

Infraestructuras y productividad industrial en Colombia*

Infrastructure and Industrial Productivity in Colombia

Sergio Jiménez Ramírez**
Jaime Sanaú Villarroya***

Resumen

Este trabajo analiza el impacto de las infraestructuras públicas sobre la productividad de las industrias manufactureras en Colombia entre 1990 y 2005, mediante el enfoque basado en la teoría de la dualidad. Concretamente, estudia los efectos que tiene la inversión en capital público sobre la estructura de costos de la industria, a través de la interrelación de los diferentes factores de producción privados y dicho capital.

* Los autores agradecen todas las sugerencias de los evaluadores anónimos, así como las del editor de *Desarrollo y Sociedad*, porque, sin duda, han permitido mejorar el trabajo de forma considerable. Investigación realizada por el Grupo Fecepad con financiación del Gobierno de Aragón y el Fondo Social Europeo.

** Director y profesor asistente del Departamento de Economía de la Universidad de Pamplona, Colombia. Correo electrónico: sjimenez@unipamplona.edu.co.

*** Profesor titular del Departamento de Estructura e Historia Económica y Economía Pública de la Universidad de Zaragoza, España. Correo electrónico: jsanau@unizar.es.

Este artículo fue recibido el 17 de noviembre de 2009; modificado el 2 de agosto de 2011 y, finalmente, aceptado el 19 de agosto de 2011.

Palabras clave: infraestructuras públicas, productividad, crecimiento económico, teoría de la dualidad.

Clasificación JEL: D24, C33, H54, O47.

Abstract

This paper analyzes the impact of public infrastructure on the productivity of manufacturing industries in Colombia between 1990 and 2005 by focusing on the theory of duality. The paper draws specific attention to the effects of public capital investment on the cost structure of the industry, through their interrelationships with the different private production factors.

Key words: Public infrastructure, productivity, economic growth, duality theory.

JEL classification: D24, C33, H54, O47.

Introducción

A finales del siglo xx surgió entre políticos y economistas una creciente inquietud por averiguar el origen de la desaceleración del crecimiento de la productividad de los años setenta en Estados Unidos, tras haber mantenido un elevado crecimiento en la década anterior. Esta preocupación renovó el interés de los investigadores por los factores que dinamizan la productividad y el crecimiento económico y dio paso a la publicación de algunos artículos seminales, como fueron los casos de Ratner (1983) y Aschauer (1989). Este último trabajo, aplicado a la economía estadounidense, presentó unos resultados que le concedieron al capital público un papel muy relevante como factor del proceso de producción, con una elasticidad del producto con respecto a este acervo de 0,39. A partir de allí se desarrollaron copiosas investigaciones, con una notoria variedad de resultados.

Para agrupar la literatura que emergió y que contrasta la denominada hipótesis del capital público, se distinguen tres escenarios generales.

El primero de ellos, que correspondería a una primera generación de autores, comprende aquellos trabajos iniciales que indagaron empíricamente sobre el potencial vínculo entre la inversión en infraestructuras y el crecimiento de la productividad del sector privado, por medio de una función de producción agregada ampliada con el capital público. Entre ellos se puede contar a Aschauer (1989), Munnell (1990a, 1990b) y García-Milá y McGuire (1992), para Estados Unidos; Arguimón, González-Páramo, Martín y Roldán (1994), Mas, Maudos, Pérez y Uriel (1996), Sanaú (1998), Fernández y Polo (2002) y Álvarez, Orea y Fernández (2003), para España; y Sánchez (1993), Cárdenas, Escobar y Gutiérrez (1995) y Sánchez, Rodríguez y Núñez (1996), para Colombia.

Con el transcurrir de los primeros años de la década de los noventa, el análisis de la relación entre capital público y productividad cambió de enfoque metodológico, como consecuencia de las debilidades del esquema de la función de producción agregada, y esto dio paso a un nuevo escenario de análisis. Así, el enfoque dual basado en la función de costos comenzó a copar el interés de los investigadores para acercarse a la comprensión del vínculo entre esas dos variables económicas. No obstante, esta literatura resultó menos prolífica que la de funciones de producción.

En esta última generación de trabajos se distinguen dos escenarios que completan la revisión de la literatura: los trabajos que utilizan una función de costos generalizada de Leontief y los que utilizan una función de costos translog. Entre los primeros puede incluirse a Morrison y Schwartz (1996), para Estados Unidos; Bosca, Escribá y Dabán (1999), para España; y Jiménez y Sanaú (2011), para Colombia. Entre los segundos, a Lynde y Richmond (1992) y Nadiri y Mamuneas (1994), para Estados Unidos; Conrad y Seitz (1994) y Seitz y Licht (1995), para Alemania; y Avilés, Gómez y Sánchez (2001) y Moreno, López-Bazo y Artís (2002), para España. No obstante, Brox y Fader (2005) para Canadá, que utilizan un modelo de costos de elasticidad de sustitución constante-translog (CES-TL), representan a quienes han optado por utilizar formas funcionales menos comunes.

El objetivo de este trabajo es analizar el impacto de las infraestructuras públicas sobre la productividad en las industrias manufactureras en

Colombia entre 1990 y 2005, mediante la estimación de una función de costos translogarítmica¹. Se trata de estudiar los efectos que tiene la inversión en capital público sobre la estructura de costos de la industria, a través de la interrelación de los diferentes factores de producción privados y dicho capital.

Realizar este análisis en una economía como la colombiana es relevante, ya que no abundan los estudios de este tipo en países en vías de desarrollo, como sí ocurre con los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), especialmente España, Alemania y Estados Unidos². Por tanto, la todavía escasa evidencia empírica acerca de la importancia que tienen las infraestructuras públicas en el proceso de desarrollo económico de los países de rentas media y baja, como es el caso de los latinoamericanos, da apoyo a la realización de este trabajo. El segundo aporte de este trabajo resulta de evaluar el efecto del capital público sobre la industria manufacturera, en un país que a comienzos del período de estudio fue objeto de reformas estructurales muy importantes a nivel político y económico³.

La estructura del trabajo es la siguiente. En el próximo apartado se revisa la literatura que relaciona el capital público con el crecimiento de la productividad de la industria, utilizando funciones duales, con funciones de costos generalizadas de Leontief y funciones de costos translogarítmicas. A continuación, se introduce el modelo teórico basado en la teoría de la dualidad, de donde se derivan las expresiones

¹ Los trabajos de Sánchez (1993), Cárdenas *et al.* (1995) y Sánchez *et al.* (1996) analizan la relación entre las infraestructuras públicas y la productividad de las industrias manufactureras en Colombia, aunque no desde la perspectiva de las funciones de costos, como se hace aquí. Además, existen estudios, como el de Pombo (1999), que utilizan una función de costos translogarítmica para estudiar los determinantes de la productividad en la industria manufacturera colombiana, si bien Pombo no incluye el capital público como uno de los determinantes de la productividad.

² Entre los estudios que analizan la relación entre las infraestructuras y el crecimiento económico en países de diferentes niveles de renta, cabe destacar el de Esfahani y Ramírez (2003).

³ La Constitución Política de Colombia promulgada el 7 de julio de 1991 reemplazó la expedida en 1886 con todas sus reformas. Infortunadamente, al no contar con información estadística de un período anterior a 1991 que fuese considerablemente amplio, no es posible aquí hacer una evaluación de la relación entre inversión en infraestructuras públicas y productividad de la industria manufacturera antes y después del nuevo marco institucional que introdujo la Constitución.

para las contribuciones marginales del capital público y del capital privado a la reducción de los costos variables, es decir, los precios sombra, así como las expresiones para las elasticidades del producto y de los costos con respecto a ambos capitales. Seguidamente se describen las variables y los datos usados y se introduce el modelo econométrico que se emplea para llevar a cabo la contrastación empírica. En el apartado final, se plasman las conclusiones más importantes a las que se llega a partir de los resultados obtenidos.

I. La segunda generación de estudios sobre el capital público

Trabajos como los de Gramlich (1994), Sanaú (1997) y De la Fuente (2000) sintetizan la literatura existente a nivel internacional referente al enfoque de las funciones de producción, si bien el segundo autor pone más énfasis en las aplicaciones al caso español. La revisión de la literatura que se realizará a continuación, luego de hacer una breve descripción de los trabajos aplicados a Colombia bajo la estructura de funciones de producción, se centra en los estudios más relevantes de lo que podríamos llamar una segunda generación de autores, es decir, los que han empleado funciones de costos.

En este sentido, Sánchez (1993), analizando el caso colombiano para el período 1965-1990 mediante el uso del enfoque de la función de producción, estudia la relación existente entre capital público y crecimiento económico. El autor realiza tres ejercicios para estimar el impacto de: a) el capital y la infraestructura públicos sobre la productividad de la industria, b) la inversión e infraestructura públicas sobre la rentabilidad e inversión industrial y c) el capital e inversión públicos sobre el crecimiento del producto. Cabe resaltar que trabajos como este, donde se estudiaron los efectos de la inversión e infraestructura públicas sobre la actividad económica privada al estilo de Aschauer (1989) o Munnell (1990a, 1990b), no se habían llevado a cabo hasta ese momento para Colombia.

Los resultados de Sánchez (1993) ponen de manifiesto que el capital público y principalmente las infraestructuras núcleo (carreteras, aeropuertos, teléfonos, redes de energía, etc.) tienen un impacto positivo

sobre la productividad, la tasa de inversión y, por tanto, sobre el crecimiento económico, pero, entre dichas infraestructuras centrales, las carreteras fueron las que evidenciaron mayor impacto.

Por su parte, Cárdenas *et al.* (1995) realizan un amplio número de estimaciones para cuantificar el impacto del acervo y la inversión en infraestructuras sobre la productividad y el crecimiento económico en Colombia. Para tal fin, construyen una base de datos sobre infraestructuras colombianas y comparan la posición del país con otras naciones, lo que evidencia el notable rezago en esta materia. Se destaca en su base de datos el espacio dedicado a las cifras departamentales, las cuales muestran las enormes disparidades que se mantienen en Colombia, tanto en infraestructura de transporte como en cobertura de servicios públicos.

Desde una perspectiva analítica, el cálculo de las elasticidades y de la productividad total de los factores los autores lo hicieron en tres niveles y para tres períodos de tiempo diferentes: a nivel nacional con datos de series de tiempo para el período 1950-1994, en el ámbito departamental con paneles de datos para el período 1980-1991 y a nivel industrial para 1974-1992. Los resultados obtenidos a nivel nacional indicaron que, todo lo demás constante, un incremento del 1% en el acervo de capital público estuvo asociado con un aumento de 0,127% en el producto interno bruto (PIB) en promedio. El panel departamental muestra que, en promedio, la elasticidad del PIB respecto a la inversión pública local fue alrededor de 0,25, el doble que la estimada para todo el país. Para el caso de los sectores industriales, los resultados sugieren que un aumento de un punto porcentual en el acervo de capital público se manifiesta en un incremento de 0,5% en el PIB industrial. Según afirman Cárdenas *et al.* (1995), estos resultados permiten establecer una estrecha relación de largo plazo entre el crecimiento del producto y la inversión en infraestructura.

El cuadro 1 contiene una sucinta descripción de los trabajos más relevantes de la segunda generación, es decir, aquellos que han empleado funciones de costos para estimar los efectos de la inversión en infraestructuras sobre el desempeño del sector privado y concretamente sobre la industria manufacturera. El cuadro resume, asimismo, las características metodológicas y los principales resultados de dichos estudios.

Una importante categoría de comparación entre trabajos contenida en este cuadro es, sin duda, la referente a la relación mantenida entre los capitales público y privado y los factores variables.

En este sentido, en todos los trabajos en los que se estima el precio sombra del acervo de capital público, sus valores indican una positiva disposición implícita de los empresarios a pagar por infraestructuras. En todos los trabajos en los que se estima, también, el precio sombra del capital privado, los valores de este son superiores a los del precio sombra del capital público.

Cuadro 1. Resultados de los principales estudios sobre los efectos de la inversión en infraestructuras

Estudio	Características metodológicas	Precios sombra de acervos de capital	Sustituibilidad y complementariedad	Elasticidad de los costos o del producto
Jiménez y Sanaú (2011)	- Datos desagregados a nivel industrial. Colombia, 1990-2005. - Función de costos generalizada de Leontief. - Factores variables: trabajo, consumos intermedios. - Factores fijos: capital privado, capital público.	$Z_{KG} = 0,0134$ $Z_{KP} = 0,0309$	K_G : complementario de L y sustitutivo de M K_P : complementario de L y sustitutivo de M	$\epsilon_{CKG} = -0,1486$ $\epsilon_{CKP} = 0,460$ $\epsilon_{YKG} = 0,1084$ $\epsilon_{YKP} = 0,068$
Brox y Fader (2005)	- Datos agregados a nivel nacional e industrial. Canadá, 1961-1997. - Función de costos CES-translogarítmica. - Factores variables: trabajo, consumos intermedios, energía. - Factores fijos: capital privado, capital público.		K_G : sustitutivo de K_P , complementario de L , complementario de M y complementario de E K_P : sustitutivo de L , sustitutivo de M y sustitutivo de E	$\epsilon_{CKG} = -0,476$

(Continúa)

Cuadro 1. Resultados de los principales estudios sobre los efectos de la inversión en infraestructuras (continuación)

Estudio	Características metodológicas	Precios sombra de acervos de capital	Sustituibilidad y complementariedad	Elasticidad de los costos o del producto
Moreno, López-Bazo y Artís (2002)	- Datos desagregados a nivel industrial y regional. España, 1980-1991.	$Z_{KG} = 0,009$	K_G : sustitutivo de M y complementario de L	$\epsilon_{CKG} = -0,022$
	- Función de costos translogarítmica. - Factores variables: trabajo, consumos intermedios. - Factores fijos: capital privado, capital público.	$Z_{KP} = 0,029$	K_P : sustitutivo de M y complementario de L	$\epsilon_{CKP} = -0,016$
Avilés, Gómez y Sánchez (2001)	- Datos desagregados a nivel industrial. España, 1980-1991.	$Z_{KG} = 0,23$	K_G : sustitutivo de M y sustitutivo de L	$\epsilon_{YKG} = 0,24$
	- Función de costos translogarítmica. - Factores variables: trabajo, consumos intermedios. - Factores fijos: capital privado, capital público.	$Z_{KP} = 2,49$	K_P : sustitutivo de M y sustitutivo de L	$\epsilon_{YKP} = 0,29$
Boscá, Escribá y Dabán (1999)	- Datos desagregados a nivel regional. España, 1980-1993.	$Z_{KG} = 0,067$	K_G : sustitutivo de M y complementario de L	$\epsilon_{CKG} = -0,012$
	- Función de costos generalizada de Leontief. - Factores variables: trabajo, consumos intermedios. - Factores fijos: capital privado, capital público.	$Z_{KP} = 0,266$	K_P : sustitutivo de M y complementario de L	$\epsilon_{CKP} = -0,046$

(Continúa)

Cuadro 1. Resultados de los principales estudios sobre los efectos de la inversión en infraestructuras (continuación)

Estudio	Características metodológicas	Precios sombra de acervos de capital	Sustituibilidad y complementariedad	Elasticidad de los costos o del producto
Morrison y Schwartz (1996)	<ul style="list-style-type: none"> - Datos desagregados a nivel regional. EE. UU., 1970-1987. - Función de costos generalizada de Leontief. - Factores variables: trabajo en producción, trabajo no producción, energía. - Factores fijos: capital privado, capital público. 	$Z_{KG} = 0,170$ $Z_{KP} = 0,313$		
Seitz y Licht (1995)	<ul style="list-style-type: none"> - Datos desagregados a nivel regional. Alemania, 1970-1988. - Función de costos translogarítmica. - Factores variables: trabajo, capital privado (maquinaria), capital privado (edificios). - Factores fijos: capital público. 	$Z_{KG} > 0$	K_G : sustitutivo de L , complementario de K_{MAQ} y complementario de K_{EDIF} K_{MAQ} : sustitutivo de L K_{EDIF} : sustitutivo de L	$\varepsilon_{CKG} = -0,216$

(Continúa)

Cuadro 1. Resultados de los principales estudios sobre los efectos de la inversión en infraestructuras (continuación)

Estudio	Características metodológicas	Precios sombra de acervos de capital	Sustituibilidad y complementariedad	Elasticidad de los costos o del producto
Conrad y Seitz (1994)	- Datos agregados a nivel nacional para tres sectores: manufacturas, construcción, comercio y transporte. Alemania, 1961-1988. - Función de costos translogarítmica. - Factores variables: trabajo, consumos intermedios, capital privado. - Factores fijos: capital público.	$Z_{KG(Man)} = 0,056$ $Z_{KG(Con)} = 0,031$ $Z_{KG(CyT)} = 0,055$	$K_{G(Man)}$: sustitutivo de L , sustitutivo de M y complementario de K_p . $K_{G(Con)}$: sustitutivo de L , complementario de M y complementario de K_p . $K_{G(CyT)}$: sustitutivo de L , complementario de M y complementario de K_p .	
Nadiri y Mamuneas (1994)	- Datos desagregados a nivel industrial. EE. UU., 1956-1986. - Función de costos translogarítmica. - Factores variables: trabajo, consumos intermedios, capital privado. - Factores fijos: capital público (infraestructuras), capital público (I+D).	$Z_{KG} = 0,003$ $Z_{I+D} = 0,011$	K_G : sustitutivo de L , complementario de M y sustitutivo de K_p . K_{I+D} : complementario de L , sustitutivo de M y sustitutivo de K_p .	

(Continúa)

Cuadro 1. Resultados de los principales estudios sobre los efectos de la inversión en infraestructuras (continuación)

Estudio	Características metodológicas	Precios sombra de acervos de capital	Sustituibilidad y complementariedad	Elasticidad de los costos o del producto
Berndt y Hansson (1992)	- Datos agregados a nivel nacional e industrial. Suecia, 1960-1988. - Función de costos de Cobb-Douglas. - Factores variables: trabajo. - Factores fijos: capital privado, capital público.		K_G : complementario de L K_P : sustitutivo de L	$\epsilon_{CKG} < 0$
Lynde y Richmond (1992)	- Datos agregados a nivel nacional e industrial. EE. UU., 1958-1989. - Función de costos translogarítmica. - Factores variables: trabajo, capital privado. - Factores fijos: capital público.		Versión A: K_G : sustitutivo de L y complementario de K_P Versión B: K_G : sustitutivo de L y complementario de K_P	

Notas: K_G es el capital público, K_P el capital privado, M los consumos intermedios, L el trabajo, E la energía, Z_{KG} es el precio sombra del capital público, Z_{KP} el precio sombra del capital privado, ϵ_{CKG} la elasticidad de la función de costos respecto al capital público, ϵ_{CKP} la elasticidad de la función de costos respecto al capital privado, ϵ_{YKG} la elasticidad del producto respecto al capital público, ϵ_{YKP} la elasticidad del producto respecto al capital privado.

Fuente: elaboración propia.

Así, el capital público fue sustitutivo del factor trabajo en Conrad y Seitz (1994), Nadiri y Mamuneas (1994), Seitz y Licht (1995) y Avilés *et al.* (2001), mientras que una relación de complementariedad mostraron Boscá *et al.* (1999), Moreno *et al.* (2002), Brox y Fader (2005) y Jiménez y Sanaú (2011). En cuanto a la relación entre el capital público y los consumos intermedios, para Conrad y Seitz (1994), Nadiri y Mamuneas (1994) y Brox y Fader (2005) los resultados indicaron complementariedad, mientras que para Boscá *et al.* (1999), Avilés *et al.* (2001), Moreno *et al.* (2002) y Jiménez y Sanaú (2011), sustituibilidad.

Por su parte, el capital privado fue sustitutivo de los consumos intermedios en todos los estudios reseñados, en tanto que fue sustitutivo del factor trabajo en Berndt y Hansson (1992), Seitz y Licht (1995), Avilés *et al.* (2001) y Brox y Fader (2005). En contraste, en Boscá *et al.* (1999), Moreno *et al.* (2002) y Jiménez y Sanaú (2011) se halló una relación complementaria entre el capital privado y el factor trabajo. Las magnitudes de las elasticidades de los costos con respecto al capital público van desde las más altas ($-0,476$), obtenidas por Brox y Fader (2005) para la industria canadiense, hasta las más modestas ($-0,12$), halladas por Boscá *et al.* (1999) para la industria española, pasando por el $-0,149$ obtenido por Jiménez y Sanaú (2011) para la industria colombiana. La mayoría de estudios no presentan estimaciones de las elasticidades de los costos respecto a los capitales público y privado.

Tan solo los trabajos de Avilés *et al.* (2001) y Jiménez y Sanaú (2011) muestran un indicador muy habitual en los estudios que utilizan el enfoque de la función de producción ampliada. Se trata de la estimación de la elasticidad del producto con respecto al capital público. Debe reconocerse que las elasticidades del producto con respecto al capital público y al capital privado que obtuvieron estos autores mostraron valores muy similares a los de las aplicaciones empíricas que utilizaron el enfoque de la función de producción ampliada tipo Cobb-Douglas, tales como los trabajos reseñados.

Para finalizar, se resalta el hecho de que Avilés *et al.* (2001) y Moreno *et al.* (2002), en sendos trabajos aplicados a la industria manufacturera española, utilizando el mismo enfoque teórico (enfoque dual), la misma función de costos (translogarítmica), el mismo período de análisis (1980-1991), e incluyendo los mismos factores fijos (capital privado y capital público) y los mismos factores variables (trabajo y factores intermedios) dentro de la estructura de costos, obtuvieron resultados contradictorios en lo referente a la relación entre los factores fijos y los factores variables. En otras palabras, en Moreno *et al.* (2002) el capital público mostró una relación complementaria con el factor trabajo y sustitutiva con los factores intermedios, mientras que en Avilés *et al.* (2001) la relación entre el capital y ambos factores variables fue sustitutiva. De igual forma, el capital privado fue complementario del trabajo y sustitutivo de los factores intermedios en Moreno *et al.*, pero sustitutivo de ambos factores variables en Avilés *et al.*

II. Efectos del capital público en la productividad de la industria de Colombia

A. Modelo

El enfoque de la teoría de la dualidad que utiliza una función de costos para representar los rendimientos de la inversión en infraestructuras proporciona una perspectiva un tanto diferente de la acostumbrada con la estructura de la función de producción de la que numerosos trabajos dan cuenta. Según lo destacan Morrison y Schwartz (1996), una característica útil del enfoque de la función de costos es la representación que hace de la reacción conductual, así como de las relaciones tecnológicas, asumiendo que la minimización de costos es un supuesto apropiado. Otro aporte valioso de los modelos basados en la función de costos es que producen ecuaciones de demanda de factores con variables dependientes endógenas, en contraste con las ecuaciones de estimación derivadas al utilizar el enfoque de la función de producción (muy a menudo la función de producción en sí misma), donde los niveles de los factores son los argumentos de la función.

El punto de partida, siguiendo a Boscá *et al.* (1999) y Moreno *et al.* (2002), será una función de producción donde Y es el producto y X_i ($i = 1, \dots, s$) es el factor i -ésimo:

$$Y = (X_1, \dots, X_s). \quad (1)$$

Se supone que las empresas deben aceptar un vector de precios de los factores de producción, P_1, \dots, P_s , de manera que el problema de optimización radica en elegir la cantidad de factores que minimizan el costo de producir un nivel de producto dado, Y . Entonces, puede conseguirse un grupo de funciones de demanda para los factores privados:

$$X_i = (P_1, \dots, P_s, Y), \quad (2)$$

donde X_i es la cantidad óptima del factor i -ésimo. En este caso, el nivel de costos óptimo (C) produce una función de costos que es *dual* a la función de producción, siendo dependiente de los precios de los factores y del producto:

$$C = C(P_1, \dots, P_s, Y). \quad (3)$$

Por tanto, se asume que todos los factores de producción pueden ajustarse dentro de un período de tiempo, de manera que la empresa determina instantáneamente las demandas de factores a largo plazo. Existen razones que apuntan a que ciertos factores no se ajustan instantáneamente a sus valores de equilibrio de largo plazo. Entre otros motivos, pueden señalarse los controles de precios y regulaciones, los costos de inversión y desinversión y las restricciones institucionales que están más allá del control de una empresa individual en el corto plazo. De ahí que se distinga entre factores que están en equilibrio, los llamados factores variables, y aquellos que no lo están, los llamados factores fijos. A esta situación se le conoce como *equilibrio estático parcial*. La estructura adoptada aquí distingue entre factores variables y factores fijos. El objetivo de la empresa es minimizar el costo de los factores variables, condicionado al acervo dado de factores fijos.

Puesto que uno de los fines del trabajo empírico es obtener elasticidades del capital público, el enfoque parte de una función de producción ampliada con el capital público como un factor no remunerado, lo que debe tenerse en cuenta al obtener la correspondiente función de costos. Por tanto, la función de costos variables utilizada incluye el capital público como un factor fijo externo:

$$CV = CV(P_L, P_M, Y, K_p, K_G), \quad (4)$$

en la que se consideran dos factores privados variables, trabajo (L) y materiales intermedios (M), los cuales aparecen en la función de costos representados por sus precios, P_L y P_M , respectivamente; un factor fijo, capital privado, K_p ; el producto Y y el capital público K_G , que actúa como factor externo. En consecuencia, las infraestructuras públicas se consideran un factor fijo no remunerado en el proceso de producción y en el que las empresas apenas ejercen algún control.

La función de costos totales de corto plazo será la suma de los costos variables y del costo del capital privado existente:

$$C = CV(\cdot) + P_{KP} \cdot K_p, \quad (5)$$

donde P_{KP} es el precio del capital privado.

El efecto de corto plazo de la inversión en infraestructuras sobre el proceso de producción consiste en que las empresas ajustan sus decisiones sobre las cantidades de los diferentes factores privados variables usados en el proceso de producción, de acuerdo con sus relaciones de complementariedad o sustitución con las infraestructuras después de que estas hayan sido aumentadas o mejoradas, dada la cantidad existente de factores fijos como el capital privado.

Diferenciando la función de costos variables, $CV(\cdot)$, con respecto a K_G se obtiene el precio sombra, Z_{KG} , asociado con el capital público, que se define como:

$$Z_{KG} \equiv -\frac{\partial CV(\cdot)}{\partial K_G}. \quad (6a)$$

El mismo procedimiento puede seguirse en el caso del capital privado, K_p , y definir su precio sombra, Z_{KP} , como:

$$Z_{KP} \equiv -\frac{\partial CV(\cdot)}{\partial K_p}. \quad (6b)$$

Estos precios sombra muestran los beneficios marginales de las empresas ocasionados por un incremento en el acervo de capital tanto público como privado. Son una medida de la disposición implícita en el corto plazo de los empresarios privados a pagar por capital público o privado. Concretamente, se definen los precios sombra como la reducción en los costos variables debida a un incremento marginal en los acervos de capital público o privado. Mientras el valor del precio sombra sea positivo, las empresas se beneficiarán de contar con infraestructuras adicionales, ya que esto les permitirá lograr ahorros en los costos variables⁴.

⁴ En este caso solo es necesario que el precio sombra sea positivo, puesto que la estructura planteada aquí considera que las empresas no pagan por el capital público, ya que se asume que es un factor exógeno. Sin embargo, aunque las empresas no perciban de manera directa los costos ocasionados por la acumulación de este factor, ellas pagan por las infraestructuras indirectamente por vía de los impuestos. Como los impuestos no están directamente vinculados con los costos en los que incurre el Gobierno para incrementar el acervo de capital público, el precio de este puede considerarse cero para la empresa. Esta perspectiva es la habitual en trabajos precedentes y, por tanto, la que se adopta en este estudio.

Suponiendo que los precios de los factores variables sean exógenos al productor, puede aplicarse el lema de Shephard y obtener el vector de los diferentes factores variables que minimiza los costos, es decir, las demandas minimizadoras de costos⁵:

$$X_i = X_i(P_L, P_M, Y, K_P, K_G) = \frac{\partial CV}{\partial P_i} \quad i = L, M. \quad (7)$$

Las funciones de demanda condicionadas de factores que minimizan los costos pueden tomar la siguiente forma específica:

$$L(P_L, P_M, Y, K_G, K_P) = \frac{\partial CV(\cdot)}{\partial P_L}$$

$$M(P_L, P_M, Y, K_G, K_P) = \frac{\partial CV(\cdot)}{\partial P_M}. \quad (8)$$

A partir de las demandas condicionadas de factores es posible reescribir la función de costos variables como:

$$CV(P_L, P_M, Y, K_G, K_P) = P_L L(\cdot) + P_M M(\cdot). \quad (9)$$

La expresión (9) resulta útil para obtener las relaciones de complementariedad o sustitución entre el factor fijo considerado y cada uno de los factores variables. Haciendo uso de las definiciones en (6a) y (6b) se tiene que:

⁵ Como es sabido, el lema de Shephard se usa para generar funciones de demanda de factores minimizadoras de costos. De este modo, se obtienen tantas ecuaciones adicionales a la función de costos como factores productivos intervengan en el proceso de producción. La estimación del sistema formado por la función de costos y las funciones de demanda derivadas por factores permite obtener estimaciones más eficientes de los parámetros que las que se obtendrían si se estimara solo la función de costos, tal como lo señala McFadden (1978).

$$Z_{KG} \equiv -\frac{\partial CV}{\partial K_G} = -P_L \frac{\partial L(\cdot)}{\partial K_G} - P_M \frac{\partial M(\cdot)}{\partial K_G} = L_{KG} + M_{KG}$$

$$Z_{KP} \equiv -\frac{\partial CV}{\partial K_P} = -P_L \frac{\partial L(\cdot)}{K_P} - P_M \frac{\partial M(\cdot)}{\partial K_P} = L_{KP} + M_{KP}, \quad (10)$$

los cuales descomponen el efecto que tiene un incremento en K_G (K_P) sobre los costos en los efectos de ajuste sobre el trabajo y sobre los consumos intermedios. Si L_{KG} (M_{KG}) es menor que cero, el trabajo (los consumos intermedios) es (son) un factor complementario del capital público. Si L_{KG} (M_{KG}) es mayor que cero, el trabajo (los consumos intermedios) es (son) un factor sustitutivo del capital público. Las mismas conclusiones son aplicables para el caso del capital privado.

Además, se puede definir cada participación del factor (S_i), esto es, el porcentaje del costo supuesto por el factor i -ésimo:

$$S_i = \frac{P_i \cdot X_i}{CV} = \frac{\partial \ln CV}{\partial \ln P_i} = \frac{\partial CV}{\partial P_i} \frac{P_i}{CV} \quad i = L, M. \quad (11)$$

El conjunto de ecuaciones (4) y (11) constituye la solución a lo que puede ser definido como el equilibrio de corto plazo relacionado con los factores variables. También pueden usarse las funciones de demanda; alternativamente se hablaría del conjunto de ecuaciones (4) y (8).

Seguidamente, se van a definir algunas elasticidades de interés de la función de costos totales respecto al capital público y al capital privado. En primer lugar, dado el interés en evaluar el cambio en los costos totales de corto plazo ocasionado por un aumento marginal en el acervo de infraestructuras, es necesario calcular la elasticidad de los costos de corto plazo respecto al capital público:

$$\varepsilon_{CK_G} = \frac{\partial \ln C}{\partial \ln K_G} = \frac{\partial C}{\partial K_G} \frac{K_G}{C} = \frac{\partial CV}{\partial K_G} \frac{K_G}{C}. \quad (12)$$

A partir de (12) y (6a, 6b), puede obtenerse la elasticidad de los costos variables respecto al capital público:

$$Z_{K_G} \equiv -\frac{\partial CV}{\partial K_G} = -\varepsilon_{CVK_G} \left(\frac{CV}{K_G} \right), \quad (13)$$

de donde se obtiene que:

$$\varepsilon_{CVK_G} = \frac{\partial \ln CV}{\partial \ln K_G} = \frac{\partial CV}{\partial K_G} \frac{K_G}{CV}. \quad (14)$$

Dado que las empresas no pagan de manera directa por las infraestructuras, entonces puede afirmarse que $\varepsilon_{CK_G} = -Z_{K_G} \left(\frac{K_G}{C} \right)$, por lo que la única condición que debe satisfacerse para que la inversión en capital público genere un efecto positivo sobre la producción es que $Z_{K_G} > 0$. Si $Z_{K_G} > 0$, entonces $\varepsilon_{CK_G} < 0$. Esto ocurre en la medida en que el capital público tenga una relación de sustitución con los factores variables, es decir, mientras las infraestructuras públicas incrementen la eficiencia como resultado de la disminución en la utilización de factores variables y, con esto, de los costos variables.

Puede decirse que las empresas ajustarán sus decisiones de producción respecto a sus propios factores variables según la relación entre ellos y el capital público. Este efecto puede calcularse como la elasticidad (de corto plazo) de la demanda condicionada de factores variables a las infraestructuras:

$$\varepsilon_{X_i K_G} = \frac{\partial \ln X_i}{\partial \ln K_G} = \frac{\partial X_i}{\partial K_G} \frac{K_G}{X_i} \quad i = L, M. \quad (15)$$

En segundo lugar, si el acervo de capital privado no se encuentra en su nivel de equilibrio de largo plazo, los mismos efectos descritos para el capital público pueden obtenerse para el capital privado. Puede calcularse la elasticidad $\varepsilon_{X_i K_p}$, también como el precio sombra, Z_{K_p} , de la misma manera que para el capital público. En este caso, como las empresas pagan por el capital privado, la elasticidad costo incluye este efecto precio. Entonces:

$$\varepsilon_{CK_p} = \frac{\partial \ln C}{\partial \ln K_p} = (P_{K_p} - Z_{K_p}) \frac{K_p}{C}. \quad (16)$$

Cuando $K_p = K_p^*$, es porque $P_{K_p} = Z_{K_p}$, así $\varepsilon_{CK_p} = 0$. Sin embargo, fuera del equilibrio del estado estacionario, esto es, si las empresas no son capaces de ajustar K_p instantáneamente, entonces $\varepsilon_{CK_p} \neq 0$.

Se puede comprobar también que algunas de las variables definidas a partir de la función de costos están relacionadas con las habituales medidas de elasticidades de la función de producción. Como señalan Boscá *et al.* (1999), utilizando las expresiones derivadas anteriormente es posible relacionar las elasticidades producto con respecto a los acervos de capital con las participaciones sombra de estos factores en el costo total. Las elasticidades del producto respecto a los factores fijos se obtienen a partir de (6) y (11):

$$\begin{aligned} \varepsilon_{Y,K_G} &\equiv \frac{\partial \ln Y}{\partial \ln K_G} = \frac{\partial Y}{\partial K_G} \cdot \frac{K_G}{Y} = \frac{\partial Y}{\partial C} \cdot \frac{\partial C}{\partial K_G} \cdot \frac{K_G}{Y} = \\ &= \frac{1}{CMa} \cdot Z_{K_G} \cdot \frac{K_G}{Y} \equiv \frac{S_{K_G}^*}{\varepsilon_{C,Y}}, \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{Y,K_P} &\equiv \frac{\partial \ln Y}{\partial \ln K_P} = \frac{\partial Y}{\partial K_P} \cdot \frac{K_P}{Y} = \frac{\partial Y}{\partial C} \cdot \frac{\partial C}{\partial K_P} \cdot \frac{K_P}{Y} = \\ &= \frac{1}{CMa} \cdot Z_{K_P} \cdot \frac{K_P}{Y} \equiv \frac{S_{K_P}^*}{\varepsilon_{C,Y}}, \end{aligned} \quad (18)$$

donde

$$\varepsilon_{C,Y} \equiv \frac{\partial \ln C}{\partial \ln Y} = \frac{\partial C}{\partial Y} \cdot \frac{Y}{C} = \frac{CMa}{C/Y}, \quad (19)$$

lo que muestra que el cociente entre el costo marginal y el costo medio determina la elasticidad de los costos al producto a corto

plazo, $\varepsilon_{C, Y}$, que está relacionada con la elasticidad de los costos variables al producto, $\varepsilon_{CV, Y}$

B. Contratación empírica

Para la contratación empírica se han usado datos anuales sobre precios y cantidades de los factores y el producto de los diferentes sectores de la industria manufacturera colombiana para el período 1990-2005 (único período para el que hay información de todas las variables requeridas), compilados desde varias fuentes.

Los datos sobre producto, consumo de factores intermedios, número de trabajadores y salarios de los sectores industriales se tomaron de la Encuesta Anual Manufacturera (EAM), elaborada y publicada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Los datos de formación bruta de capital fijo así como los de inversión en infraestructuras, con los cuales se construyeron el acervo de capital privado y el acervo de capital público, se obtuvieron de las cuentas nacionales colombianas (DANE) y de la Dirección de Infraestructura y Energía Sostenible del Departamento Nacional de Planeación (DNP), respectivamente. Todos los datos en cantidades monetarias se expresan en precios constantes (pesos colombianos) de 1994, que es el anterior año base de las cuentas nacionales colombianas.

Para el período 1990-2000, los datos publicados originalmente, desagregados para veintinueve subsectores de la industria y, luego, con una nueva revisión a partir de 2001 (CIU rev. 3), para sesenta y siete clasificaciones industriales, se agruparon finalmente en doce grandes sectores, tal como se hizo en Nadiri y Mamuneas (1994) para la economía estadounidense o en Avilés *et al.* (2001) y Moreno *et al.* (2002) para la economía española. Esta clasificación industrial coincide, también, con la hecha, por ejemplo, por López-Pueyo, Sanaú y Barcenilla (2008), quienes abordaron un tema relacionado. En el anexo 1, el cuadro A1 describe la clasificación sectorial empleada.

En línea con la mayoría de los trabajos observados en la revisión de la literatura, la cantidad de producto para cada sector se mide por el valor de la producción bruta industrial, en este caso a precios constantes de 1994. El valor de la producción bruta se define como la suma del

valor agregado bruto (VAB) y los gastos en factores intermedios. La cantidad de factores intermedios, a su vez, se cuantifica como el valor de los consumos intermedios de las empresas (materiales, energía y servicios comprados). La medida de la cantidad del factor empleo es el número de empleados (obreros y administrativos) de cada sector. Acerca de este último, no se encontraron medidas alternativas, como por ejemplo, la cantidad de horas trabajadas.

Para todos los años, el índice de precios de los factores intermedios se obtuvo del índice de precios implícitos de la oferta y demanda totales de las cuentas nacionales colombianas, publicadas por el DANE. El precio del empleo es el salario por trabajador, tomado de la EAM del DANE. El salario por trabajador se calculó como la *ratio* entre salarios brutos y el número de empleados, dividido por el deflactor implícito de precios del PIB. El precio del capital privado, también conocido como tasa de alquiler del capital privado, se calculó, siguiendo a Moreno *et al.* (2002), como $P_{KP} = q(r + d)$, donde q es el índice de precios implícito de la formación bruta de capital fijo (FBCF) tomado de las cuentas nacionales del DANE, r es la tasa de interés activa bancaria tomada de las Estadísticas Históricas de Colombia del DNP y d es la tasa de depreciación del capital privado tomada de Mas, Pérez y Uriel (2005)⁶.

Tanto el capital privado como el capital público se midieron como el acervo de capital neto total al final del año y, dada la limitación surgida por la inexistencia para Colombia de valoraciones de dichos acervos de capital para esos años, en este trabajo se estimó cada uno de ellos.

En literatura más reciente, sin embargo, se está dando prelación a la estimación y utilización de los servicios del capital en vez del acervo neto de capital, tal como se asumió, por ejemplo, en OCDE (2001a, 2001b), Mas *et al.* (2005), Schreyer y Dupont (2006) y Sanaú (1997, 1998), entre otros.

⁶ Una fuente alternativa, en este caso, puede ser el empleo de datos del costo de uso del capital privado. En este estudio se probaron también los datos sobre el índice del costo de uso del capital provenientes de Botero, Ramírez y Palacio (2007), sin observar grandes diferencias en los resultados obtenidos comparados con los logrados al usar la tasa de alquiler del capital privado.

Schreyer y Dupont (2006) argumentan que es necesario distinguir entre dos dimensiones a la hora de intentar medir el capital. El acervo neto de capital y su evolución son útiles para medir el capital como almacenamiento de riqueza y, en cambio, el acervo productivo y su tasa de variación, es decir, el flujo de los servicios del capital, resultan apropiados para medir el capital como un factor de producción. Estos autores consideran que la cantidad de los servicios del capital constituye la medida conceptualmente correcta para el análisis de productividad y de producción, en vez del acervo neto de capital.

No obstante, en este trabajo no fue posible trabajar con cifras del flujo de servicios del capital, pues los requerimientos de datos estadísticos necesarios para la construcción y estimación de dichas series en Colombia superaban en gran medida la cantidad disponible de información estadística fiable.

Por tanto, dadas las restricciones de información, la opción más plausible fue la de estimar el acervo neto de capital y trabajar con dichas series. Así, la labor de estimación del acervo neto de capital, tanto privado como público, se llevó a cabo haciendo uso de una función que acumula la FBCF para el primero y la inversión en infraestructuras para el otro, y que descuenta una parte de las inversiones realizadas en el pasado debido a la depreciación que tiene lugar en esta clase de bienes. El método utilizado fue el del inventario perpetuo (MIP), que parte de un acervo inicial, le añade anualmente el gasto en inversión bruta y le deduce la depreciación imputable, mismo método utilizado muy recientemente, por ejemplo, en las estimaciones realizadas para la última actualización de la BD.MORES en base 2000⁷, así como en el Proyecto EU KLEMS para el caso de acervos tecnológicos⁸. También Cárdenas *et al.* (1995) utilizaron el método del inventario perpetuo para estimar los acervos de capital y, finalmente, Creel y Poilon (2008) en su interesante trabajo sobre la productividad del capital público en Europa emplearon en sus contrastaciones empíricas series del acervo

⁷ Véanse De Bustos, Cutanda, Díaz, Escribá, Murgui y Sanz (2008).

⁸ Véanse O'Mahony, Castaldi, Los, Bartelsman, Maimaiti y Peng (2008) para una descripción de las fuentes y métodos utilizados en la estimación de los acervos tecnológicos, publicada en www.euklems.net.

neto de capital público y del acervo neto de capital privado estimadas utilizando el método del inventario perpetuo⁹.

Para el caso de la estimación del acervo de capital público, se emplearon los datos anuales sobre inversión privada y pública en infraestructuras publicadas por el DNP¹⁰, y se procedió de igual forma que en el caso del acervo de capital privado, como se verá más adelante. Como es usual en la literatura empírica referente al tema, el acervo de capital público entra en el modelo con un retardo de un año, suponiendo que las infraestructuras construidas durante un año determinado empiezan a impactar consistentemente la actividad industrial a partir del año siguiente (Sanaú, 1997, 1998).

En concreto, la fórmula aplicada sigue la propuesta de Soete y Patel (1985), como $KG_t = \sum \theta_i \cdot INV_{t-i}$, donde KG_t es el acervo de capital en el período t ; θ_i se refiere a la estructura de retardos temporales con que se incorpora la inversión en capital (privada o pública) al acervo y también recoge la tasa de depreciación del capital físico, e INV_{t-1} es la FBCF (o inversión en infraestructuras) en el período anterior a t . En cuanto a la tasa de depreciación usada en la estimación de los dos tipos de acervos, se utilizaron las tasas anuales de consumo de capital fijo empleadas por Mas *et al.* (2005) para calcular los acervos de capital privado y público en España.

Así, siguiendo el método propuesto por Griliches (1979) y utilizado por buena parte de la literatura empírica, el acervo de capital inicial KG se calculó como:

$$\left. \begin{aligned} KG_{i,t+1} &= INV_{i,t+1-\theta} + (1-\delta)KG_{i,t} \\ KG_{i,t+1} &= (1+g_i) \cdot KG_{i,t} \end{aligned} \right\} INV_{i,t+1-\theta} + (1-\delta)KG_{i,t} =$$

$$(1+g_i) \cdot KG_{i,t} \Rightarrow INV_{i,t+1-\theta} = [1+g_i - (1-\delta)]KG_{i,t} ,$$

⁹ Creel y Pilon (2008) usaron los datos sobre capital público y capital privado de Kamps (2004). Este último realizó estimaciones para veintidós países de la OCDE del período 1960-2001 de series del *stock* neto de capital público y del *stock* neto de capital privado.

¹⁰ La inversión en infraestructuras públicas abarca cuatro categorías: infraestructuras de telecomunicaciones, de transporte, energéticas e hidráulicas.

de donde se obtiene $KG_{i,t} = \frac{INV_{i,t+1-\theta}}{g_i + \delta}$, siendo t el período inicial,

$KG_{i,t}$ el acervo inicial de capital, θ la estructura de retardos, el retardo medio entre la realización de la inversión y la derivación de sus efectos (reduciendo de esta forma posibles sesgos de simultaneidad), g_i la tasa media anual acumulativa de crecimiento de la formación bruta de capital fijo del sector i durante un período y δ la tasa de depreciación del acervo de capital del año anterior. En este caso la fórmula para el cálculo del acervo inicial, que correspondería al año 1990, para el sector i , sería la siguiente:

$$KG_{i,1990} = \frac{INV_{i,t+1-2}}{g_i + \delta} = \frac{INV_{i,1989}}{g_i + \delta}.$$

Para aproximar la variable capital privado se partió de las series que desagregan la FBCF en función de los activos fijos invertidos por cada una de las doce ramas de la manufactura consideradas (datos obtenidos de la EAM). Finalmente, con estas series expresadas en pesos colombianos de 1994, se aplicó el método del inventario perpetuo para obtener el acervo de capital privado de cada año en cada uno de los doce sectores de la industria. El resultado de este ejercicio y la base de datos utilizada para la contrastación empírica se recogen en el cuadro A2 del anexo 2. Además, en el anexo 3 se presentan unos estadísticos descriptivos básicos de estos datos.

El trabajo empírico realizado en este apartado, dedicado a probar el efecto de las dotaciones de capital público sobre los costos de fabricación de la industria manufacturera privada, está basado en una función de costos translogarítmica, una polinomial general de segundo grado en logaritmos, como la mostrada en la expresión (20) y muy similar a la desarrollada por Moreno *et al.* (2002), donde t es una tendencia temporal que resume el cambio tecnológico, como se aprecia, por ejemplo, en Morrison y Schwartz (1996).

Esta forma funcional permite la consideración de un amplio rango de posibilidades de sustitución y puede contemplarse dentro de cualquier

tecnología de producción sin la necesidad de imponer restricciones a priori sobre los rendimientos a escala.

La forma funcional translogarítmica, que se compone básicamente de dos ecuaciones, puede tomar la siguiente forma general incluyendo dos factores variables (empleo, L , y consumos intermedios, M) y dos fijos (capital privado, K_p , y capital público, K_G):

- Función de costos variables

$$\begin{aligned} \ln(CV/P_M) = & \beta_0 + \beta_L \ln \frac{P_L}{P_M} + \beta_Y \ln Y + \beta_{K_p} \ln K_p + \beta_{K_G} \ln K_G + \beta_T t \\ & + \frac{1}{2} \left[\beta_{LL} \ln^2 \frac{P_L}{P_M} + \beta_{YY} \ln^2 Y + \beta_{K_p K_p} \ln^2 K_p + \beta_{K_G K_G} \ln^2 K_G + \beta_{TT} t^2 \right] \\ & + \beta_{LY} \ln \frac{P_L}{P_M} \ln Y + \beta_{LK_p} \ln \frac{P_L}{P_M} \ln K_p + \beta_{LK_G} \ln \frac{P_L}{P_M} \ln K_G + \beta_{LT} \ln \frac{P_L}{P_M} t \\ & + \beta_{YK_p} \ln Y \ln K_p + \beta_{YK_G} \ln Y \ln K_G + \beta_{YT} \ln Y t + \beta_{K_p K_G} \ln K_p \ln K_G \\ & + \beta_{K_p T} \ln K_p t + \beta_{K_G T} \ln K_G t. \end{aligned} \quad (20)$$

P_L y P_M son los precios del factor trabajo y de los factores intermedios, respectivamente, y Y es el producto. El precio de los consumos intermedios se incluyó como un factor relativo para asegurar el cumplimiento de la condición de que la función de costos es homogénea de grado uno en los precios de los factores.

Para obtener las ecuaciones de participación de los factores variables en los costos variables es necesario aplicar el lema de Shephard. Dado que la suma de las participaciones de los factores es uno, solo una ecuación es independiente, por lo que la participación de los consumos intermedios se obtiene a partir de la participación del trabajo:

- Ecuaciones de participación de los factores variables

$$S_L = \frac{P_L \cdot L}{CV} = \frac{\partial \ln CV}{\partial \ln P_L} = \beta_L + \beta_{LL} \ln \frac{P_L}{P_M} \\ + \beta_{LY} \ln Y + \beta_{LK_P} \ln K_P + \beta_{LK_G} \ln K_G + \beta_{LT} t$$

$$S_M = 1 - S_L. \quad (21)$$

Así, el equilibrio de corto plazo sería el descrito por las ecuaciones (20) y (21).

Finalmente, es posible dar paso a la estimación de este sistema de dos ecuaciones, para el análisis de corto plazo, con el fin de obtener los parámetros relevantes de la función de costos, los que se usarán para calcular los precios sombra y las elasticidades que servirán para analizar los efectos de las infraestructuras y el capital privado. Esto se mostrará a continuación.

C. Resultados

Este modelo se incluyó dentro de un marco estocástico, al igual que el del apartado anterior, considerando que los términos de error añadidos a las ecuaciones de los modelos obedecen a errores de optimización. El modelo basado en la función de costos translogarítmica se estimó como un sistema de ecuaciones de regresión aparentemente no relacionadas (SURE), que le añadió estructura y robustez, así como un aumento de eficiencia, evidenciado en valores de los t -estadísticos más altos de los estimadores. Este método también permite imponer restricciones de igualdad entre parámetros a través de las ecuaciones, para ajustarlas a los modelos teóricos. Por tanto, las ecuaciones (20) y (21) se estimaron por el método SURE, utilizando el programa Stata.

En el cuadro 2 se presentan los resultados de la estimación, en donde se pueden apreciar los parámetros y los t -estadísticos obtenidos. Aunque, nuevamente, el signo y la magnitud de los coeficientes no

pueden interpretarse directamente, se observa que la mayoría de ellos son estadísticamente significativos a los niveles habituales.

Los valores de los parámetros se utilizaron para calcular los precios sombra y las elasticidades que reflejan los efectos de corto plazo del capital público y del capital privado sobre el desempeño económico de la industria manufacturera en Colombia. Estos indicadores se presentarán mediante tres promedios: sectoriales, temporales y globales.

Cuadro 2. Coeficientes estimados. Función de costos translogarítmica

Parámetro	Coefficiente	t-estadístico	Parámetro	Coefficiente	t-estadístico
β_L	0,000049	0,03	β_{LY}	-0,055818	-13,64
β_Y	-10,612800	-3,81	β_{LKP}	0,040955	10,57
β_{KP}	8,683992	3,20	β_{LKG}	0,030712	7,23
β_{KG}	26,865110	1,11	β_{LT}	-0,015165	-17,32
β_T	-2,957329	-1,20	β_{YKP}	-0,238457	-3,56
β_{LL}	-0,080911	-14,85	β_{YKG}	0,621945	3,65
β_{YY}	0,347599	5,07	β_{YT}	-0,064577	-3,71
β_{KPKP}	0,215252	3,25	β_{KPKG}	-0,515746	-3,12
β_{KGGG}	-1,761365	-1,18	β_{KPT}	0,050249	2,96
β_{TT}	-0,009700	-0,62	β_{KGT}	0,184284	1,21

Función de costos variables: $R^2 = 0,9975$.

Función de participación del empleo: $R^2 = 0,7673$.

Nota: Período muestral 1990-2005. Doce sectores de la industria. Número de observaciones: 192.

Fuente: elaboración propia.

Los cuadros 3 y 4 resumen los efectos de corto plazo más importantes de la inversión en capital público y capital privado, evaluados mediante la forma funcional de costos translogarítmica. Los cuadros 3(a) y 3(b) reportan las magnitudes referidas a los valores sombra de los dos tipos de capital y las relaciones sustitutivas o complementarias existentes entre cada uno de los capitales y cada uno de los factores variables, mientras que los cuadros 4(a) y 4(b) muestran los resultados referentes a las elasticidades del producto con respecto a los capitales público y privado, así como las elasticidades de los costos con respecto a los mismos dos capitales. Todas estas magnitudes se calcularon para cada una de las doce agrupaciones industriales como los valores medios para el período 1990-2005 de la correspondiente magnitud sectorial. También se calcularon para cada uno de los

dieciséis años del período estudiado como los valores medios para el conjunto de los doce sectores de la industria.

En las dos primeras columnas de los cuadros 3(a) y 3(b) se muestran los precios sombra del capital público y del capital privado, respectivamente. El cuadro 3(a) sintetiza los resultados de una forma que permite mostrar los promedios de los dieciséis años de la muestra para cada uno de los sectores industriales, mientras que el cuadro 3(b) presenta los promedios de los doce sectores para cada uno de los años estudiados.

Cuadro 3(a). Precios sombra y relaciones de sustituibilidad y complementariedad. Función de costos translogarítmica. Promedios sectoriales

	Z_{KG}	Z_{KP}	ϵ_{LKG}	ϵ_{MKG}	ϵ_{LKP}	ϵ_{MKP}
Alimentos	0,2320	0,2955	0,1292	-0,5124	-1,4343	-1,4695
Textiles	0,1098	0,1114	-0,0656	-0,3668	-1,8976	-1,9396
Madera	0,0140	0,1168	-0,0593	-0,3451	-2,0710	-2,1137
Papel	0,0763	0,0950	0,0260	-0,3471	-1,8947	-1,9339
Petroquímica	0,0725	0,1215	1,0850	-0,3337	-1,8385	-1,8718
Química	0,1052	0,1860	-0,0048	-0,4405	-1,6017	-1,6395
Caucho-plástico	0,0539	0,0960	0,0353	-0,3401	-1,9508	-1,9899
No metálicos	0,0539	0,0220	0,0977	-0,2284	-2,2104	-2,2512
Metálicos	0,0794	0,0831	0,0772	-0,3250	-1,9718	-2,0107
Maquinaria	0,0162	0,2841	-0,1678	-0,4723	-1,7136	-1,7555
Electrónica	0,0282	0,0817	0,0091	-0,3145	-2,0451	-2,0861
Transporte	0,0393	0,5909	0,1174	-0,5350	-1,4636	-1,4988
Promedio global	0,0734	0,1737	0,1066	-0,3801	-1,8411	-1,8800

Nota: Z_{KG} es el precio sombra del capital público, Z_{KP} el precio sombra del capital privado, ϵ_{LKG} el efecto directo del capital público sobre el empleo, ϵ_{MKG} el efecto directo del capital público sobre los factores intermedios, ϵ_{LKP} el efecto directo del capital privado sobre el empleo y ϵ_{MKP} el efecto directo del capital privado sobre los factores intermedios.

Fuente: elaboración propia.

Como puede verse, el precio sombra del capital público, Z_{KG} , es positivo en todos los sectores industriales estudiados y para todos los años de la muestra, con un valor promedio de 0,0734. Esta disposición implícita del sector privado industrial a pagar por unidades adicionales de capital público en el corto plazo en todas las industrias y durante todo el período de estudio implica una sustitución neta entre el capital público y los dos factores variables. El valor positivo del precio sombra puede

interpretarse como que la inversión adicional de un peso colombiano en infraestructuras genera un ahorro en los costos variables de las empresas de aproximadamente 7,34 centavos.

El comportamiento de los valores sombra del capital público por industrias, por su parte, exhibe un patrón bastante irregular, aunque siempre con magnitudes positivas. Alimentos, bebidas y tabaco; textiles, prendas de vestir, cuero y calzado; sustancias químicas y otros productos químicos; y metales comunes y productos metálicos básicos fueron industrias que sobresalieron, en este orden, por registrar las mayores contribuciones marginales del capital público a la reducción de los costos variables. Sin embargo, algunas industrias registraron valores de este precio sombra muy inferiores a la media, como fue el caso de productos de madera, corcho y accesorios derivados; maquinaria de uso general; y maquinaria y equipo eléctrico, electrónico y científico.

La considerable variación en el valor de los precios sombra, confirma la necesidad de llevar a cabo este tipo de análisis a un nivel desagregado de la industria manufacturera, pues no todos los sectores se benefician en la misma medida de las inversiones en infraestructuras públicas.

Llevando el análisis durante el período 1990-2005, puede destacarse el patrón ascendente del precio sombra del capital público. El valor de 2005 es el triple del registrado en 1992. Estos resultados implican que, conforme transcurre el tiempo, se hace más latente la necesidad de mayores inversiones en infraestructuras públicas, pues con el paso de los años crece la disposición de los industriales a pagar por estas así como el ahorro de costos variables.

Por su parte, los valores del precio sombra del capital privado, Z_{KP} , reportan mayor variación entre sectores y a lo largo de los años que el del capital público. También su valor promedio global es bastante más alto que el del capital público y llega a ser más del doble. Sin embargo, son muy similares en la tendencia creciente que presenta tanto el uno como el otro, si bien es más aguda la del precio sombra del capital privado.

En cuanto a los valores promedio de Z_{KP} por sectores, pueden destacarse cuatro industrias por experimentar las mayores contribuciones marginales del capital privado a la reducción de los costos variables: equipo de transporte; alimentos, bebidas y tabaco; maquinaria de uso general; y sustancias químicas y otros productos químicos. Las tres primeras presentan cifras bastante elevadas, lo que indica que el acervo de capital privado con que cuentan está muy por debajo de su nivel óptimo y que se beneficiarían de nuevas inversiones en capital fijo. En el otro extremo y con el registro más bajo de precios sombra aparecen los sectores: papel, cartón e impresos; productos minerales no metálicos; metales comunes y productos metálicos básicos; y maquinaria y equipo eléctrico, electrónico y científico.

Cuadro 3(b). Precios sombra y relaciones de sustituibilidad y complementariedad. Función de costos translogarítmica. Promedios temporales

	Z_{KG}	Z_{KP}	ε_{LKG}	ε_{MKG}	ε_{LKP}	ε_{MKP}
1990	-0,0024	0,0152	0,5119	-0,0041	0,1792	-0,2078
1991	0,0121	0,0229	0,4740	-0,0224	0,0387	-0,3336
1992	0,0331	0,0463	0,3226	-0,0680	-0,2537	-0,5466
1993	0,0583	0,0787	0,2762	-0,1156	-0,5285	-0,8224
1994	0,0715	0,0910	0,2131	-0,1626	-0,8318	-1,1135
1995	0,0824	0,1095	0,1669	-0,2258	-1,0718	-1,3663
1996	0,0880	0,1226	0,1007	-0,2883	-1,3999	-1,6916
1997	0,0917	0,1517	0,0353	-0,3679	-1,7047	-2,0071
1998	0,0900	0,1585	-0,0470	-0,4246	-2,0472	-2,3305
1999	0,0818	0,1331	-0,0364	-0,4398	-2,2888	-2,5913
2000	0,0890	0,2080	-0,0235	-0,5459	-2,2576	-2,6494
2001	0,0908	0,2618	-0,0797	-0,6019	-2,3437	-2,7353
2002	0,0909	0,2891	-0,1079	-0,6475	-2,4672	-2,8719
2003	0,0961	0,3231	-0,0574	-0,6940	-2,4221	-2,8995
2004	0,0998	0,3795	-0,0282	-0,7301	-2,3938	-2,9201
2005	0,1010	0,3876	-0,0150	-0,7425	-2,4480	-2,9935
Promedio global	0,0734	0,1737	0,1066	-0,3801	-1,5151	-1,8800

Nota: Z_{KG} es el precio sombra del capital público, Z_{KP} el precio sombra del capital privado, L_{KG} el efecto directo del capital público sobre el empleo, M_{KG} el efecto directo del capital público sobre los factores intermedios, L_{KP} el efecto directo del capital privado sobre el empleo y M_{KP} el efecto directo del capital privado sobre los factores intermedios.

Fuente: elaboración propia.

La desagregación del valor de Z_{KP} entre las relaciones de sustitución y complementariedad entre los dos capitales y los dos factores variables permite vislumbrar de una mejor forma este comportamiento.

En este sentido, los cuadros 3(a) y 3(b) también muestran las relaciones que mantienen el capital público y el capital privado con cada uno de los factores variables. El acervo de capital privado mostró, en promedio, una relación de sustitución tanto con el factor trabajo como con los consumos intermedios. Las magnitudes de ambas elasticidades de sustitución fueron muy similares y mayores que la unidad, lo que indica que los dos factores variables fueron muy elásticos a los aumentos en el acervo de capital privado durante el período estudiado.

Los sectores que registraron mayores elasticidades de sustitución del trabajo con respecto al acervo de capital privado fueron precisamente los que presentaron las mayores elasticidades de sustitución de los factores intermedios con respecto al acervo de capital privado. Lo mismo ocurrió en el caso de los sectores que registraron los valores más bajos de las elasticidades. Las industrias con la mayor elasticidad de sustitución fueron: productos de madera, corcho y accesorios derivados; productos minerales no metálicos; y maquinaria y equipo eléctrico, electrónico y científico. Y las de menores elasticidades fueron: alimentos, bebidas y tabaco; sustancias químicas y otros productos químicos; y equipo de transporte.

En cuanto a lo ocurrido entre el capital público y los dos factores variables, los resultados promedio muestran que el capital público sostuvo una relación de sustitución con los factores intermedios y una relación de complementariedad con el factor trabajo. No obstante, cuatro sectores (textiles, prendas de vestir, cuero y calzado; productos de madera, corcho y accesorios derivados; sustancias químicas y otros productos químicos; y maquinaria de uso general) presentaron una relación sustitutiva entre capital público y empleo. En cambio, en todos los sectores la relación entre el capital público y los factores intermedios fue complementaria. En general, la fuerza de la relación sustitutiva en favor de los consumos intermedios resultó bastante mayor (-0,3801) que la de la relación complementaria en favor del empleo (0,1066), lo que debe reflejarse en una relación sustitutiva neta entre el capital público y los factores variables o un ahorro de costos variables,

es decir, lo mostrado por la magnitud y el signo del precio sombra del capital público en la primera columna de los cuadros 3(a) y 3(b).

Trasladar los precios sombra a las elasticidades sombra de los costos con respecto a los capitales público y privado, así como a las elasticidades del producto con respecto a esos dos acervos de capital, ofrece una visión aumentada de los efectos de las inversiones en activos fijos privados y públicos sobre la evolución de los diferentes sectores de la industria manufacturera. En el cuadro 4(a) se presentan medidas de estas dos elasticidades que servirán para complementar el análisis.

Las dos primeras columnas del cuadro 4(a) muestran las elasticidades por sectores de la producción del producto con respecto al capital público y al capital privado, respectivamente. La elasticidad promedio del producto con respecto al capital público resulta mayor que la unidad (1,2346), lo que supone una cifra bastante alta. En general, este resultado indica que la expansión del producto requiere un incremento menos que proporcional en el acervo de capital público, lo que le otorgaría un papel crucial en la determinación del crecimiento del producto industrial y de la economía en su conjunto.

Cuadro 4(a). Elasticidades del producto y de los costos respecto a los dos capitales. Función de costos translogarítmica. Promedios sectoriales

	ε_{YKG}	ε_{YKP}	ε_{CKG}	ε_{CKP}
Alimentos	0,7548	0,2595	-0,7137	0,1511
Textiles	1,2185	0,1853	-0,7615	0,4291
Madera	1,5749	0,1880	-0,9137	0,3907
Papel	1,2536	0,1834	-0,7730	0,4140
Petroquímica	1,2719	0,1506	-0,8848	0,3538
Química	0,9365	0,2322	-0,7397	0,2723
Caucho-plástico	1,3323	0,1834	-0,8356	0,3958
No metálicos	1,6847	0,0917	-0,5462	0,6793
Metálicos	1,3417	0,1668	-0,7661	0,4565
Maquinaria	1,1034	0,2766	-0,8963	0,1672
Electrónica	1,4964	0,1739	-0,7928	0,4616
Transporte	0,8462	0,2886	-0,9509	-0,0328
Promedio global	1,2346	0,1983	-0,7979	0,3449

Nota: ε_{YKG} es la elasticidad del producto con respecto al capital público, ε_{YKP} la elasticidad del producto respecto al capital privado, ε_{CKG} la elasticidad de los costos respecto al capital público y ε_{CKP} la elasticidad de los costos respecto al capital privado.

Fuente: elaboración propia.

Por su parte, las variaciones entre sectores también están presentes en términos de ε_{YKG} . Los sectores que percibieron el mayor efecto productividad desde el acervo de capital público, con valores por encima de la media, fueron: productos de madera, corcho y accesorios derivados; productos de caucho y de plástico; productos minerales no metálicos; metales comunes y productos metálicos básicos; y maquinaria y equipo eléctrico, electrónico y científico.

En el caso de la elasticidad del producto con respecto al capital privado, puede apreciarse que, en cuanto a su promedio global, su magnitud es positiva, pero inferior a la elasticidad del producto con respecto al capital público. Sin embargo, el valor de dicha elasticidad (0,198) demuestra un importante efecto productividad por parte del capital privado en la industria manufacturera colombiana. Además, como cabría esperar, las variaciones de ε_{YKP} entre industrias también son importantes y se destacan las mayores elasticidades en los sectores de alimentos, bebidas y tabaco; sustancias químicas y otros productos químicos; maquinaria de uso general; y equipo de transporte.

Si se observa en el cuadro 4(b), donde se presentan los resultados promedio de la industria manufacturera para cada uno de los dieciséis años estudiados, se concluye que la elasticidad del producto con respecto al capital privado sigue el mismo patrón que su precio sombra, es decir, aumenta de forma ininterrumpida durante todo el período. A su vez, la elasticidad del producto respecto al capital público también mantiene una tendencia creciente a lo largo de los años, aunque se ralentizó un poco entre 2002 y 2005¹¹. Estos hechos apuntan a que la industria manufacturera colombiana sufrió durante la década de los noventa y hasta mediados de la siguiente cierta descapitalización. En otras palabras, las cantidades de capital privado y de capital público fueron inferiores a las que habrían sido necesarias para obtener mejores resultados en cuanto a la optimización de la producción agregada.

En términos generales, los resultados promedio indican que la productividad marginal de los dos tipos de capital es positiva, por lo que el

¹¹ Es importante destacar que la elasticidad del ingreso con respecto a los factores considerados no es constante, en línea con la literatura teórica acerca de las innovaciones sesgadas, que sostiene que con el crecimiento y la acumulación de capital la participación de los factores reproducibles puede crecer.

crecimiento del producto debería motivar incrementos adicionales en ambos acervos de capital y más aún en infraestructuras públicas que, según este modelo basado en la función de costos translogarítmica, presentan un precio sombra y unas elasticidades elevadas, si bien la elasticidad del producto con respecto al capital público resultó mayor que la elasticidad del producto con respecto al capital privado.

Las últimas dos columnas de los cuadros 4(a) y 4(b) muestran los valores obtenidos para las elasticidades de los costos con respecto al capital público y al capital privado, otro de los importantes resultados que se obtienen mediante la aplicación del enfoque dual.

Cuadro 4(b). Elasticidades del producto y de los costos respecto a los dos capitales. Función de costos translogarítmica. Promedios temporales

	ε_{YKG}	ε_{YKP}	ε_{CKG}	ε_{CKP}
1990	0,1872	-0,0656	-0,1042	0,2665
1991	0,3104	-0,0439	-0,1822	0,3030
1992	0,4934	0,0073	-0,3393	0,2710
1993	0,6893	0,0521	-0,4931	0,2892
1994	0,8672	0,0924	-0,5760	0,3694
1995	0,9911	0,1404	-0,6197	0,4241
1996	1,1402	0,1811	-0,6860	0,4637
1997	1,2562	0,2253	-0,8108	0,4343
1998	1,3736	0,2539	-0,7122	0,5529
1999	1,4768	0,2626	-0,8097	0,5433
2000	1,4477	0,3067	-1,0977	0,3526
2001	1,4556	0,3267	-1,1109	0,3376
2002	1,4863	0,3425	-1,2742	0,2599
2003	1,4737	0,3567	-1,3148	0,2239
2004	1,4614	0,3663	-1,3002	0,2177
2005	1,4753	0,3690	-1,3348	0,2090
Promedio global	1,2346	0,1983	-0,7979	0,3449

Nota: ε_{YKG} es la elasticidad del producto con respecto al capital público, ε_{YKP} la elasticidad del producto respecto al capital privado, ε_{CKG} la elasticidad de los costos respecto al capital público y ε_{CKP} la elasticidad de los costos respecto al capital privado.

Fuente: elaboración propia.

En primer lugar, puede observarse que la elasticidad de los costos con respecto al capital privado, ε_{CKP} (donde influye el costo de uso de este), presentó signo positivo, lo que indica un aumento de los costos totales de corto plazo ocasionado por un incremento del acervo de capital

privado de la industria manufacturera. Esto pudo presentarse porque la disminución en los costos variables causada por la inversión en capital privado se contrarrestó por el incremento en los costos totales de corto plazo ocasionado por los pagos que deben hacer las empresas por unidades adicionales de este capital. Dicho comportamiento puede explicarse a la luz del alto valor del costo de uso del capital privado en todo el período de estudio, mayor que el precio sombra de cada uno de los doce sectores y para todos los años.

La principal causa del elevado costo de uso del capital privado fue, sin duda, una de las variables clave usada en su cálculo, como lo es la tasa de interés y su extraordinario nivel alcanzado durante toda la década de los noventa, pero principalmente entre 1994 y 1998 (véanse Botero, Ramírez y Palacio, 2007)¹². La evidente aversión a la inversión privada pudo ser causada en parte por este hecho.

Aparte de la inseguridad causada por los fenómenos de la guerrilla, los paramilitares y los carteles de las drogas que, como afirma Cárdenas (2007), causaron efectos negativos sobre la productividad y el crecimiento económico del país en esos años, el factor que determinó la aversión por parte de las empresas a invertir al ritmo que hubiera sido óptimo fue el alto nivel de las tasas de interés que soportó la economía colombiana en los años noventa. Dados los resultados de Botero *et al.* (2007), quienes encontraron que el efecto de la tasa de interés real fue el más importante de los factores en la explicación del descenso del costo de uso del capital privado, y que la caída de las tasas de interés fue el principal determinante del aumento de la inversión en activos fijos acaecida en el país entre 2001 y 2007, puede afirmarse que el fenómeno de las altas tasas de interés reales fue uno de los factores que llevó a la desaceleración y posterior recesión de la economía colombiana entre finales de 1998 y comienzos de 2000.

¹² Un ejercicio de simulación donde se tomaron en cuenta unas tasas de interés similares a las de algunos países europeos en esos años reportó resultados más acordes con los valores esperados, es decir, los precios sombra del capital privado para todos los doce sectores llegaron a ser superiores al costo de uso de este (diferente a lo experimentado aquí) y, por supuesto, la elasticidad de los costos totales con respecto al capital privado también fue negativa.

Una política monetaria menos restrictiva habría posibilitado un mayor nivel de inversión privada que, dados los resultados de este trabajo, habría aumentado el crecimiento de la productividad y, puesto que la relación observada entre el capital privado y el empleo fue complementaria, habría generado empleos con los cuales mitigar la recesión o quizá evitarla.

En lo referente a la elasticidad de los costos con respecto al capital público, esta registró un alto valor y su signo estuvo acorde con lo esperado (negativo en todos los sectores), y se destacan como ramas que experimentaron una mayor reducción en sus costos totales de corto plazo como consecuencia del aumento del acervo de capital público: productos de madera, corcho y accesorios derivados; petróleo refinado, combustibles y derivados; productos de caucho y de plástico; maquinaria de uso general; y equipo de transporte.

En promedio, la industria manufacturera colombiana exhibió una ε_{CKG} de $-0,7979$, lo que indica que un aumento del 1% en el acervo de infraestructuras públicas reduciría los costos totales de las empresas manufactureras en 0,8% aproximadamente. A primera vista parece un resultado algo elevado, si bien puede decirse, sin mucho temor a incurrir en equivocaciones, que el acervo de capital público de Colombia, al igual que el de la mayoría de países en vías de desarrollo del mundo, se encuentra por debajo de su nivel óptimo, y que, por tanto, puede ser social y económicamente eficiente aumentarlo, en especial en regiones en donde se concentran empresas pertenecientes a agrupaciones industriales tales como: productos de madera, corcho y accesorios derivados; petróleo refinado, combustibles y derivados; productos de caucho y de plástico; maquinaria de uso general; y equipo de transporte.

Recapitulando, el modelo evaluado bajo la estructura de la función de costos translogarítmica otorgó a la inversión en capital público, en términos generales, un efecto productividad (ε_{YKG}) y un efecto ahorro de costos (ε_{CKG}) mayores que los obtenidos para la inversión en capital privado. También puede afirmarse que, en términos globales, el capital privado actuó como sustitutivo tanto del trabajo como de los factores intermedios, mientras que el capital público fue sustitutivo de los consumos de materiales intermedios, pero fue complementario del factor trabajo. Todas estas medidas, sin embargo, presentaron una

considerable variación entre agrupaciones industriales, y se destacan como sectores que percibieron mayor impacto positivo del capital público: productos de madera, corcho y accesorios derivados; petróleo refinado, combustibles y derivados; productos de caucho y de plástico; maquinaria de uso general; y equipo de transporte. Por su parte, los que más se beneficiaron de las inversiones en capital privado fueron: alimentos, bebidas y tabaco; sustancias químicas y otros productos químicos; maquinaria de uso general; y equipo de transporte.

Comparando algunos de los resultados de este trabajo con los obtenidos, por ejemplo, por Moreno *et al.* (2002) y Avilés *et al.* (2001) para la industria española en el período 1980-1991, que estimaron una función de costos translogarítmica muy similar, pueden resaltarse algunos aspectos. En cuanto al capital público, este se mostró como un sustituto de los factores intermedios tanto en aquellos autores como en el presente trabajo. Por su parte, la relación entre este capital y el empleo fue complementaria en Moreno *et al.* (2002) y en esta investigación, pero sustitutiva en Avilés *et al.* (2001). Asimismo, el capital privado mantuvo una relación sustitutiva con el consumo de factores intermedios en los tres trabajos mencionados, mientras que con el factor trabajo la relación fue complementaria en Moreno *et al.* (2002), así como lo mostrado en este apartado para el presente estudio, pero sustitutiva en Avilés *et al.* (2001). En términos generales, tomando en cuenta las diferencias entre los dos países, los resultados del presente trabajo son muy similares a los obtenidos para España por Moreno *et al.* (2002).

Aunque las metodologías sean diferentes, en este punto resulta prudente comparar los resultados de trabajos previos para Colombia que utilizan funciones de producción con los resultados del presente trabajo al emplear funciones duales de costos. En este sentido, los resultados de Cárdenas *et al.* (1995) a nivel nacional indicaron una elasticidad del producto respecto al capital público de 0,127. Para el caso de los sectores industriales, sin embargo, esta elasticidad fue mayor y alcanzó un valor de 0,5. Entre tanto, los resultados de Sánchez (1993) fueron de mayor magnitud, pues a nivel nacional la elasticidad de la productividad industrial respecto al capital público total fue 1,1, respecto a la infraestructura núcleo fue 0,50 y respecto a la infraestructura pública total fue 0,38.

Por su parte, los resultados mostrados en este trabajo a nivel nacional en promedio para las doce agrupaciones industriales consideradas son muy similares a los de Sánchez (1993) y algo mayores que los de Cárdenas *et al.* (1995), pues la elasticidad de la producción industrial respecto a las infraestructuras públicas fue 1,2. No obstante la ausencia de mediciones al respecto en Cárdenas *et al.* (1995) y Sánchez (1993), atributo exclusivo de la aplicación del enfoque dual, la elasticidad de los costos totales respecto al capital público fue en promedio $-0,798$, para todos los sectores industriales, y el precio sombra del capital público (ahorro en los costos variables por unidad de capital público invertida) fue $0,0734$. En fin, tanto unos resultados como los otros parecen dejar claro el impacto positivo que causan las mayores y mejores infraestructuras públicas en la productividad industrial y, en general, en la actividad económica privada de los diferentes países, en particular, de Colombia.

III. Conclusiones

La literatura empírica existente sobre la relación entre las infraestructuras públicas y el aumento en la productividad de la industria manufacturera se ha centrado principalmente en dos enfoques metodológicos: el uso de funciones de producción y el uso de funciones duales de costos. Suele indicarse que las funciones de producción utilizan supuestos muy restrictivos como la imposición de la tecnología (por lo general, la función de Cobb-Douglas), la no consideración de los precios de los factores privados, los cuales pueden afectar la intensidad de su uso, la imposición de rendimientos constantes, el ajuste instantáneo y, por ende, la no distinción entre corto y largo plazo, entre otros. A su vez, su estimación puede acarrear problemas por la más que probable multicolinealidad entre los factores de producción.

El enfoque dual basado en la función de costos, en cambio, aproxima de forma más integral los determinantes que actúan sobre el comportamiento de la empresa optimizadora. Esta metodología también permite examinar las relaciones de complementariedad o sustitución entre los factores privados y públicos, así como el efecto marginal del capital público sobre la estructura de costos de las empresas. Dentro de esta corriente metodológica también se pueden identificar

dos vertientes predominantes: los trabajos que emplean una función de costos generalizada de Leontief y los que usan una función de costos translogarítmica.

El modelo evaluado bajo la estructura de la función de costos translogarítmica le concedió a la inversión en capital público, en promedio, unos efectos productividad y de ahorro de costos mayores que los obtenidos para la inversión en capital privado. No obstante, las magnitudes positivas de los precios sombra fueron mayores para este último. También puede notarse que el capital privado se presentó como sustitutivo tanto del factor trabajo como de los factores intermedios, mientras que el capital público se comportó como sustitutivo de los consumos de materiales intermedios y complementario del factor trabajo.

La variabilidad entre industrias también fue notoria dentro de la estimación de la función de costos translogarítmica. En lo referente a las contribuciones marginales a la reducción de los costos variables (precios sombra), entre los sectores que registraron el mayor impacto positivo de las inversiones en capital público pueden destacarse: alimentos, bebidas y tabaco; textiles, prendas de vestir, cuero y calzado; sustancias químicas y otros productos químicos; y metales comunes y productos metálicos básicos; y los que más se beneficiaron de las inversiones en capital privado fueron los sectores de alimentos, bebidas y tabaco; sustancias químicas y otros productos químicos; maquinaria de uso general; y equipo de transporte.

En cuanto a la evolución en el tiempo, los efectos positivos del aumento de los capitales privado y público sobre la industria manufacturera crecieron en magnitud durante todo el período.

En consecuencia, la inversión en maquinaria, equipo y edificios generó reducciones marginales en los costos variables de la industria manufacturera de Colombia, lo que permitió aumentos en la productividad de los diferentes sectores de la manufactura que, a la postre, se reflejaron en un mayor crecimiento del PIB industrial y del PIB total

Los resultados de la estimación establecieron que la relación entre el capital privado y el factor trabajo fue complementaria, mientras que

entre este y los factores intermedios fue sustitutiva. No obstante, si se tiene en cuenta que la tendencia de la magnitud del precio sombra del capital privado observada durante el período fue creciente, puede concluirse que hubo una notable escasez de inversión en capital privado que, al igual que en el caso del capital público, redujo el potencial de crecimiento y generación de empleo de la industria y la economía colombiana desde mediados de los años noventa y pudo haber demorado la recuperación tras la crisis.

En definitiva, puede concluirse que mayores niveles de inversión en capital público y en capital privado fueron requeridos por la industria manufacturera colombiana para optimizar la producción entre 1990 y 2005. Sin embargo, dada la tendencia creciente de las contribuciones marginales de los capitales público y privado a la reducción de los costos durante esos años, debe entenderse que la escasez de estos dos tipos de activos persiste en la actualidad y que las anteriores recomendaciones tienen vigencia de cara a la actual época, en la que la mayoría de las economías del mundo, incluida la colombiana, no terminan de apuntalar la recuperación de la crisis.

Finalmente, cabe señalar que esta es una de las primeras aproximaciones para investigar la relación entre infraestructuras públicas y productividad de la industria manufacturera en países latinoamericanos utilizando el enfoque de la teoría de la dualidad. Queda abierta la puerta para estudiar estos efectos a nivel departamental, en la medida en que haya datos disponibles. Más y mejores datos también permitirán hacer las estimaciones de los acervos de capital que aquí se presentan, pero aplicando la nueva metodología de la OCDE para estimar los servicios del capital en vez de los acervos.

Referencias

1. ÁLVAREZ, A., OREA, L. y FERNÁNDEZ, J. (2003). “La productividad de las infraestructuras en España”, *Papeles de Economía Española*, 95:125-136.
2. ARGUIMÓN, I., GONZÁLEZ-PÁRAMO, J. M., MARTÍN, M. J. y ROLDÁN, J. M. (1994). “Productividad e infraestructuras en la economía española”, *Moneda y Crédito*, 198:207-252.

3. ASCHAUER, D. A. (1989). "Is public expenditure productive?", *Journal of Monetary Economics*, 23:177-200.
4. AVILÉS, C. A., GÓMEZ, R. y SÁNCHEZ, J. (2001). "The effects of public infrastructure on cost structure of Spanish industries", *Spanish Economic Review*, 3:131-150.
5. BERNDT, E. R. y HANSSON, B. (1992). "Measuring the contribution of public infrastructure capital in Sweden", *The Scandinavian Journal of Economics*, 94:151-172, supplement.
6. BOSCA, J. E., ESCRIBÁ, J. y DABÁN, T. (1999). "Capital privado e infraestructuras en la producción industrial regional", *Revista de Economía Aplicada*, 7(21):61-94.
7. BOTERO, J. A., RAMÍREZ, A. y PALACIO, J. F. (2007). "El costo de uso del capital y la inversión en Colombia 1990-2007" (Working Papers de Economía N° 1). Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.
8. BROX, J. A. y FADER, C. A. (2005). "Infrastructure investment and Canadian manufacturing productivity", *Applied Economics*, 37:1247-1256.
9. CÁRDENAS, M. (2007). "Economic growth in Colombia: A reversal of fortune?", *Ensayos sobre Política Económica*, 25(53), edición especial sobre productividad y crecimiento.
10. CÁRDENAS, M., ESCOBAR, A. y GUTIÉRREZ, C. (1995). "La contribución de la infraestructura a la actividad económica en Colombia 1950-1994", *Ensayos sobre Política Económica*, 28, diciembre.
11. CONRAD, K. y SEITZ, H. (1994). "The economic benefits of public infrastructure", *Applied Economics*, 26:303-311.
12. CREEL, J. y POILON, G. (2008). "Is public capital productive in Europe?", *International Review of Applied Economics*, 22(6):673-691.

13. DANE. (varios años). “Cuentas Nacionales Anuales”. Bogotá, Colombia.
14. DANE. (varios años). “Encuesta Anual Manufacturera”. Bogotá, Colombia.
15. DE BUSTOS, A., CUTANDA, A., DÍAZ, A., ESCRIBÁ, F. J., MURGUI, M. J. y SANZ, M. J. (2008). “La BD.MORES en base 2000: nuevas estimaciones y variables” (Documentos de Trabajo). Dirección General de Presupuestos, Ministerio de Economía y Hacienda, España.
16. DE LA FUENTE, A. (2000). *Infrastructure and productivity: A survey*. Mimeo, Instituto de Análisis Económico, Barcelona.
17. DNP. (varios años). “Estadísticas de inversión en infraestructuras”. Dirección de Infraestructura y Energía Sostenible. Disponible en www.dnp.gov.co.
18. ESFAHANI, H. S. y RAMÍREZ, M. T. (2003). “Institutions, infrastructure and economic growth”, *Journal of Development Economics*, 70:443-477.
19. FERNÁNDEZ, M. y POLO, C. (2002). “Productividad del capital público en presencia de capital tecnológico y humano”, *Revista de Economía Aplicada*, 10(29):151-161.
20. GARCÍA-MILÁ, T. y McGUIRE, T. (1992). “The contribution of publicly provided factors to States’ economies”, *Regional Science and Urban Economics*, 22:229-241.
21. GRAMLICH, E. M. (1994). “Infrastructures investment: A review essay”, *Journal of Economic Literature*, (32):1176-1196.
22. GRILICHES, Z. (1979). “Issues in assessing the contribution of research and development to productivity growth”, *Bell Journal of Economics*, 10(1):92-116.

23. JIMÉNEZ, S. y SANAÚ, J. (2011). “Colombia: capital público y productividad de la industria manufacturera”, *Revista CEPAL*, 104:181-198.
24. KAMPS, C. (2004). “New Estimates of government net capital stocks for 22 OECD countries 1960-2001” (Working Paper 67). IMF.
25. LÓPEZ-PUEYO, C., SANAÚ, J. y BARCENILLA, S. (2008). “Difusión tecnológica internacional y productividad”, *Revista de Economía Aplicada*, 16(47):127-171.
26. LYNDE, C. y RICHMOND, J. (1992). “The role of public capital in production”, *The Review of Economics and Statistics*, 74(1):37-44.
27. MAS, M., MAUDOS, J., PÉREZ, F. y URIEL, E. (1996). “Infrastructures and productivity in the Spanish regions”, *Regional Studies*, 30(7):641-649.
28. MAS, M., PÉREZ, F. y URIEL, E. (2005). *El stock y los servicios del capital en España, (1964-2002), nueva metodología*. Bilbao, Fundación BBVA.
29. McFADDEN, D. (1978). *Production economics: A dual approach to theory dual applications*. Amsterdam, North-Holland Publishing Company.
30. MORENO, R., LÓPEZ-BAZO, E. y ARTÍS, M. (2002). “Public infrastructure and the performance of manufacturing industries: Short and long-run effects”, *Regional Science and Urban Economics*, 32(1):97-121.
31. MORRISON, C. J. y SCHWARTZ, A. E. (1996). “State infrastructure and productive performance”, *The American Economic Review*, 86(5):1095-1111.
32. MUNNELL, A. (1990a). “How does public infrastructure affect regional economic performance?”, *New England Economic Review*, September/October:11-32, Federal Reserve Bank of Boston.

33. MUNNELL, A. (1990b). "Why has productivity growth declined? Productivity and public investment", *New England Economic Review*, January/February:3-22, Federal Reserve Bank of Boston.
34. NADIRI, I. y MAMUNEAS, T. (1994). "The effects of public infrastructure and R&D capital on the cost structure and performance of US manufacturing industries", *The Review of Economics and Statistics*, 76(1):189-198.
35. OCDE. (2001a). *Measuring capital, OECD manual: Measurement of capital stocks, consumption of fixed capital and capital services*. París, OCDE.
36. OCDE. (2001b). *Measuring productivity, OECD manual: Measurement of aggregate and industry-level productivity growth*. París, OCDE.
37. O'MAHONY, M., CASTALDI, C., LOS, B., BARTELSMAN, E., MAIMAITI, Y. y PENG, F. (2008). *EU KLEMS-Linked data: Sources and methods*. Mimeo, October, University of Birmingham.
38. POMBO, C. (1999). "Economías de escala, *markups* y determinantes del cambio técnico en la industria colombiana", *Coyuntura Económica*, 29(4):107-139.
39. RATNER, J. (1983). "Government capital and the production function of US private output", *Economics Letters*, 13:213-217.
40. SANAÚ, J. (1997). "La contrastación de la hipótesis del capital público en España: principales aportaciones", *Cuadernos Aragoneses de Economía*, 7(2):281-314.
41. SANAÚ, J. (1998). "Telecommunications infrastructure and economic growth: An analysis of Spanish manufacturing industry", en S. MacDonald y G. Madden (Eds.), *Telecommunications and socio-economic development* (pp. 39-54). Elsevier Science.

42. SÁNCHEZ, F. (1993). “El papel del capital público en la producción, la inversión y el crecimiento económico en Colombia”, *Archivos de Macroeconomía*, 18, DNP.
43. SÁNCHEZ, F., RODRÍGUEZ, J. y NÚÑEZ, J. (1996). “Evolución y determinantes de la productividad en Colombia: un análisis global y sectorial”, *Archivos de Macroeconomía*, 50, DNP.
44. SCHREYER, P. y DUPONT, J. (2006). “OECD capital services estimates: Methodology and a first set of results”, en M. Mas y P. Schreyer (Eds.), *Growth, capital and new technologies* (pp. 29-66). Bilbao, Fundación BBVA.
45. SEITZ, H. y LICHT, G. (1995). “The impact of public infrastructure capital on regional manufacturing production cost”, *Regional Studies*, 29(3):231-240.
46. SOETE, L. y PATEL, P. (1985). “Recherche-développement, importations de technologie et croissance économique. Une tentative de comparaison internationales”, *Revue Économique*, 36(5):975-1000.

Anexos

Anexo 1

Cuadro A1. Agregación de sectores de la industria manufacturera

Sector 1	Alimentos, bebidas y tabaco
Sector 2	Textiles, prendas de vestir, cuero y calzado
Sector 3	Productos de madera, corcho y accesorios derivados
Sector 4	Papel, cartón e impresos
Sector 5	Petróleo refinado, combustibles y derivados
Sector 6	Sustancias químicas y otros productos químicos
Sector 7	Productos de caucho y de plástico
Sector 8	Productos minerales no metálicos
Sector 9	Metales comunes y productos metálicos básicos
Sector 10	Maquinaria de uso general
Sector 11	Maquinaria y equipo eléctrico, electrónico y científico
Sector 12	Equipo de transporte

Fuente: elaboración propia.

Anexo 2

Cuadro A2. Evolución de la industria manufacturera en Colombia, 1990-2005

	<i>Y</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>KP</i>	<i>KG</i>	<i>VC/Y</i>	<i>P_{KP}</i>
1990	24.487.615	496.193	14.957.176	22.006.521	11.383.891	0,6702	0,2109
1991	23.987.310	496.472	14.452.632	22.774.348	11.930.437	0,6612	0,2596
1992	24.122.343	539.807	14.022.094	24.322.591	13.259.092	0,6632	0,2450
1993	23.903.230	549.297	14.551.124	27.677.332	15.021.380	0,6938	0,2912
1994	24.373.444	550.096	13.929.597	31.514.345	17.077.996	0,6595	0,3816
1995	25.566.674	539.184	14.214.150	35.004.089	19.412.502	0,6419	0,4848
1996	25.403.011	519.123	13.971.139	38.057.023	22.620.813	0,6287	0,5452
1997	25.928.337	512.133	14.190.142	41.041.460	26.664.223	0,6188	0,5202
1998	25.443.547	477.333	13.883.446	43.263.850	30.932.837	0,6198	0,7471
1999	23.153.408	422.203	12.493.857	43.158.698	33.901.585	0,6229	0,6288
2000	25.952.046	449.922	14.580.720	42.908.340	37.409.155	0,6289	0,4905
2001	27.291.116	436.277	15.482.783	43.273.994	40.250.051	0,6258	0,5391
2002	27.763.689	431.307	15.974.451	43.702.420	43.589.842	0,6363	0,4714
2003	30.528.442	427.957	17.564.910	44.800.092	45.535.249	0,6288	0,4869
2004	32.537.764	428.138	18.673.864	46.600.414	47.184.237	0,6254	0,5316
2005	33.312.400	433.389	19.010.323	50.063.721	48.781.480	0,6252	0,5102

(Continúa)

Cuadro A2. Evolución de la industria manufacturera en Colombia, 1990-2005 (continuación)

	<i>Y</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>KP</i>	<i>KG</i>	<i>VC/Y</i>	<i>P_{KP}</i>
TCMA 1990-05	2,07%	-0,90%	1,61%	5,63%	10,19%	-0,46%	6,07%
TCMA 1990-00	0,58%	-0,97%	-0,25%	6,91%	12,63%	-0,63%	8,81%
TCMA 2000-05	5,12%	-0,75%	5,45%	3,13%	5,45%	-0,12%	0,79%

Nota: *Y* es el producto total, *L* el empleo, *M* los materiales intermedios, *KP* el acervo de capital privado, *KG* el acervo de capital público, *VC/Y* los costos variables medios, *P_{KP}* el costo de uso del capital privado y *TCMA* la tasa de crecimiento media anual acumulativa. Los valores monetarios están expresados en millones de pesos colombianos de 1994.

Fuente: elaboración propia con base en datos del DANE y el DNP.

Anexo 3

Cuadro A3. Estadísticos descriptivos de la industria manufacturera en Colombia, 1990-2005

	Media	Mediana	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
<i>Y</i>	26.484.648	25.505.110	3.094.189	23.153.408	33.312.400
<i>L</i>	481.802	486.763	48.953	422.203	550.096
<i>M</i>	15.122.025	14.501.878	1.821.050	12.493.857	19.010.323
<i>KP</i>	37.510.577	41.974.900	9.100.138	22.006.521	50.063.721
<i>KG</i>	29.059.673	28.798.530	13.560.513	11.383.891	48.781.480
<i>VC/Y</i>	0,641	0,629	0,022	0,619	0,694
<i>P_{KP}</i>	0,459	0,489	0,146	0,211	0,747

Fuente: elaboración propia.

