (n_t L_t)^{-\alpha} = 0 \end{aligned}$$

$\lambda_{y,t}$  es el costo marginal y dado que la función de producción exhibe rendimientos constantes a escala, es igual al costo medio  $cm$ .

Expresando las anteriores condiciones de primer orden en términos per cápita y haciendo el respectivo remplazo se tiene:

$$\alpha k_{t-1}^{\alpha-1} (1 + \theta)^{1-\alpha} (z_t \mu_t^\varphi n_t)^{1-\alpha} = \frac{r_t}{cm_t} \quad (6)$$

$$(1 - \alpha) k_{t-1}^\alpha (1 + \theta)^{-\alpha} (z_t \mu_t^\varphi)^{1-\alpha} n_t^{-\alpha} = \frac{w_t}{cm_t} \quad (7)$$

La función de producción expresada en términos per cápita es:

$$y_t = \left( \frac{k_{t-1}}{1 + \theta} \right)^\alpha (z_t \mu_t^\varphi n_t)^{1-\alpha} \quad (8)$$

La ganancia de la empresa se define por:

$$ga_t = y_t p y_t - \frac{k_{t-1}}{(1 + \theta)} r_t - w_t n_t \quad (9)$$

<sup>20</sup>En la presentación de las ecuaciones, se entiende que el *stock* de capital presente es  $K_t$ . En el código Dynare, el subíndice se retrasa un período porque se entiende que es una variable dada en el período  $t$ .

### 2.3 El comercio exterior

La modelación del mercado externo iguala la cuenta corriente de la balanza de pagos con la cuenta de capital:

$$pwm_t m_t + ri_t \frac{s_{t-1}}{(1+\theta)} - pwx_t x_t - q_t wti_t - f_t = s_t - \frac{s_{t-1}}{(1+\theta)} \quad (10)$$

En la anterior ecuación,  $s$  es el saldo de deuda y  $ri$  es la tasa de interés real sobre la deuda pública que es a su vez una función creciente de la relación entre el saldo de deuda y el PIB. Es definida entonces por:

$$ri_t = rm + a \frac{s_t}{pib_t} \quad (11)$$

Las demandas domésticas se atienden mediante producción doméstica  $d$  e importaciones  $m$ , que se agregan mediante una función CES.

$$c_t + i_t + g_t + ip_t = B \left( \omega m_t^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + (1-\omega) d_t^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \quad (12)$$

$B$ ,  $\omega$  y  $\sigma$  son parámetros de escala, de participación y la elasticidad de sustitución de la función CES respectivamente.  $g$  es el gasto público e  $ip$  es la inversión en infraestructura del transporte.

Se asume que la combinación óptima de producción doméstica e importaciones se determina minimizando el gasto, dada la demanda doméstica. La senda de expansión resultante del problema es:

$$\frac{m_t}{d_t} = \left( \frac{pm_t (1-\omega)}{pd_t \omega} \right)^{-\sigma} \quad (13)$$

La agregación de precios es:

$$c_t + i_t + g_t + ip_t = (1+iva) (pm_t m_t + pd_t d_t) \quad (14)$$

Donde  $iva$  es la tasa de impuestos indirectos.

Los precios de las importaciones dependen del precio externo, la tasa de cambio y los aranceles de la siguiente manera:

$$pm_t = pwm_t er_t (1+aran) \quad (15)$$

La demanda de exportaciones  $xt$  se deriva de la función CES del resto del mundo, que agrega las compras del país  $x$  y las compras de los otros países  $xx$ . Es entonces:

$$xt_t = B_e \left( \omega_e x_t^{\frac{\sigma_e-1}{\sigma_e}} + (1-\omega_e) xx_t^{\frac{\sigma_e-1}{\sigma_e}} \right)^{\frac{\sigma_e}{\sigma_e-1}} \quad (16)$$

Donde  $B_e$ ,  $\omega_e$  y  $\sigma_e$  son los parámetros de la función CES del resto del mundo.

La senda de expansión es:

$$\frac{x_t}{xx_t} = \left( \frac{pwx_t (1-\omega_e)}{pwt \omega_e} \right)^{-\sigma_e} \quad (17)$$

La oferta de exportaciones se modela mediante una frontera de posibilidades de producción, CET. Por ende la demanda de exportaciones se deriva de la función CES del resto del mundo:

$$y_t = B_d \left( \omega_d x_t^{\frac{\sigma_d-1}{\sigma_d}} + (1-\omega_d) d_t^{\frac{\sigma_d-1}{\sigma_d}} \right)^{\frac{\sigma_d}{\sigma_d-1}} \quad (18)$$

Donde  $B_d$ ,  $\omega_d$  y  $\sigma_d$  son los parámetros de la función CET y  $\sigma_d \leq 0$ .

La senda de expansión es:

$$\frac{x_t}{d_t} = \left( \frac{px_t (1 - \omega_d)}{pd_t \omega_d} \right)^{-\sigma_d} \quad (19)$$

El precio de venta de la producción total es el agregado de los precios de ventas domésticas y las exportaciones:

$$py_t y_t = px_t x_t + pd_t d_t \quad (20)$$

Los precios de las exportaciones se determinan a partir del precio externo y la tasa de cambio. Es así como los flujos del exterior a los hogares son exógenos, y la tasa de cambio se ajusta para cerrar el mercado externo.

$$px_t = pwx_t er_t \quad (21)$$

## 2.4 El Gobierno

El gobierno genera un déficit, que se financia con endeudamiento externo:

$$s_t er_t = er_t (1 + ri_t) \frac{s_{t-1}}{(1 + \theta)} - \tau \left( \frac{r_t k_{t-1}}{1 + \theta} \right) - \tau (w_t n_t + ga_t) - iba \left( \frac{c_t + i_t + g_t + ip_t}{1 + iba} \right) - aran * pwm_t er_t m_t - share * q_t wti_t er_t + g_t + ip_t \quad (22)$$

El endeudamiento público  $DP$  se mantiene constante como proporción del PIB:

$$DP = \frac{s_t er_t}{pib_t} \quad (23)$$

Donde,

$$pib_t = c_t + i_t + g_t + q_t wti_t + x_t px_t er_t - m_t pwm_t er_t \quad (24)$$

La siguiente ecuación define la dinámica del *stock* de capital público también entendiéndose como el *stock* de infraestructura de transporte.

$$sp_t = sp_{t-1} \left( \frac{1 - \delta_p}{1 + \theta} \right) + \gamma * ip_t \quad (25)$$

Siendo  $\gamma$  el parámetro de eficiencia de la inversión en la infraestructura de transporte y  $\delta_p$  la tasa de depreciación de tal infraestructura.

## 2.5 Cierre macroeconómico

El valor de las compras totales, incluyendo impuestos indirectos, es:

$$\frac{py_t}{p_t} y_t = \frac{px_t}{p_t} x_t + \frac{pd_t}{p_t} d_t \quad (26)$$

La ecuación que expresa el cierre macro es:

$$y_t - x_t = d_t \quad (27)$$

## 2.6 Los procesos exógenos - *shocks*

La productividad evoluciona según el proceso:

$$z_t = z_{t-1}^{\rho_1} z_0^{1-\rho_1} \exp(\epsilon_1) \quad (28)$$

Donde  $\epsilon_1$  se distribuye Normal  $(0, \sigma_1)$

La inversión en infraestructura del transporte evoluciona según el proceso:

$$ip_t = ip_{t-1}^{\rho_2} ip_0^{1-\rho_2} \exp(\epsilon_2) \quad (29)$$

Donde  $\epsilon_2$  se distribuye Normal  $(0, \sigma_2)$

Las remesas evolucionan según el proceso:

$$f_t = f_{t-1}^{\rho_3} f_0^{1-\rho_3} \exp(\epsilon_3) \quad (30)$$

Donde  $\epsilon_3$  se distribuye Normal  $(0, \sigma_3)$

La demanda de exportaciones evoluciona según el proceso:

$$xt_t = xt_{t-1}^{\rho_4} f_0^{1-\rho_4} \exp(\epsilon_4) \quad (31)$$

Donde  $\epsilon_4$  se distribuye Normal  $(0, \sigma_4)$

La demanda de exportaciones evoluciona según el proceso:

$$xt_t = xt_{t-1}^{\rho_4} xt_0^{1-\rho_4} \exp(\epsilon_4) \quad (32)$$

Donde  $\epsilon_4$  se distribuye Normal  $(0, \sigma_4)$

Las exportaciones petroleras evolucionan según el proceso:

$$q_t = q_{t-1}^{\rho_5} q_0^{1-\rho_5} \exp(\epsilon_5) \quad (33)$$

Donde  $\epsilon_5$  se distribuye Normal  $(0, \sigma_5)$

El precio del petróleo evoluciona según el proceso:

$$wti_t = wti_{t-1}^{\rho_6} wti_0^{1-\rho_6} \exp(\epsilon_6) \quad (34)$$

Donde  $\epsilon_6$  se distribuye Normal  $(0, \sigma_6)$

### Modelo de la financiación a través de impuestos

Este modelo comparte todas las ecuaciones del Modelo-Gasto con la excepción de que ahora la tasa impositiva  $\tau$  se hace variable para con esto hacerse endógena y que el gasto público  $g$  pase a ser exógeno. De acuerdo con lo anterior, la ecuación (2) del modelo pasa a ser:

$$E_t(c_{t+1}) = \beta [E_t(r_{t+1}) (1 - E_t(\tau_{t+1})) + 1 - \delta_k] c_t$$

Para conservar el balance del modelo, es necesario crear un nuevo proceso exógeno. El gasto público evoluciona según el proceso:

$$g_t = g_{t-1}^{\rho\tau} g_0^{1-\rho\tau} \exp(\epsilon_t) \quad (35)$$

Donde  $\epsilon_t$  se distribuye Normal  $(0, \sigma_\tau)$

### Modelo de la financiación a través de peajes

En este modelo el gobierno contabiliza como endeudamiento público adicional la financiación de las obras, hasta amortizarla con los peajes recibidos, que son pagados por los hogares<sup>21</sup>.

De acuerdo con lo anterior, la ecuación (23) del Modelo-Gasto pasa a ser:

$$peaje_t = \frac{(s_t er_t - pb_t deuda) (1 + I)^N I}{(1 + I)^N - 1}$$

$N$  es el número de periodos (años) en los que se amortizaría la inversión inicial a través de los peajes e  $I$  es la tasa de interés que aplica para el pago de los mismos.

---

<sup>21</sup>El Modelo-Peaje considera que todos los hogares, aunque no aplique esto a la realidad, pagan por hacer uso de la infraestructura del transporte.

### 3 Parámetros y Calibración

Es importante comenzar afirmando que los resultados de cualquier modelo de equilibrio general, y en particular de un modelo DSGE, dependen en gran medida de los parámetros utilizados y de los valores dados a las variables en su estado estacionario. De esta manera, sólo se llegan a resultados confiables si los parámetros son acertados.

Los parámetros del modelo se calibraron a partir de la Matriz de Contabilidad Social (SAM) del año 2005, año en el que confluyen el PIB potencial y el PIB observado, en una aplicación del filtro de Hodrick-Prescott a la serie del PIB anual colombiano<sup>22</sup>. La Matriz de Contabilidad Social se construyó, a su vez, a partir de la Cuentas Nacionales de Colombia, base 2000, del año 2005.

La matriz resume las transacciones fundamentales de la economía colombiana en 2005, distinguiendo rentas de trabajo y capital, y explicitando las transacciones básicas entre sector público y sector privado de la economía, incluyendo tres tipos de impuestos: aranceles, impuestos directos e impuestos indirectos. La matriz se ajusta con base en los siguientes conceptos:

1. Se discriminan, en el sector privado, los hogares y las empresas, determinando las tarifas de impuesto diferenciales.
2. Las rentas de capital se discriminan en remuneración al capital, y ganancia de las empresas, de acuerdo al modelo de competencia monopolística de Dixit-Stiglitz.
3. Se determinan las rentas de capital que son compatibles con los parámetros y los valores de las variables en estado estacionario del modelo, y se registran como pagos de las empresas a los hogares.

Además de lo anterior, la calibración supone que tanto las variables de flujo como las de *stock*, estén en sus valores de estado estacionario.

#### Los parámetros

La calibración de los parámetros que definen la conducta del consumidor,  $\psi$  y  $\beta$ , se hace a partir de las siguientes ecuaciones expresadas para el estado estacionario:

$$\frac{c^*}{(1 - n^*)} = \frac{(1 - \tau) w^*}{\psi p^*}$$
$$1 = \beta (1 + ri^*)$$

En cuanto a la acumulación de capital, la depreciación de estado estacionario se determina a partir de:

$$k^* = \frac{(1 - \delta_k) k^*}{(1 + \theta)} + i^*$$

Además de lo anterior, se busca que los valores de los parámetros sean consistentes con el estado estacionario. Los parámetros del modelo, con excepción de los parámetros de sustitución, se despejan a partir de los valores de las variables en el año base y de los supuestos de las elasticidades de sustitución.

Por tratarse de un modelo que contempla la inversión en infraestructura de transporte y la externalidad del *stock* de tal infraestructura en la función de producción, los dos parámetros claves del modelo son la efectividad de la inversión en infraestructura de transporte  $\gamma$ , y la elasticidad de la producción al *stock* de infraestructura de transporte  $\phi$ .

---

<sup>22</sup>Ver Botero y Tarchopoulos (2010).

## Efectividad de la inversión en infraestructura de transporte - $\gamma$

Resulta innegable el hecho que aumentar la efectividad de la inversión, particularmente en los países en desarrollo, es primordial para mejorar significativamente el crecimiento de los mismos. De acuerdo con Dabla - Norris et al (2011), en muchos países en desarrollo, la relación entre el gasto del capital público y la acumulación del *stock* de capital, y por ende crecimiento, es debilitada notablemente por la falta de efectividad de tal inversión. De este mismo trabajo es que se extrae el parámetro de efectividad  $\gamma$  dado que se expone un índice<sup>23</sup> de efectividad y calidad del gasto público para 71 países en desarrollo incluyendo Colombia.

De acuerdo con la forma funcional de la ecuación de acumulación de capital público, el parámetro de efectividad  $\gamma$  debe tomar un valor entre 0 y 1. Esto se logra normalizando los valores en Dabla - Norris et al (2011), tal como se muestra en la tabla 1, considerando que la escala de medición fue hecha entre 0 y 4.

	Evaluación ex ante	Selección	Ejecución	Auditoría ex post	Ponderación
$\gamma$ absoluto	4.00	2.80	2.13	3.33	<b>3.07</b>
$\gamma$ ponderado	1.00	0.70	0.53	0.83	<b>0.77</b>

Tabla 1: Contiene el índice de efectividad  $\gamma$  de la inversión para Colombia de acuerdo con las diferentes etapas de un proyecto de inversión pública.

## Productividad del *stock* de infraestructura de transporte - $\phi$

Son varios los autores que han estimado el parámetro  $\phi$  de la elasticidad de la producción al *stock* de infraestructura, pero pocos lo han hecho para el caso particular de la infraestructura de transporte. En la tabla 2 se hace un compendio de los diferentes trabajos, los valores encontrados para la estimación del parámetro  $\phi$  y las características de la infraestructura y los países para los que fueron hechos.

Artículo	Valor de $\phi$	Observaciones
Mera (1973)	0.20	Aplicado a la infraestructura de la industria en Japón
Aschauer (1989)	0.20 - 0.40	Estimación hecha para Estados Unidos
Barro (1990)	0.13	Estimación hecha para 118 países en 1960 y 1985
Shah (1988 y 1992)	0.05	Infraestructura del transporte, energía y comunicaciones para México
Easterly and Rebelo (1993)	0.16	Infraestructura del transporte y comunicaciones para países en desarrollo
Prud'homme (1993)	0.08	Infraestructura pública en Francia
Uchimura and Gao (1993)	0.24	Infraestructura del transporte, agua y comunicaciones para China y Taiwan
Uchimura and Gao (1993)	0.19	Infraestructura del transporte, agua y comunicaciones para Korea
Bregman and Marom (1993)	0.31 - 0.44	Infraestructura del transporte, agua y comunicaciones para Israel
<b>Canning and Fay (1993)</b>	<b>0.07</b>	<b>Infraestructura del transporte para países en desarrollo</b>
Calderón and Servén (2002)	0.16	Panel data para 101 países desarrollados y en desarrollo

Tabla 2: Contiene valores del parámetro  $\phi$  de acuerdo con estimaciones hechas para diferentes países y diferentes tipos de infraestructura.

<sup>23</sup>Este índice se pondera a partir de cuatro subíndices correspondientes a las etapas por las que pasa un proyecto de inversión: evaluación ex ante, selección del proyecto, ejecución y auditoría ex post. El índice recoge entonces los problemas técnicos y financieros, la corrupción, los incumplimientos de plazos y presupuestos, la falta de interventoría, la mala asignación de los riesgos, entre otros. En Dabla - Norris et al (2011) se concluye que este índice podría ser utilizado en los modelos agregados, que hasta ahora, asumen que la ecuación de acumulación de capital se compone de una inversión perfectamente eficiente, y por lo tanto una unidad de inversión se traduce en una unidad de capital físico.

En Hulten (1996) se presenta como, luego de hacer diferentes estimaciones econométricas, existe una evidente relación entre los parámetros  $\gamma$  y  $\phi$ . Para países con los niveles más bajos de efectividad se encontró por ejemplo que la elasticidad era de tan solo 0.009. En contraste a lo anterior, para países con los más altos niveles de efectividad el mismo parámetro tomaba valores de 0.244.

Dadas las características de cada uno de los valores del parámetro  $\phi$  presentados en la tabla 2, se procede a trabajar con el encontrado en Canning and Fay (1993) de  $\phi = 0.07$ . Si bien los otros valores presentados son mayores, es importante considerar que incorporan estimaciones para infraestructura diferente a la del transporte.

### **Depreciación del capital público - $\delta_p$**

De acuerdo con el Banco Mundial en el *World Development Report* de 1994, la tasa de depreciación del capital público  $\delta_p$  es alrededor del doble de la tasa de depreciación del capital privado  $\delta_k$ . Es por la anterior razón que se tiene  $\delta_p = 0.15$ .

Como conclusión, se puede decir que los parámetros usados son coherentes con los distintos valores estimados por la literatura correspondiente y con la economía colombiana del año 2005.

### **Datos de inversión en infraestructura del transporte - $ip$**

Las cifras de inversión en infraestructura del transporte son tomados de las estadísticas de la Dirección Nacional de Planeación. En estas cuentas agregadas se incluyen las inversiones en carreteras, ferrocarriles, puertos, aeropuertos, infraestructura fluvial y sistemas de transporte masivo.

Las inversiones son financiadas con recursos de regalías indirectas - FNR, FAEP y otros. Las cuentas se tienen desde el año 1993 a pesos de 2006. Es por esto que se aplica un deflactor para tener la cifra de inversión a pesos de 2005.

## 4 Resultados

En este capítulo se presentan y analizan los principales resultados arrojados por los distintos modelos al aplicarse igualmente distintas políticas de inversión en la infraestructura del transporte. Tal como se afirmó anteriormente, los modelos DSGE asumen un equilibrio de estado estacionario, y luego se producen *shocks* en la economía, que se podrían también entender como políticas económicas. Luego de ser alterado el estado estacionario se determina la trayectoria de las variables. En este artículo el interés es encontrar la respuesta que tiene el PIB per cápita  $y$  luego de un impulso en la inversión en la infraestructura del transporte  $ip$ .

El mecanismo de solución matemática de estos modelos es a través de aproximaciones de Taylor de primer y segundo orden. Es por esto que los *shocks* aplicados representan pequeñas variaciones al estado estacionario. En la figura 3 se presentan las trayectorias seguidas por  $y$  para los tres modelos distintos de financiación luego de aplicarse un *shock* sobre  $ip$  haciendo dos variaciones sobre el parámetro de persistencia  $\rho$ . Es así como se aplica una política de inversión transitoria cuando  $\rho = 0.1$  y se aplica una política de inversión permanente cuando  $\rho = 0.9$ .

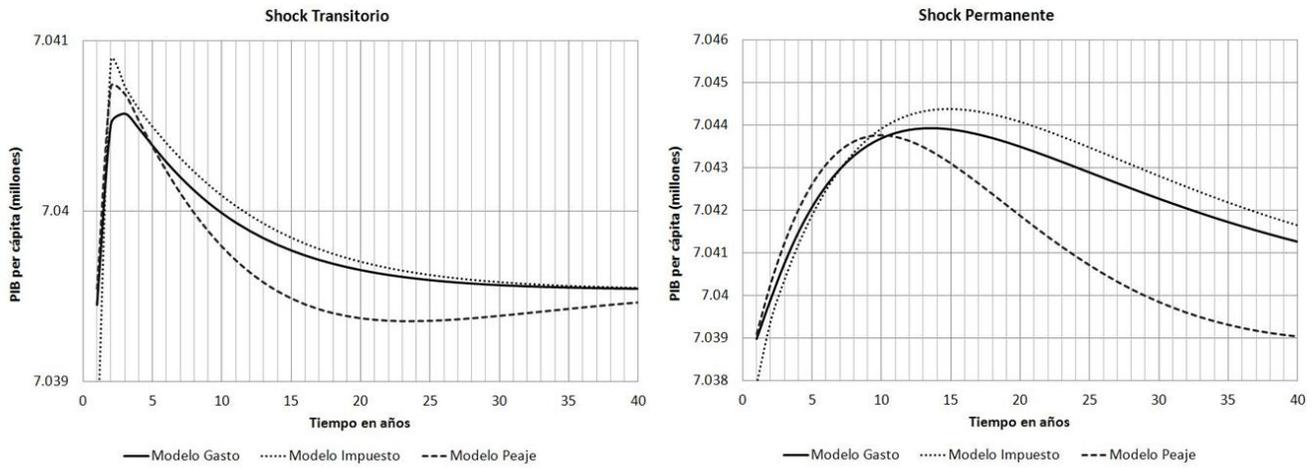


Figura 3: Trayectorias de  $y$  luego de un *shock* permanente y otro transitorio sobre  $ip$  del 1.0%.

Las tablas 3 y 4 complementan la figura 3 porque en ellas se presenta las elasticidades del PIB respecto a  $ip$ . En la tabla 3 tal elasticidad se calcula con base en el valor presente neto (VPN<sup>24</sup>) aplicando una tasa de descuento correspondiente a la tasa implícita en el parámetro subjetivo de descuento de los hogares  $\beta$ <sup>25</sup> que es cercana al 3% anual. En la tabla 4 la elasticidad se calcula con base en el valor máximo alcanzado por el PIB per cápita<sup>26</sup> luego del *shock* de  $ip$ .

Política	VPN PIB	$\Delta$ VPN PIB	VPN $ip$	$\Delta$ VPN $ip$	$E_{PIB,ip}$
Gasto,transitoria	159.340	7.48E-03	1.423	6.78E-04	0.0986
Gasto,permanente	159.401	6.82E-02	1.430	7.47E-03	0.0819
Impuesto,transitoria	159.341	8.39E-03	1.423	6.78E-04	0.1106
Impuesto,permanente	159.406	7.32E-02	1.430	7.47E-03	0.0879
Peaje,transitoria	159.337	4.26E-03	1.423	6.78E-04	0.0561
Peaje,permanente	159.381	4.82E-02	1.430	7.47E-03	0.0579

Tabla 3: Contiene las elasticidades de  $y$  respecto a  $ip$ , calculada con base en el VPN, luego de un *shock* sobre  $ip$  del 1.0% y bajo los escenarios de una política permanente y otra transitoria.

<sup>24</sup>El  $\Delta$  VPN PIB se calcula con base en el VPN del PIB estacionario que es igual a descontar los flujos cuando no se aplica alguna política sobre la economía. El VPN del PIB estacionario es de 159.332. Lo anterior también sucede con el  $\Delta$  VPN de  $ip$  y el VPN del  $ip$  estacionario es 1.4226.

<sup>25</sup> $\beta = 1/(1 + r)$

<sup>26</sup> $\Delta$  PIB = Max PIB - PIB estacionario, siendo este último igual a 7.0395

Política	Max(PIB)	$\Delta$ PIB	$\Delta ip$	$E_{PIB,ip}$
Gasto,transitoria	7.0406	1.04E-03	1.0%	0.0147
Gasto,permanente	7.0439	4.39E-03	1.0%	0.0624
Impuesto,transitoria	7.0409	1.34E-03	1.0%	0.0191
Impuesto,permanente	7.0444	4.85E-03	1.0%	0.0688
Peaje,transitoria	7.0407	1.19E-03	1.0%	0.0169
Peaje,permanente	7.0438	4.23E-03	1.0%	0.0601

Tabla 4: Contiene las elasticidades  $y$  respecto a  $ip$ , calculada con base en el máximo incremento del  $y$ , luego de un *shock* sobre  $ip$  del 1.0% y bajo los escenarios de una política permanente y otra transitoria.

De acuerdo con los resultados presentados en las tablas 3 y 4, se puede afirmar que tanto las políticas transitorias como las permanentes traen resultados positivos para la economía colombiana. De acuerdo con las elasticidades calculadas y revisando las políticas transitorias y permanentes, la de invertir en infraestructura del transporte con una financiación a través de impuestos sin afectar el gasto público y siendo responsables fiscalmente al mantener un nivel de endeudamiento, es la mejor opción. Las bondades de las políticas transitorias son evidentes a simple vista, pero el resultado más importante es que en la economía colombiana existe espacio para aplicar políticas de inversión en infraestructura del transporte permanentes aún dándose un agotamiento progresivo de los efectos positivos.

Los resultados se pueden explicar por lo siguiente: un *shock* permanente refleja el rendimiento decreciente de la inversión en infraestructura del transporte porque acumula más capital público  $sp$ , y éste debe tener rendimientos decrecientes. Es así como se puede afirmar que las primeras inversiones, que están reflejadas en el *shock* transitorio, deben tener más rendimiento que las inversiones ulteriores, que quedan reflejadas en el shock permanente<sup>27</sup>.

Para el caso de la inversión financiada a través de peajes, las elasticidades calculadas con base en el mayor incremento del PIB per cápita resultan siendo similares a las de las demás formas de financiación, pero son significativamente menores cuando las elasticidades se calculan con base en el VPN.

En la figura 4 se presentan las trayectorias de  $y$  luego de un *shock* de  $ip$  del 1.0% para los tres modelos de financiación y la trayectoria seguida por  $y$  luego de aplicarse una política de efectividad. Esta política de efectividad consiste en mantener la inversión en infraestructura del transporte  $ip$  del estado estacionario y aplicar un *shock* del 1.0% al parámetro de efectividad  $\gamma$ . Lo anterior implica que tanto el gasto como el endeudamiento se mantienen iguales pero existe un aumento de la externalidad del *stock* de infraestructura pública  $sp$  vía una mejor utilización de los recursos disponibles.

Política	VPN PIB	Max PIB
Modelo-Gasto	159.4006	7.0439
Modelo-Impuesto	159.4056	7.0444
Modelo-Peaje	159.3806	7.0438
Efectividad	<b>159.4118</b>	<b>7.0447</b>

Tabla 5: Contiene los VPN y los mayores valores de  $y$  luego de un *shock* del 1.0% sobre  $ip$  para las tres formas distintas de financiación y un *shock* del 1.0% sobre  $\gamma$  para simular una política de efectividad.

De acuerdo con los resultados presentados en la tabla 5, se puede afirmar que la mejor política es la de hacer más efectiva la inversión en infraestructura del transporte. A la medida de efectividad de la inversión le siguen en orden descendente la política de financiación a través de impuestos, la de reasignación del gasto público y por último la financiación a través de peajes.

<sup>27</sup>Una inversión permanente corresponde a algo cercano a diez veces el shock transitorio.

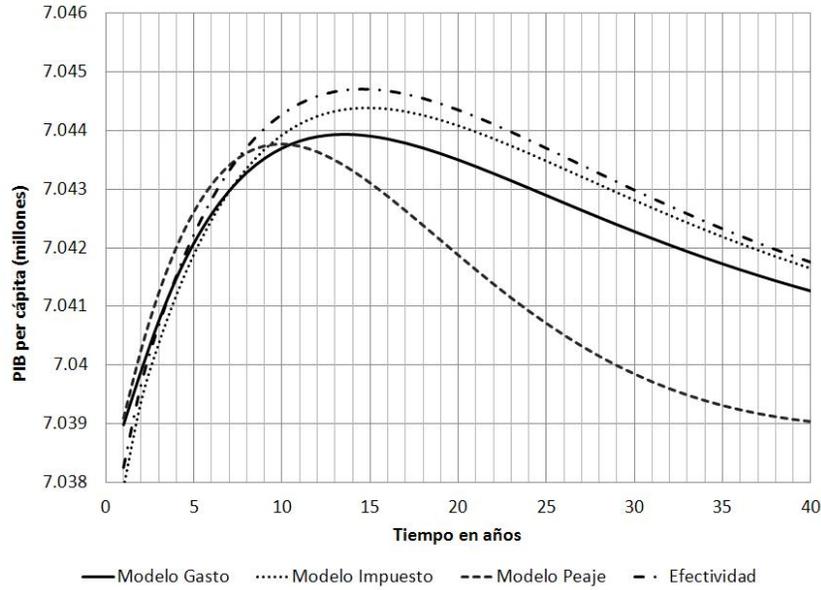


Figura 4: Trayectorias de  $y$  luego de un *shock* sobre  $ip$  del 1.0% para las tres formas distintas de financiación y un *shock* del 1.0% sobre  $\gamma$  para simular una política de efectividad.

Luego de un *shock* de  $ip$  tanto en el modelo de financiación a través de gasto público como para la política de efectividad, no hay algún cambio en la demanda agregada de la economía mientras que sí hay efectos sobre la productividad como resultado de la inclusión de la externalidad del *stock* de la infraestructura del transporte *sp*. Tanto para el modelo de financiación a través de impuestos como para el que es a través de peajes, ocurren los dos mecanismos de transmisión al resto de la economía mencionados previamente. Lo anterior, sumado a los efectos de *trade-off* entre la inversión pública y la privada<sup>28</sup> explican los resultados de la tabla 5.

A pesar de que se introduce un impuesto distorsionador en el Modelo-Impuesto y que la financiación a través de peajes se puede considerar como una financiación a través de un impuesto de suma fija, son mayores los efectos de *crowding-out* de la inversión pública en infraestructura del transporte sobre la inversión y el consumo privados en la segunda forma de financiación que en la segunda. Es evidente, de acuerdo con la figura 4, como en un principio la economía crece más rápidamente a través de una financiación con un impuesto de suma fija, pero llega a un punto de inflexión donde los hogares reducen su consumo e inversión dado que les resulta muy costoso pagar los peajes.

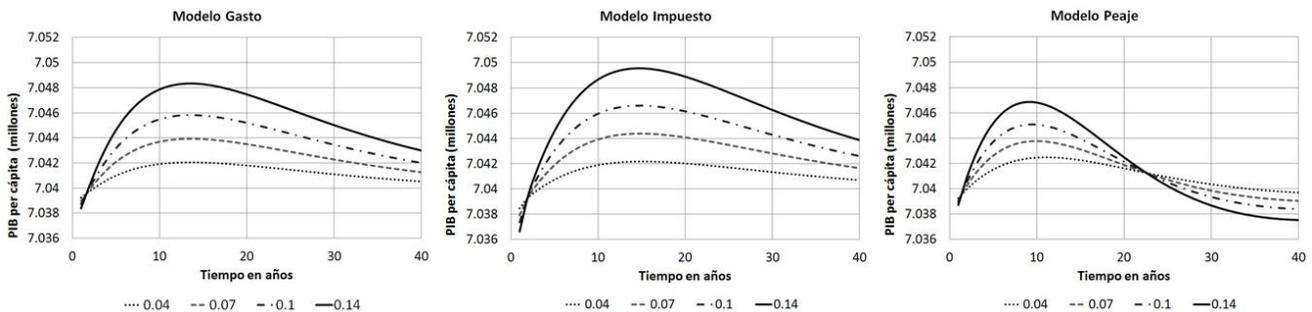


Figura 5: Trayectorias de  $y$  luego de un *shock* sobre  $ip$  del 1.0%. con distintos valores del parámetro  $\phi$ .

<sup>28</sup>Es importante mencionar que en los modelos DSGE los agentes privados, representados por un hogar tipo, toman decisiones absolutamente racionales en el sentido que tienen perfecta predicción.

Además de los *shocks* sobre  $ip$  y  $\gamma$  para evaluar las diferentes políticas también se hacen simulaciones sobre el parámetro de productividad  $\phi$  haciendo que éste tome diferentes valores. Las diferentes trayectorias de  $y$  se muestran en la figura 5 y los valores para  $\phi$  son 0.04, 0.07, 0.10 y 0.14. Los resultados coinciden perfectamente con lo esperado dado que a medida que mayor es el valor de  $\phi$  también es mayor la productividad en la economía por la acumulación de  $sp$  y por ende se obtiene un mayor crecimiento económico.

## 5 Conclusiones

Este artículo cuantifica la relación existente entre el crecimiento económico y la inversión en infraestructura del transporte en Colombia a través de un modelo DSGE. El modelo describe una economía abierta, en la que los hogares ejercen derechos de propiedad sobre las rentas de las empresas, y en la que el sector petrolero representa una fuente fundamental de rentas de exportación. Los hogares maximizan la utilidad y las empresas sus ganancias. El sector público determina el gasto y la inversión en infraestructura del transporte manteniendo un nivel de endeudamiento máximo.

Se incluye un parámetro de productividad, que expresa, en última instancia la elasticidad de la producción al stock de infraestructura del transporte y un parámetro de eficiencia de la inversión en infraestructura del transporte debido a que una porción de los recursos se dilapida por problemas de contratación o de gestión de las obras, atenuando el efecto positivo de la inversión.

Uno de los principales resultados obtenidos en este trabajo, es que más importante que aumentar la inversión en infraestructura del transporte, es la de aumentar la efectividad de la misma. Ejecutando una política de efectividad se logran mayores incrementos en el PIB per cápita y el valor presente neto es también mayor. Se puede afirmar que bajo una política de efectividad se incrementa la productividad, sin que ello represente un esfuerzo adicional impositivo para la sociedad, y sin que deban sacrificarse otros programas de gasto, necesarios seguramente en un país en el que existen importantes usos alternativos de los recursos fiscales.

No existe alguna razón para que Colombia no busque mejorar su efectividad, porque no solo habría un ahorro inmediato, sino que también existiría un efecto multiplicador en la economía<sup>29</sup>. En cuanto a la reasignación del gasto público es importante considerar las limitaciones de una política de esta naturaleza en una economía como la colombiana donde existen unas necesidades sociales tan apremiantes. Las limitaciones también se hacen evidentes con la financiación de la infraestructura del transporte a través del aumento de los impuestos por el costo político que esto puede traer y por la dificultad del recaudo. Lo anterior sugiere que en Colombia se deben aplicar políticas ingeniosas que permitan la movilización de capitales a través de concesiones financieras y tasas de rentabilidad competitivas y de esta manera garantizar la inversión en infraestructura de transporte que es financiada a través del recaudo de peajes.

Lo que resulta indiscutible, luego de revisar las elasticidades del PIB respecto a  $ip$  y los VPN, es que sin importar la forma de financiación, la inversión en infraestructura de transporte genera un impacto positivo sobre el crecimiento económico, y que existe además un espacio de acción importante, porque incluso sin recurrir a reasignaciones del presupuesto público, y sin elevar la carga impositiva presente, es posible movilizar inversión privada, ofreciendo tasas de retorno atractivas para los inversionistas (del orden del 10%, en términos reales), con la seguridad de que, como lo muestran las simulaciones realizadas, el efecto neto de la inversión excederá el costo de la financiación empleada en expandir la inversión.

Finalmente, este artículo representa un aporte para la literatura en el sentido que es el primer estudio que incorpora la aplicación de un modelo DSGE para cuantificar la relación entre crecimiento económico y la inversión en infraestructura de transporte con base en una calibración de datos reales de la economía colombiana y del que se pueden inferir conclusiones cuantitativas relevantes para el país que se traducen en políticas públicas. Más allá de lo cuantitativo, el artículo presenta también un diagnóstico de la situación actual en materia de infraestructura de transporte y una propuesta que puede ayudar a superar tal situación. Para futuras investigaciones, se recomienda la inclusión de la posibilidad de inversión privada para complementar la inversión pública en infraestructura del transporte. Es necesario entonces modelar de manera expresa mercados financieros que reciban el ahorro de los hogares.

---

<sup>29</sup>Es importante mencionar que ejecutar una política de efectividad tiene unos costos no cuantificados en el modelo desarrollado y se salen del alcance de este artículo. Dentro de estos costos se pueden mencionar la creación o fortalecimiento de las entidades de control, la inversión en capital humano, entre otros.

## 6 Referencias Bibliográficas

- Antunes, P., Beckman, K., Johnson, J. 2010, The Economic Impact of Public Infrastructure in Ontario, *Report of the Conference Board of Canada - Economic Performance and Trends*.
- Aschauer, D.A. 1989, Public Investment and Productivity Growth in the Group of Seven, *Economic Perspectives (13)*.
- Barro, R. 1990, Government Spending in a Simple Model of Endogenous Growth, *Journal of Political Economy (98)*, 103 - 125
- Botero, L. y Tarchopoulos, S. 2010, El Efecto Multiplicador del Gasto Público para el caso colombiano, *Monografía para optar por el título de Economista, Universidad EAFIT*
- Canning, D. and Fay, M. 1993, The Effect of Transportation Networks on Economic Growth, *Columbia University Working Paper*.
- Clark, X. 2004, Port Efficiency, Maritime Transport Costs and Bilateral Trade. *National Bureau of Economic Research Working Paper No. 10353*.
- Dabla - Norris, E. Brumby, J. Kyobe, A. Mills, Z. Papageorgiou, C. 2011, Investing in Public Investment: An Index of Public Investment Efficiency. - *IMF Working Paper - Strategy, Policy, and Review Department WP/11/37*.
- Easterly, W., Rebelo, S. 1993, Fiscal Policy and Economic Growth: An Empirical Investigation. *Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research*.
- Echeverry J.C, Eslava, M., Lozano, E. 1999, El Transporte Carretero de Carga, *Archivos de Economía - Documento 120, Departamento Nacional de Planeación y su Dirección de Estudios Económicos*.
- Fay, M. and Morrison, M. 2005, Infrastructure in Latin America and the Caribbean: Recent developments and key challenges, *Technical Report 32640 - LCR, The World Bank*.
- Frenette, M. 2004, Access to College and University: Does Distance to School Matter? *Canadian Public Policy, 30,4*.
- García, J. 2007, ¿Existe una relación entre inversión en infraestructura de transporte y crecimiento económico?, *Ecos de Economía N° 25*, p.61 - 77.
- Gibbons, S., Machin, S. 2006, Transport and Labour Market Linkages: Empirical Evidence, Implications for Policy and Scope for Further UK Research. *London: HM Treasury*.
- Harchaoui, T., Tarkhani, F. 2003, Public Capital and Its Contribution to the Productivity Performance of the Canadian Business Sector, *Economic Analysis Research Paper Series, Cat. No. 17-11F0027MIE. Ottawa: Statistics Canada, November*.
- Hummels, D. 1999, Have International Transportation Costs Declined? *Chicago: University of Chicago*
- Hulten, C.R. 1996, Infrastructure Capital and Economic Growth: How well you use it it may be more important than how much you have, *NBER Working Paper*.
- Leeper, E., Walker, T., Yang, S. 2010, Government Investment and Fiscal Stimulus. *IMF Working Paper*.
- Machicado, C. 2007, Macroeconomic and Welfare Effects of Public Infrastructure Investment in Five Latin American Countries, *INESAD*.
- McCandless, G. 2008, The ABC's of RBC's: An introduction to Dynamic Macroeconomic Models, *Harvard University Press*.
- Munnell, A. 1999, Why Has Productivity Growth Declined? *New England Economic Review*.
- Nadiri, M. I., Mamuneas, T.P. 1998, The Contribution of Highway Capital to Output and Productivity Growth in the U.S. Economy and Industries. *Report to the Federal Highway Administration Office of Policy Development*.

- Perdomo, A.A. 2005, Modelo de infraestructura en transporte: El capital de infraestructura como un capital complementario, *Archivos de Economía - Documento 294*, Departamento Nacional de Planeación y su Dirección de Estudios Económicos.
- Rioja, F.K. 2001, Growth, Welfare, and Public Infrastructure: A General Equilibrium Analysis of Latin American Economies, *Journal of Economic Development* 26 (2), p. 119 - 130.
- Rioja, F.K. 2003, Filling Potholes: Macroeconomic Effects of Maintenance versus New Investments in Public Infrastructure, *Journal of Public Economics* 87, p. 2281 - 2304.
- Servén, L. 2005. Fiscal Discipline, Public Investment and Growth. *World Bank, Washington DC*.
- Straub, S. 2008. Infrastructure and Growth in Developing Countries: Recent Advances and Research Challenges. *World Bank Policy Research Working Paper No.4460*
- World Bank. 1994. World Development Report 1994: Infrastructure for Development. *World Bank and Oxford University Press, Washington DC*.