

Efectos del capital público en la industria de Colombia (1990-2005). Estimación de la función de costes generalizada de Leontief

Sergio Jiménez Ramírez
Universidad de Pamplona (Colombia)
Jaime Sanaú Villarroya
Universidad de Zaragoza

RESUMEN

El objetivo de esta trabajo es analizar el impacto de las infraestructuras públicas sobre la productividad en las industrias manufactureras en Colombia entre 1990 y 2005 mediante el enfoque basado en la teoría de la dualidad. En el mismo, se estudian los efectos que la inversión en capital público tiene sobre la estructura de costes de la industria, a través de la interrelación entre los diferentes factores de producción privados y aquel.

PALABRAS CLAVE: capital público, productividad, función de costes generalizada de Leontief, panel de datos.

I. INTRODUCCIÓN

Las economías necesitan infraestructuras de transporte, de telecomunicaciones, energéticas o hidráulicas de buena calidad para expandir su mercado interno y competir en el ámbito internacional. Hace varias décadas surgió entre los economistas la idea de que la inversión pública en infraestructuras (o capital público, como se conoce en la literatura especializada), ayuda a incrementar la productividad, y ya para los años cincuenta del siglo XX algunos autores comenzaron a referirse formalmente al tema¹.

Durante los últimos decenios de la pasada centuria surgió entre políticos y economistas una creciente preocupación por averiguar el origen de la desaceleración del crecimiento de la productividad ocurrida en el decenio de 1970 en los Estados Unidos, tras mantener un elevado crecimiento en los diez años anteriores. Esta preocupación renovó el interés de los investigadores por los factores que dinamizan la productividad y el crecimiento económico dando paso a la publicación de algunos artículos seminales como fue el caso de Ratner (1983) y Aschauer (1989). En su trabajo publicado en 1989, aplicado a la economía de los Estados Unidos, David Aschauer presentó unos resultados que otorgaban al capital

¹ Véase Meade (1952), por ejemplo.

público el rol de “factor relevante” en el proceso de producción con una elasticidad del producto con respecto a esta variable de 0,39. A partir de este trabajo se desencadenó una copiosa literatura, con una notoria variedad de resultados.

Muchos de los nuevos estudios, incluidos varios aplicados a España, apoyaron los resultados de Aschauer, aunque obtuvieron un valor para la elasticidad del *output* con respecto al capital público quizás más plausible. Otros, no obstante, mediante el uso de un enfoque metodológico diferente pero con similar (o quizás mayor) grado de aprobación científica pusieron en duda la hipótesis de que el capital público sea un factor de producción adicional tan determinante como se entendía a partir del pionero artículo. Esto, por supuesto, sin negar su relevancia.

El uso de dos enfoques metodológicos distintos (la función de producción y la función dual de costes) y la obtención de resultados, en cierta medida, diferentes a partir de las contrastaciones empíricas de una y otra estructura fue lo que motivó el deseo de indagar aún más sobre la relación entre las infraestructuras públicas y la productividad de la industria.

La hipótesis de partida plantea que las infraestructuras públicas influyen en el desarrollo de la actividad económica privada y, específicamente, en la producción industrial a través de la reducción de los costes y, por ende, aumentando la productividad. Apelando a la intuición, las carreteras, autopistas, los puertos, aeropuertos, ferrocarriles, sistemas de acueductos y alcantarillados, etc., proporcionan un ambiente adecuado en el que la producción privada se lleva a cabo más fácilmente. Esta idea ha sido considerada por varios autores en diversa literatura económica desde hace décadas. Sin embargo, la mayor relevancia la obtuvo a finales de los años 1980 cuando Aschauer (1989) publicó su mencionado trabajo que aportaba evidencia empírica a aquellas ideas.

A este autor le siguieron otros, que realizando investigaciones sobre varios países industrializados, tanto a nivel nacional como por regiones o sectores de la producción, estudiaron la relación entre el capital público y la productividad desde varias perspectivas, destacándose en los primeros años el enfoque de la función de producción con Munnell (1990 a,b), García-Milá y McGuire (1992), Sanaú (1998), entre otros, para luego dar paso al enfoque dual basado en funciones de costes, con por ejemplo, Seitz y Licht (1995) para Alemania; Morrison y Schwartz (1996) para los Estados Unidos; Boscá, Escrivá y Dabán (1999) y Moreno, López-Bazo y Artís (2002) para España, entre los más importantes.

El buen número de publicaciones a nivel mundial que se ocupa de la relación entre infraestructuras públicas y crecimiento económico avalan la importancia del tema estudiado,

conocido en la literatura especializada como la contrastación de la “hipótesis del capital público”. Sin embargo, la relevancia de la aplicación a una economía como la colombiana descansa básicamente sobre dos pilares.

El primer sustento proviene del hecho de realizar este análisis en un país en vías de desarrollo como es Colombia, para los que no se cuenta con estudios de este tipo, los cuales en su gran mayoría han privilegiado a países de la OCDE, y especialmente a España y a los Estados Unidos. Por tanto, la falta de evidencia empírica acerca de la importancia que tienen las infraestructuras públicas en el proceso de desarrollo económico de los países de renta media y baja, como es el caso de los latinoamericanos, también da apoyo a la realización de este trabajo.

Además, en cuantiosas oportunidades, un vasto número de autores y analistas económicos oriundos de esa región han estado de acuerdo en que uno de los más pesados lastres que ha tenido que arrastrar el conjunto de naciones latinoamericanas en su camino hacia la consolidación del desarrollo y uno de los principales factores que restan competitividad a sus exportaciones es la deficiente dotación de infraestructuras públicas que poseen. Por tanto, aquí se trata de aportar evidencia empírica desde un país de ingreso medio de la relación entre el capital público, la productividad y, en términos generales, el crecimiento económico.

El segundo pilar que apoya este trabajo resulta, por una parte, de evaluar el efecto del capital público sobre la industria manufacturera en un país que durante el periodo de estudio fue objeto de reformas estructurales muy importantes a nivel político y económico. Y, por otra parte, de intentar comprender, a la luz de los resultados obtenidos, el proceso de desarrollo de la economía colombiana en ese periodo.

Con el transcurrir de los años, esos cambios institucionales fueron dando paso a un periodo de mayor estabilidad macroeconómica, crecimiento de la producción agregada y a una considerable mejora de las condiciones de vida de su población. Durante el periodo de estudio, y sin contar el bienio 1998-99 en el que Colombia padeció una recesión, el PIB presentó una tasa media de crecimiento anual de 3,7% en términos reales, y las exportaciones de productos de las diferentes industrias manufactureras se expandieron a una tasa media anual de 14%. La participación de las exportaciones de manufacturas respecto al total de exportaciones pasó de 25% en 1990 a 35% en 2005. De ahí el interés por estimar los efectos de los capitales público y privado en su industria manufacturera.

La década de los noventa del siglo pasado trajo consigo para Colombia un relativo impulso de las inversiones en infraestructuras como resultado de un cambio trascendental en

la legislación a partir de 1991 que permitió que el sector privado participara como inversor en los proyectos de construcción, rehabilitación y mantenimiento de las infraestructuras del país. Desapareció así el monopolio al Estado colombiano que regía hasta ese momento y en el que las pobres inversiones públicas en infraestructuras estaban en buena parte determinadas por el saldo de las finanzas públicas, a menudo deficitario.

Merced a este cambio, las infraestructuras en Colombia experimentaron considerables avances desde 1991 como resultado del balance positivo entre una leve reducción de los niveles de inversión pública y el incremento de la participación de la iniciativa privada. La participación del sector privado en el total de la inversión en infraestructuras comenzó a tener importancia en los primeros años de entrada en vigencia de la nueva normativa al alcanzar un 28% de media entre 1991 y 1994. Sin embargo, su peso relativo siguió creciendo y para el decenio 1995-2004 este promedio se situó en 48%. En general, la inversión total en infraestructuras (ya sean financiadas por las administraciones públicas como por instituciones privadas) creció a una tasa promedio anual de 9,2% entre 1989 y 2004, proveyendo a los diferentes sectores de la economía con mayores argumentos para ser más productivos y crecer más rápido.

La estructura del trabajo es la siguiente. En el próximo apartado, se introduce el modelo teórico basado en la teoría de la dualidad, de donde se derivan las expresiones para las contribuciones marginales del capital público y del capital privado a la reducción de los costes variables, es decir, los precios sombra, así como para las elasticidades del *output* y de los costes con respecto a ambos capitales. Seguidamente se describen las variables y los datos usados, así como el proceso de estimación de las series de los *stocks* de capital público y privado. Asimismo, se introduce el modelo econométrico que se usará para llevar a cabo la contratación empírica. En el epígrafe siguiente, se lleva a cabo una comparación de resultados entre éste trabajo y algunos de los estudios más relevantes, específicamente los aplicados a la economía española, y se plasman las conclusiones más importantes a las que se llega a partir de los resultados obtenidos

II. MODELO TEÓRICO, DATOS Y ESTIMACIÓN

II.1. MODELO TEÓRICO

El enfoque de la teoría de la dualidad que utiliza una función de costes 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 costes es la representación que hace de la reacción conductual así como de las relaciones tecnológicas, asumiendo que la minimización de costes es un supuesto apropiado.

Otro aporte valioso de la estructura de la función de costes es que produce 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 si misma), donde los niveles de los *inputs* 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 *output* y X_i ($i = 1, \dots, s$) es el factor i -ésimo:

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

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

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

donde X_i es la cantidad óptima del factor i -ésimo. En este caso, el nivel de costes óptimo (C) produce una función de costes 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 lo tanto, se asume que todos los factores de producción pueden ajustarse dentro de un periodo de tiempo, de manera que la empresa determina instantáneamente las demandas de factores a largo plazo.

Existen razones que apuntan que ciertos factores no se ajustan instantáneamente a sus valores de equilibrio de largo plazo. Entre estas razones pueden contarse los controles de precios y regulaciones, los costes de inversión y desinversión, y restricciones institucionales que están más allá del control de una empresa individual en el corto plazo. De ahí que se distinga entre *inputs* que están en equilibrio, los llamados *inputs* variables, y aquellos que no lo están, los llamados *inputs* fijos. A esta situación se le conoce como *equilibrio estático parcial*. La estructura adoptada aquí distingue entre *inputs* variables e *inputs* fijos. El objetivo de la empresa es minimizar el coste de los factores variables, condicionado al *stock* dado de factores fijos.

Dado 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 costes. Por lo tanto, la función de costes variables utilizada incluye al capital público como un *input* fijo externo:

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

en la que se consideran dos *inputs* privados variables, trabajo (L) y materiales intermedios (M), los cuales aparecen en la función de costes representados por sus precios, P_L y P_M , respectivamente; un factor cuasi fijo, capital privado, K_P ; Y es el *output* y K_G el capital público, que actúa como factor externo. En consecuencia, las infraestructuras públicas son consideradas un factor fijo no remunerado en el proceso de producción y del que las empresas no tienen casi ningún control.

La función de costes totales de corto plazo será la suma de los costes variables y del coste 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 *inputs* privados variables usados en el proceso de producción de acuerdo a sus relaciones de complementariedad o sustitución con las infraestructuras después de que éstas hayan sido aumentadas o mejoradas, dada la cantidad existente de factores fijos como el capital privado.

Diferenciando la función de costes 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 *stock* de capital tanto público como privado. Son una medida de la disponibilidad 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 costes variables debido a un incremento marginal en los *stocks* 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 permite lograr ahorros en los costes variables².

Suponiendo que los precios de los factores variables son exógenos al productor, puede aplicarse el lema de Shephard, y obtener el vector de los diferentes factores variables que minimiza los costes, es decir, las demandas minimizadoras de costes³:

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

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

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

A partir de las demandas condicionadas de factores es posible reescribir la función de costes 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

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

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

² En este caso sólo 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 costes ocasionados por la acumulación de este factor, ellas pagan por las infraestructuras indirectamente vía impuestos. Como los impuestos no están directamente vinculados con los costes en los que incurre el gobierno para incrementar el *stock* de capital público, el precio de éste puede considerarse como cero para la empresa. Ésta perspectiva es la habitual en trabajos precedentes y, por lo tanto, la que se aplica en este estudio.

³ Como es sabido, el lema de Shephard se usa para generar funciones de demanda de factores minimizadoras de costes. De este modo, se obtienen tantas ecuaciones adicionales a la función de costes como factores productivos intervengan en el proceso de producción. La estimación del sistema formado por la función de costes y las funciones de demanda derivadas por factores permite obtener estimaciones más eficientes de los parámetros que las que se obtendrían si se estimase sólo la función de costes, tal como señala McFadden (1978).

los cuales descomponen el efecto que un incremento en K_G (K_p) tiene sobre los costes, 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 coste 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 costes totales respecto al capital público y al capital privado. En primer lugar, dado el interés en evaluar el cambio en los costes totales de corto plazo ocasionado por un aumento marginal en el *stock* de infraestructuras, es necesario calcular la elasticidad de los costes 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 costes 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 *inputs* variables; es decir,

mientras las infraestructuras públicas incrementen la eficiencia como resultado de la disminución en la utilización de *inputs* variables y, con esto, de los costes variables.

Puede decirse que las empresas ajustarán sus decisiones de producción respecto a sus propios factores variables de acuerdo a la relación entre ellos y el capital público. Este efecto puede calcularse como la elasticidad (de corto plazo) de la demanda condicionada de *inputs* 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 *stock* de capital privado no se encuentra en su nivel de equilibrio de largo plazo, los mismos efectos que se describieron para el capital público pueden obtenerse para el capital privado. Puede calcularse la elasticidad ε_{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 coste 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 costes están muy relacionadas con las habituales medidas de elasticidades de la función de producción. Como se señala en Boscá *et al.* (1999), utilizando las expresiones derivadas anteriormente es posible relacionar las elasticidades producto con respecto a los *stocks* de capital con las participaciones sombra de éstos factores en el coste total. Las elasticidades del *output* respecto a los factores fijos se obtienen a partir de (6) y (11):

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

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

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 coste marginal y el coste medio determina la elasticidad de los costes al *output* a corto plazo, $\varepsilon_{C,Y}$, que está relacionada con la elasticidad de los costes variables al *output*, $\varepsilon_{CV,Y}$.

II.2. DATOS

Un problema habitual que se presenta en la realización de investigaciones sobre temas económicos con contenido empírico en los países en vías de desarrollo, como es el presente caso, es la disponibilidad limitada de datos fiables sobre el comportamiento de las diferentes variables que se requieren para dar aplicación a ciertos modelos micro y macroeconómicos que en países desarrollados (por ejemplo, los pertenecientes a la OCDE) pueden contrastarse con menor dificultad, puesto que disponen de abundante información estadística. Esta relativa escasez de datos alcanza tanto a la magnitud temporal como la amplitud de variables observadas y medidas.

En las líneas siguientes se describen las variables y los datos empleados en la contrastación empírica. Aunque buena parte de la información estadística utilizada para las variables del modelo es recopilada y publicada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE, que es el organismo oficial encargado de las estadísticas en Colombia, también se describirá el proceso de estimación de dos de los componentes fundamentales de este estudio como son el *stock* de capital privado y *stock* de capital público, variables que no son calculadas por el DANE y que no han sido estimadas antes para Colombia para el periodo de estudio que aquí se precisa.

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

Los datos sobre *output*, consumo de *inputs* intermedios, número de trabajadores y salarios de los sectores industriales se tomaron de la *Encuesta Anual Manufacturera, EAM*, producida y publicada por el DANE. Los datos de formación bruta de capital fijo así como los de inversión en infraestructuras con los cuales se construyeron el *stock* de capital privado y el *stock* 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 año base vigente de las *Cuentas Nacionales* colombianas.

Tabla 1. 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.

Para el periodo 1990-2000, los datos publicados originalmente desagregados para 29 sub-sectores de la industria, y luego, con una nueva revisión a partir de 2001 (CIU Rev. 3), para 67 clasificaciones industriales se agruparon finalmente en 12 grandes sectores, tal como se hace, en Nadiri y Mamuneas (1994) para la economía estadounidense, o Avilés *et al.* (2001) y Moreno *et al.* (2002) para la economía española. Esta clasificación industrial coincide, también, con la que hace, por ejemplo, López-Pueyo *et al.* (2008) en una literatura referente a un tema relacionado. En la Tabla 1 se describe la clasificación sectorial empleada.

En línea con la mayoría de los trabajos observados en la revisión de la literatura (apartado 1.2), vease por ejemplo, Nadiri y Mamuneas (1994), Conrad y Seitz (1994), Boscá

et al. (1999), Moreno *et al.* (2002), entre otros, la cantidad de *output* para cada sector se mide por el valor de la producción bruta industrial a precios constantes de 1994. El valor de la producción bruta se define como la suma del valor añadido bruto (VAB) y los gastos en *inputs* intermedios. La cantidad de *inputs* 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 cantidad de horas trabajadas, ni, por supuesto, datos de capital humano.

El índice de precios de los *inputs* intermedios se obtuvo para todos los años de *Índice de Precios Implícitos de la Oferta y Demanda Totales* de las *Cuentas Nacionales* colombianas publicadas por el DANE. El precio para el 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 FBCF tomado de *Cuentas Nacionales* del DANE, r es la tasa de interés activa bancaria tomada de “*Estadísticas Históricas de Colombia*” del DNP y d es la tasa de depreciación del capital privado tomada de Mas, Pérez y Uriel (2005)⁴.

Tanto el capital privado como el capital público se midieron como el *stock* de capital neto total al final del año y, dada la limitación surgida por la inexistencia para Colombia de valoraciones de dichos *stocks* de capital, en este trabajo se estimaron 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 *stock* neto de capital tal como se indica, por ejemplo, en OCDE (2001a, 2001b), Mas, Pérez y Uriel (2005), Schreyer y Dupont (2006) y Sanaú (2009), entre otros.

Schreyer y Dupont (2006) argumentan que es necesario distinguir entre dos dimensiones a la hora de intentar medir el capital. El *stock* neto de capital y su evolución es útil para medir el capital como almacenamiento de riqueza, en cambio, el *stock* productivo y su tasa de variación, es decir, el flujo de los servicios del capital, resulta ser el apropiado para medir el capital como un factor de producción. Estos autores consideran que la cantidad

⁴ Una fuente alternativa, en este caso, puede ser el empleo datos del coste de uso del capital privado. En este estudio se probaron también los datos sobre índice del coste de uso del capital provenientes de Botero *et al.* (2007), sin observar grandes diferencias en los resultados obtenidos comparados con los logrados al usar la tasa de alquiler del capital privado.

de los servicios del capital constituye la medida conceptualmente correcta para propósitos de análisis de productividad y de producción en vez del *stock* neto de capital.

No obstante, 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 lo tanto, dadas las restricciones de información, la opción más plausible fue la de estimar el *stock* neto de capital y trabajar con dichas series. Así, la labor de estimación del *stock* neto de capital, tanto privado como público, se llevó a cabo haciendo uso de una función que acumula la formación bruta de capital fijo (FBCF) para el primero, y la inversión en infraestructuras para el otro, y 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 permanente (*MIP*), que parte de un *stock* 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 en la última actualización de la BD. Mores en Base 2000⁵, así como en el Proyecto EUKLEMS para el caso de *stocks* tecnológicos⁶. Asimismo, Creel y Pilon (2008) en su interesante trabajo sobre la productividad del capital público en Europa emplearon en sus contrastaciones empíricas series del *stock* neto de capital público y del *stock* neto de capital privado estimadas con el método del inventario permanente.⁷

Para el caso de la estimación del *stock* de capital público, se emplearon los datos anuales sobre inversión privada y pública en infraestructuras publicadas por el DNP⁸, y se procedió de igual forma que en el caso del *stock* de capital privado, como se verá más adelante. Como es usual en la literatura empírica referente al tema, el *stock* 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 en la actividad industrial a partir del año siguiente (Sanaú, 1997 y 1998).

⁵ Véase De Bustos *et al.* (2008), documento editado por la Dirección General de Presupuestos del Ministerio de Economía y Hacienda de España.

⁶ Véase O'Mahony *et al.* (2008) para una descripción de las fuentes y métodos utilizados en la estimación de *stocks* tecnológicos publicada en: www.euklems.net.

⁷ Creel y Pilon usaron los datos sobre capital público y capital privado de Kamps (2004). Este último realizó estimaciones para 22 países de la OCDE del periodo 1960-2001 de series del *stock* neto de capital público y del *stock* neto de capital privado.

⁸ La inversión en infraestructuras públicas abarca cuatro categorías de éstas: infraestructuras de telecomunicaciones, de transporte, energéticas e hidráulicas.

En concreto, la formula aplicada sigue la propuesta de Soete y Patel (1985), como $KG_t = \sum \theta_i \cdot INV_{t-1}$, donde KG_t es el *stock* 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 *stock* y también recoge la tasa de depreciación del capital físico, e INV_{t-1} es la FBCF (o inversión en infraestructuras) en el periodo anterior a t . En cuanto a la tasa de depreciación usada en la estimación de los dos tipos de *stocks*, se utilizaron las tasas anuales de consumo de capital fijo empleadas por Mas, Pérez y Uriel (2005) para calcular los *stocks* 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 *stock* de capital inicial KG se calculó como:

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

de donde se obtiene $KG_{i,t} = \frac{INV_{i,t+1-\theta}}{g_i + \delta}$, siendo t el periodo inicial, $KG_{i,t}$ el *stock* 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 *stock* de capital del año anterior. En este caso la fórmula para el cálculo del *stock* inicial, que correspondería al año 1990, para el sector i sería la siguiente: $KG_{i,90} = \frac{INV_{i,t+1-2}}{g_i + \delta} = \frac{INV_{i,89}}{g_i + \delta}$.

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 Encuesta Anual Manufacturera que publica el DANE). Finalmente, con estas series expresadas en pesos colombianos de 1994, se aplicó el método del inventario permanente para obtener el *stock* de capital privado de cada año en cada uno de los doce sectores de la industria.

En la Tabla 2 se presentan los datos básicos del sector industrial colombiano que componen las variables usadas en la contrastación empírica, (aunque para tal fin se desagregaron en doce sectores).

Tabla 2. Evolución de la industria manufacturera en Colombia, 1990-2005							
	Y	L	M	KP	KG	VC/Y	PKp
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
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%

Fuente: Elaboración propia.

Nota: los valores monetarios están expresados en millones de pesos colombianos de 1994.

Puede verse que la producción total (Y) no ha crecido de forma continua. Durante todo el decenio de 1990 evidenció constantes fluctuaciones, sólo para emprender una ruta de crecimiento formal entre 2000 y 2005. La mayor parte del crecimiento experimentado durante los años de la muestra se registró en este último periodo; las cifras de la tasa de crecimiento anual acumulativa de las tres últimas filas dan fe de ello. Por su parte, el empleo creció hasta 1994 y luego emprendió una senda descendente hasta los años finales del periodo, aunque con cierta recuperación desde 2003. Los consumos intermedios siguieron el mismo patrón de la producción total.

En cuanto a los *stocks* de capital público y privado, puede verse que se expandieron a buen ritmo, aunque el capital público creció más rápidamente, casi duplicando la tasa media anual del capital privado. Este último aumentó sin pausa hasta 1998, y luego nuevamente a partir de 2001, marcado por los años de crisis de la industria y de la economía colombiana de finales del decenio de 1990. En la octava columna puede verse la evolución del coste de uso del capital privado, donde se aprecia la notable escalada registrada entre

1990 y 1998, alcanzando en este último año un valor tres veces y medio mayor que ocho años atrás.

II.3 ESTIMACIÓN DE LA FUNCIÓN DE COSTES GENERALIZADA DE LEONTIEF

Puesto que el objetivo central es contrastar el efecto de las dotaciones de capital público sobre los costes de fabricación de las empresas de manufacturas colombianas, el trabajo empírico realizado en éste epígrafe está basado en una *función de costes generalizada de Leontief*, con la forma mostrada en la expresión (20) que permite tener en cuenta los planteamientos teóricos mencionados en el apartado II.1.

En el caso de la estructura de costes generalizada de Leontief, se hace uso de una tendencia temporal t que resume el cambio tecnológico, y que ha sido empleada también, por ejemplo, en Morrison y Schwartz (1996)⁹. Esta forma funcional permite la consideración de un buen número de posibilidades de sustitución entre factores, así como la existencia de *inputs* fijos en el corto plazo, y puede ser adaptada dentro de cualquier tecnología de producción sin la necesidad de imponer restricciones *a priori* sobre los rendimientos a escala.

Teniendo en cuenta dos *inputs* variables, como son, trabajo (L) y consumos intermedios (M), la forma funcional generalizada de Leontief compuesta básicamente por tres ecuaciones, puede adoptar la siguiente forma:

- Función de costes variables:

$$CV = Y \left[\sum_i \sum_j \alpha_{ij} P_i^{1/2} P_j^{1/2} + \sum_i \sum_m \delta_{im} P_i s_m^{1/2} + \sum_i P_i \sum_m \sum_n \gamma_{mn} s_m^{1/2} s_n^{1/2} \right] + Y^{1/2} \left[\sum_i \sum_k \delta_{ik} P_i x_k^{1/2} + \sum_i P_i \sum_m \sum_k \gamma_{mk} s_m^{1/2} x_k^{1/2} \right] + \sum_i P_i \sum_k \sum_{kg} \gamma_{kkg} x_k^{1/2} x_{kg}^{1/2} \quad (20)$$

donde P_i y P_j son los precios de los factores variables, X_i , x_k y x_{kg} son los *inputs* cuasi-fijos; y s_m y s_n son el resto de argumentos (por ejemplo, el *output*, Y , y el tiempo, t).

- Ecuaciones de demanda de *inputs* variables (una para cada factor):

⁹ No existen series de inversión en I+D ni de *stocks* de capital tecnológico para la economía colombiana.

$$\begin{aligned} \frac{X_i}{Y} = \frac{\partial CV}{\partial P_i} \frac{1}{Y} = \sum_i \alpha_{ij} (P_j/P_i)^{1/2} + \sum_m \delta_{im} s_m^{1/2} + \sum_m \sum_n \gamma_{mn} s_m^{1/2} s_n^{1/2} + \\ Y^{-1/2} \left[\sum_k \delta_{ik} x_k^{1/2} + \sum_m \sum_k \gamma_{mk} s_m^{1/2} x_k^{1/2} \right] + Y^{-1} \sum_k \sum_{kg} \gamma_{kkg} x_k^{1/2} x_{kg}^{1/2} \end{aligned} \quad (21)$$

Las dos ecuaciones de demanda de *inputs* variables se obtienen aplicando el lema de Shephard a la función de costes variables, y se expresan como ecuaciones *input-output* con el fin de corregir problemas de heteroscedasticidad al momento de la contrastación empírica del modelo.

Para completar el sistema formado por las tres ecuaciones anteriores, Morrison y Schwartz (1996) y Boscá *et al.* (1999) añaden una cuarta, que va a representar el comportamiento maximizador de beneficios en el corto plazo. Esta última ecuación es la condición de igualación entre el precio del *output* (P) y el coste marginal a corto plazo (CMa). Ha de subrayarse que dicha condición no se está imponiendo, sino que se estimará como una ecuación más del sistema.

- Ecuación de igualación del precio y el coste marginal:

$$\begin{aligned} P = CMa = \frac{\partial CV}{\partial Y} = \sum_i \sum_j \alpha_{ij} P_i^{1/2} P_j^{1/2} + \sum_i \sum_m \delta_{im} P_i s_m^{1/2} + \sum_i P_i \sum_m \sum_n \gamma_{mn} s_m^{1/2} s_n^{1/2} + \\ + 1/2 Y^{-1/2} \left[\sum_i \sum_k \delta_{ik} P_i x_k^{1/2} + \sum_i P_i \sum_m \sum_k \gamma_{mk} s_m^{1/2} x_k^{1/2} \right] + \\ + 1/2 Y^{1/2} \sum_i \delta_{iY} P_i + Y^{1/2} \left[\sum_i P_i \sum_m \gamma_{mY} s_m^{1/2} \right] + 1/2 \sum_i P_i \sum_k \gamma_{Yk} x_k^{1/2} \end{aligned} \quad (22)$$

Y así, es posible proceder a la estimación de este sistema de cuatro ecuaciones para obtener los parámetros relevantes de la función de costes, 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 sobre la productividad de los diferentes sectores de la industria manufacturera. Esto se mostrará a continuación.

II. 4 RESULTADOS

Para la contrastación empírica, los modelos se incluyeron dentro de un marco estocástico, considerando que los términos de error que se añaden habitualmente a las ecuaciones de los modelos para tal fin obedecen a errores de optimización.

Puesto que los resultados obtenidos estimando las ecuaciones por separado no son estadísticamente equivalentes a los que se obtienen cuando se estiman como un sistema de ecuaciones, cada uno de los dos modelos se estimó como sistemas de ecuaciones de regresión aparentemente no relacionados (*SURE*), lo que les añade estructura y robustez, así como un aumento de eficiencia (*t*-estadísticos más altos) de los estimadores. Este método permite, como se ha indicado, imponer restricciones de igualdad entre los parámetros a través de las ecuaciones para ajustarlas a los modelos teóricos.

Por lo tanto, las Ecuaciones (20), (21) y (22) se estimaron por el método *SURE*, y para tal fin se usó el programa econométrico STATA 9.0. Aunque, debe mencionarse que, en la especificación elegida finalmente, la ecuación de costes estimada fue la de costes variables medios (*CV/Y*), apuntando a que corrige los posibles problemas de heteroscedasticidad del modelo, los cuales se presentan al considerar conjuntamente individuos que difieren considerablemente en lo que se refiere a los valores de sus variables explicativas, como ocurre en la muestra usada en este trabajo.

En la Tabla 3 se presentan los resultados de la estimación en donde se muestran los valores para cada uno de los parámetros y los *t*-estadísticos obtenidos. Debido a la complejidad de la forma funcional generalizada de Leontief, el signo y la magnitud de los coeficientes no pueden interpretarse directamente. Sin embargo, puede observarse que la mayoría de los parámetros son estadísticamente significativos a los niveles habituales. Asimismo, las cuatro ecuaciones estimadas presentan, en general, un buen grado de ajuste.

Tabla 3. Coeficientes estimados. Función de costes generalizada de Leontief					
Parámetro	Coefficiente	t-estadístico	Parámetro	Coefficiente	t-estadístico
α_{PLPL}	-0,149134000	-5,05	δ_{PMKG}	-0,024718500	-2,20
α_{PMPM}	0,254143300	2,89	γ_{PLYKP}	-0,000022600	-1,61
α_{PLPM}	0,077230900	10,07	γ_{PLYKG}	-0,000001100	-0,22
δ_{PLY}	0,000054300	2,82	γ_{PLTKP}	0,004589800	0,88
δ_{PMY}	-0,000100500	-2,29	γ_{PLTKG}	-0,002259400	-2,11
δ_{PLT}	-0,003830200	-0,43	γ_{PMYKP}	0,000064200	2,17
δ_{PMT}	0,078250300	3,00	γ_{PMYKG}	-0,000048000	-3,89
γ_{PLYY}	-0,000000007	-1,83	γ_{PMTKP}	0,029168300	2,39
γ_{PLYT}	0,000000691	0,36	γ_{PMTKG}	0,002838700	1,06
γ_{PLTT}	-0,003612300	-1,83	γ_{PLKPKG}	-0,003545400	-2,19
γ_{PMYY}	0,000000011	1,47	γ_{PLKPKP}	-0,011634600	-1,94
γ_{PMYT}	-0,000001340	-0,35	γ_{PLKGKG}	-0,000110400	-0,32
γ_{PMTT}	-0,003969500	-1,00	γ_{PMKPKG}	0,013560900	3,83
δ_{PLKP}	0,084150700	3,28	γ_{PMKPKP}	-0,030954500	-2,27
δ_{PLKG}	0,021917900	4,39	γ_{PMKGKG}	-0,001359800	-1,90
δ_{PMKP}	-0,303561200	-4,82			

Función de costes variables medios: $R^2 = 0,3537$
 Función de demanda de trabajo: $R^2 = 0,8688$
 Función de demanda de consumos intermedios: $R^2 = 0,3478$
 Ecuación de igualación del precio y el coste marginal: $R^2 = 0,9979$

Nota: Periodo muestral 1990-2005. Doce sectores de la industria. No. de observaciones 192.

A continuación, se presentarán estos indicadores mediante tres promedios: sectoriales, temporales y globales. Las Tablas 4 y 5 resumen algunos de los efectos más importantes de la inversión en infraestructuras y capital privado, específicamente, los que se refieren a los valores sombra de los dos tipos de capital y las relaciones sustitutivas o complementarias existentes entre cada uno de los dos tipos de capital y cada uno de los *inputs* variables (Tablas 4(a) y 4(b)), y los referentes a las elasticidades del *output* con respecto a los capitales público y privado, así como las elasticidades de los costes totales de corto plazo con respecto a los mismos capitales (Tablas 5(a) y 5(b)). Todas estas magnitudes se calcularon para cada una de las doce agrupaciones industriales como los valores medios para el periodo 1990-2005 de la correspondiente magnitud sectorial. También se calcularon para cada uno de los dieciséis años del periodo estudiado como los valores medios para el conjunto de las doce industrias.

Estas cuatro tablas muestran algunos de los resultados más relevantes que se derivan de la contrastación empírica desarrollada mediante la adopción del enfoque dual y, en el caso de ésta sección en particular, de la función de costes generalizada de Leontief.

Recuérdese que con el uso de la teoría de la dualidad se pretende superar una de las principales limitaciones del análisis de los efectos del capital público en el desarrollo económico, llevado a cabo mediante el uso de funciones de producción (principalmente del tipo *Cobb-Douglas*), esto es, la imposición de relaciones de sustituibilidad estricta entre los factores productivos, y la consideración de que todos los factores son variables. Vencido este obstáculo, toma sentido la discusión de la relación entre precios sombra de los factores fijos y su coste de uso que se hará más adelante.

En las dos primeras columnas de las Tablas 4(a) y 4(b) se muestran tales precios sombra. En la Tabla 4(a) pueden apreciarse los valores promedios para los dieciséis años de la muestra de cada uno de los doce sectores industriales, mientras en la Tabla 4(b) los promedios son para los sectores de cada uno de los años que comprende la muestra. El precio sombra del capital público, Z_{KG} , es positivo en todos los sectores industriales estudiados y para todos los años de la muestra, registrando un valor promedio de 0,0134.

El hecho de que el valor del precio sombra del *stock* de capital público sea positivo para todos los sectores y durante todos los años refleja el beneficio marginal que experimentaron las industrias a partir de las inversiones en capital público. Es decir, evidencia la contribución marginal a la reducción de los costes variables del sector industrial colombiano, donde la magnitud de dicho precio sombra representaría el tamaño de la disponibilidad a pagar por unidades adicionales de capital público por parte de la industria privada.

Esta disponibilidad implícita del sector privado industrial a pagar por las infraestructuras en el corto plazo en todas las industrias implica una relación de sustitución neta entre el *stock* de capital público y los factores de producción variables considerados en el modelo (trabajo y consumos intermedios) durante el periodo estudiado. Este valor positivo del precio sombra puede interpretarse como que la inversión adicional de un (1) peso colombiano (unidad monetaria del país) en infraestructuras genera un ahorro en los costes variables de las empresas de aproximadamente 1,34 céntimos.

Como era de esperar (y de ahí el interés por analizar el sector industrial a nivel desagregado), el comportamiento de los valores sombra por sectores de las manufacturas, aunque siempre positivos, exhibe un patrón bastante heterogéneo, indicando que algunas

industrias destacan más que otras por recibir mayores efectos marginales positivos provenientes de la inversión en capital público.

Tabla 4(a). Precios sombra y relaciones de sustituibilidad y complementariedad. Función de costes generalizada de Leontief. Promedios sectoriales						
	Z_{KG}	Z_{KP}	L_{KG}	M_{KG}	L_{KP}	M_{KP}
Alimentos	0,0594	0,0364	-0,0058	0,0651	0,0087	0,0276
Textiles	0,0162	0,0546	-0,0018	0,0179	-0,0053	0,0599
Madera	0,0027	-0,0068	-0,0006	0,0033	0,0112	-0,0179
Papel	0,0109	0,0484	-0,0024	0,0133	-0,0135	0,0619
Petroquímica	0,0104	0,0260	-0,0047	0,0151	-0,0323	0,0583
Química	0,0215	0,0356	-0,0059	0,0274	-0,0240	0,0596
Caucho-plástico	0,0070	0,0450	-0,0018	0,0088	-0,0113	0,0563
No-metálicos	0,0070	0,0580	-0,0007	0,0077	0,0010	0,0570
Metálicos	0,0112	0,0522	-0,0017	0,0130	-0,0077	0,0599
Maquinaria	0,0036	-0,0055	-0,0014	0,0050	-0,0096	0,0041
Electrónica	0,0033	0,0267	-0,0014	0,0047	-0,0014	0,0281
Transporte	0,0072	-0,0005	-0,0036	0,0108	-0,0474	0,0469
Promedio global	0,0134	0,0309	-0,0026	0,0160	-0,0110	0,0418

Fuente: Elaboración propia.

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 *inputs* intermedios, L_{KP} el efecto directo del capital privado sobre el empleo y M_{KP} el efecto directo del capital privado sobre los *inputs* intermedios.

El mayor impacto lo registran el Sector 1 (Alimentos, bebidas y tabaco), seguido a considerable distancia por el Sector 6 (Sustancias químicas y otros productos químicos), el Sector 2 (Textiles, prendas de vestir, cuero y calzado) y en cuarto lugar el Sector 9 (Metales comunes y productos metálicos básicos). Una mayor relevancia adquieren estos resultados si se tiene en cuenta que estos cuatro sectores han sido en los últimos años de los más importantes del tejido industrial colombiano en razón de su VAB y del número de trabajadores que emplean. Los resultados obtenidos para el precio sombra del capital público tienen implicaciones muy importantes desde el punto de vista de la orientación de la política económica en aras de mejorar el desempeño de la economía colombiana y de estimular mayores tasas de crecimiento del PIB.

Las conexiones entre inversión en capital público y empleo se verán con mayor claridad más adelante cuando se analice la elasticidad de sustitución (o complementariedad)

entre el capital público y los dos factores variables incluidos en el modelo (trabajo y consumos intermedios).

Por su parte, las agrupaciones industriales que experimentaron una menor contribución marginal a la reducción de sus costes variables procedente de la inversión en capital físico resultan ser el Sector 3 (Productos de madera, corcho, y accesorios derivados), el Sector 10 (Maquinaria de uso general), y el Sector 11 (Maquinaria y equipo eléctrico, electrónico y científico). La considerable variación en el valor de los precios sombra pone de manifiesto la importancia del análisis a nivel desagregado de la industria manufacturera, pues no todos los sectores obtienen beneficios de las inversiones en infraestructuras en la misma medida.

Debe resaltarse, también, que a lo largo de los dieciséis años de la muestra analizada se presentó una tendencia creciente en la magnitud del precio sombra del capital público (ver Tabla 4(b)). El valor obtenido para los últimos años es sustancialmente mayor que el registrado a comienzos de la década de los noventa. Asimismo, se percibe una mayor aceleración en esta trayectoria creciente del precio sombra a partir del año 2000, hecho que coincide con el despegue de la economía colombiana tras casi dos años de recesión, ocurrida desde finales de 1998 y durante todo 1999, dejando en evidencia la escasez relativa de capital público frente a un mayor nivel de actividad económica.

Con esto, nuevamente se pone de manifiesto el beneficio marginal producido por la inversión en infraestructuras públicas sobre la industria manufacturera colombiana, así como la sugerencia de que mayores inversiones son óptimas para todas las agrupaciones industriales, pero especialmente para los sectores 1, 2 y 6.

En cuanto a los valores del precio sombra del capital privado, Z_{KP} , éstos exhiben un patrón más heterogéneo entre sectores, así como también a lo largo de los años, que el observado para el precio sombra del capital público. Además, sus valores medios globales difieren considerablemente, siendo el precio sombra del capital privado más del doble que el del capital público (ver Tabla 4(a)). Las principales diferencias pueden encontrarse en los promedios temporales, pues, a diferencia de lo ocurrido con éste último, el precio sombra del capital privado aumentó hasta 1998 pero, a partir de ese año, se redujo notablemente hasta llegar en los últimos años de la muestra a valores incluso menores que los del comienzo del periodo analizado, es decir, los primeros de la década de 1990.

Tabla 4(b). Precios sombra y relaciones de sustituibilidad y complementariedad Función de costes generalizada de Leontief. Promedios temporales						
	Z_{KG}	Z_{KP}	L_{KG}	M_{KG}	L_{KP}	M_{KP}
1990	0,0008	0,0166	-0,0063	0,0070	-0,0233	0,0399
1991	0,0028	0,0209	-0,0054	0,0082	-0,0236	0,0445
1992	0,0039	0,0220	-0,0056	0,0094	-0,0267	0,0488
1993	0,0054	0,0275	-0,0047	0,0101	-0,0242	0,0517
1994	0,0073	0,0337	-0,0038	0,0111	-0,0194	0,0532
1995	0,0094	0,0384	-0,0034	0,0127	-0,0173	0,0557
1996	0,0106	0,0420	-0,0026	0,0133	-0,0127	0,0547
1997	0,0120	0,0441	-0,0022	0,0142	-0,0093	0,0533
1998	0,0131	0,0458	-0,0017	0,0148	-0,0035	0,0493
1999	0,0131	0,0455	-0,0011	0,0141	0,0044	0,0411
2000	0,0169	0,0421	-0,0011	0,0180	-0,0006	0,0427
2001	0,0191	0,0359	-0,0011	0,0202	-0,0033	0,0392
2002	0,0203	0,0296	-0,0009	0,0211	-0,0009	0,0305
2003	0,0244	0,0219	-0,0010	0,0253	-0,0034	0,0253
2004	0,0270	0,0158	-0,0009	0,0278	-0,0060	0,0218
2005	0,0280	0,0119	-0,0006	0,0286	-0,0055	0,0174
Promedio global	0,0134	0,0309	-0,0026	0,0160	-0,0110	0,0418

Fuente: Elaboración propia.

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 *inputs* intermedios, L_{KP} el efecto directo del capital privado sobre el empleo y M_{KP} el efecto directo del capital privado sobre los *inputs* intermedios.

De manera interesante, la dinámica del comportamiento del precio sombra del capital privado es similar al camino recorrido por los tipos de interés en Colombia. Como se comentará más adelante, durante toda la década de 1990 los empresarios colombianos convivieron con los tipos de interés más altos de la historia reciente del país, llegando incluso a niveles superiores al 40% anual entre los años 1994 y 1998 (alcanzando el punto máximo en este último año). Esta situación incrementó enormemente el coste de uso del capital, condición que hizo muy gravosa la inversión en capital fijo y pudo desequilibrar la estructura de costes de las empresas.

En cuanto a los valores medios por sectores de Z_{KP} , se destacan principalmente el Sector 2 (Textiles, prendas de vestir, cuero y calzado), el Sector 8 (Productos minerales no metálicos) y el Sector 9 (Metales comunes y productos metálicos básicos) como los que recibieron el mayor impacto positivo. En contraste con lo exhibido por las tres

clasificaciones industriales anteriores, el Sector 3 (Productos de madera, corcho y accesorios derivados), el Sector 10 (Maquinaria de uso general) y el sector 12 (Equipo de transporte), en promedio para los dieciséis años, registraron una menor contribución marginal de la inversión en capital físico privado a la reducción de sus costes variables, llegando a alcanzar valores ligeramente negativos.

Siguiendo con el análisis de los resultados presentados en las Tablas 4(a) y 4(b), a continuación se aportará un nuevo elemento que permitirá una mayor comprensión del valor obtenido para el precio sombra del capital privado en los sectores 10 y 12, y en general, de los resultados de las dos primeras columnas de dicha tabla. Este elemento es la disgregación del precio sombra entre los efectos de la inversión en capital, tanto privado como público, sobre los costes laborales y también sobre los costes asociados a los *inputs* intermedios.

En este sentido, la Tabla 4(a) muestra otra perspectiva importante de los resultados obtenidos, como es la descomposición del precio sombra entre el efecto directo del capital (público o privado) sobre los costes asociados al empleo y sobre los costes asociados a los *inputs* intermedios, es decir, el posible ahorro o utilización de cada uno de los dos factores variables. Como se observa en las dos columnas centrales de la tabla, y empezando por el capital público, puede afirmarse que para los doce sectores éste actuó como factor complementario del trabajo y, a su vez, como factor sustitutivo de los consumos intermedios durante el periodo de dieciséis años estudiado aquí. Los valores medios registrados fueron de -0,0026 y 0,0160, respectivamente.

En otras palabras, un aumento en el *stock* de capital público dio paso a un aumento en los costes laborales a la vez que ocasionó una reducción en los costes asociados al uso de materiales intermedios. Si se observan con más detalle las dos cifras dadas anteriormente puede notarse que la mayor influencia (seis veces mayor) fue ejercida de parte de la reducción de los costes variables vía ahorro de consumos intermedios, en detrimento de la fuerza opuesta ejercida por un aumento mucho menor de los costes variables vía mayor utilización de mano de obra. Esto deja como resultado global que, el signo, y por ende, la relación predominante entre el capital público y los factores de producción variables sea una de sustitución, es decir, lo mismo que se estableció cuando se analizó, el resultado del precio sombra, sólo que ahora se conoce en dónde se origina dicho efecto.

Desde el análisis por sectores productivos, puede destacarse que el mayor efecto de complementariedad entre el *stock* de capital público y el empleo de mano de obra se registró en los sectores 1 (Alimentos, bebidas y tabaco), 5 (Petróleo refinado, combustibles y derivados), 6 (Sustancias químicas y otros productos químicos) y 12 (Equipo de transporte),

los cuales estuvieron por encima de la media industrial. En el otro extremo se encuentran los sectores 3 (Productos de madera, corcho y accesorios derivados) 8 (Productos minerales no metálicos), 10 (Maquinaria de uso general) y 11 (Maquinaria y equipo eléctrico, electrónico y científico), caracterizados por presentar los valores más bajos en la relación complementaria entre capital público y trabajo.

En cuanto al análisis por sectores referente al otro factor variable, la intensidad de la relación sustitutiva entre el capital público y los consumos intermedios no se presenta de manera uniforme entre las doce agrupaciones industriales, destacándose por los mayores efectos de ahorro de costes variables asociados al menor consumo de *inputs* intermedios los sectores 1, 2, 5 y 6, hecho que toma mayor relevancia si se tiene en cuenta que solo estos cuatro sectores representan más de la mitad del VAB industrial de Colombia, y que por tanto, el crecimiento de la productividad de la industria puede llegar a ser significativo.

La Tabla 4(b) muestra la evolución de la relación entre el capital público y los dos factores variables a lo largo de los 16 años estudiados. Puede destacarse que la relación complementaria entre el capital público y el factor trabajo perdió fuerza a medida que transcurrieron los años. De manera diferente se muestra la dinámica de la relación de sustitución entre el capital público y los consumos intermedios, pues ésta ganó intensidad año tras año a lo largo de todo el periodo de estudio, evidenciando un mayor impulso a partir del año 2000.

En el caso de la descomposición del precio sombra del capital privado entre el efecto disminución (o aumento) de los costes laborales y el efecto disminución (o aumento) de los costes asociados a los consumos intermedios, resultados que se muestran en las últimas dos columnas de las Tablas 4(a) y 4(b), puede afirmarse que, en términos generales, este capital mantiene una relación complementaria con el factor trabajo y al mismo tiempo una relación sustitutiva con los *inputs* intermedios.

A partir de las cifras mostradas en dichas tablas puede concluirse que el capital privado ahorró costes asociados con un menor consumo de materiales intermedios en una magnitud que superó en gran medida el incremento en éstos asociado con una utilización adicional de trabajo. Este efecto conjunto se ve reflejado en la magnitud y el signo positivo del precio sombra del capital privado presentado en la segunda columna de las mismas tablas. En cuanto al análisis de los promedios temporales (Tabla 4(b)), la relación complementaria con el factor trabajo se mantiene a lo largo de todos los años, aunque se aprecia que su intensidad fue considerablemente mayor a comienzos de la década de 1990. De igual forma, la relación, en este caso sustitutiva, entre el capital privado y los consumos

intermedios se mantiene durante todo el periodo, si bien se advierte un crecimiento anual en el valor de este efecto hasta 1995, año en que alcanzó su máximo, para luego registrar una leve desaceleración en el resto del periodo.

En síntesis, como ocurrió con las magnitudes de los precios sombra, las cifras de los efectos directos del capital privado sobre los costes asociados a ambos factores variables resultaron bastante superiores a los valores obtenidos para los efectos directos del capital público sobre los costes asociados a los factores variables, comportamiento muy usual observado en la literatura, pero referente a otras economías.

Otra manera interesante de ver los efectos de la inversión en capital público y en capital físico privado sobre la producción de los diferentes sectores industriales es trasladar los precios sombra, por una parte, a elasticidades sombra de los costes con respecto a los dos tipos de capital considerados aquí, el público y el privado, y por otra parte, trasladarlos a las elasticidades del *output* con respecto a esos dos *stocks* de capital. En la Tabla 5(a) se presentarán medidas de estas dos diferentes elasticidades que servirán para complementar el análisis.

Tabla 5(a). Elasticidades del <i>output</i> y de los costes respecto a los dos capitales. Función de costes generalizada de Leontief. Promedios sectoriales				
	ϵ_{YKG}	ϵ_{YKP}	ϵ_{CKG}	ϵ_{CKP}
Alimentos	0,0576	0,0175	-0,1792	0,3737
Textiles	0,0902	0,0787	-0,1276	0,4869
Madera	0,3092	0,1013	-0,2035	0,5194
Papel	0,0824	0,0709	-0,1213	0,4709
Petroquímica	-0,0349	0,0376	-0,1371	0,4551
Química	0,0646	0,0223	-0,1607	0,4240
Caucho-plástico	0,0947	0,0835	-0,1200	0,4592
No-metálicos	0,0870	0,1913	-0,0813	0,6151
Metálicos	0,0908	0,0955	-0,1189	0,4917
Maquinaria	0,2104	0,0184	-0,2200	0,4029
Electrónica	0,1386	0,0925	-0,1193	0,5231
Transporte	0,1105	0,0065	-0,1935	0,2976
Promedio global	0,1084	0,0680	-0,1485	0,4600

Fuente: Elaboración propia.

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

En las dos primeras columnas de la Tabla 5(a) se muestran las elasticidades del *output* con respecto al capital público y al capital privado, respectivamente, para cada uno de

los doce sectores en sus valores medios. Puede apreciarse que ambas elasticidades son menores que 1 (uno) en todos los sectores industriales. Un aumento del *output*, en cada una de las doce industrias, requiere un incremento más que proporcional en el *stock* de capital público o en el *stock* de capital privado.

En el primer caso, la elasticidad (media) del *output* con respecto al capital público es de 0,108, y puede traducirse en que si el *stock* de capital público se incrementara en 1%, entonces el *output* de la industria manufacturera en Colombia se expandirá en una proporción de 0,11% aproximadamente. Este valor estimado de \mathcal{E}_{YKG} puede situarse dentro del rango de valores encontrados en otros estudios realizados bajo la estructura de la función de producción ampliada tipo Cobb-Douglas, por ejemplo, para países como los Estados Unidos y España, y comentados anteriormente en el capítulo de revisión de la literatura.¹⁰

Sin embargo, la elasticidad del *output* respecto al capital público varía considerablemente entre sectores industriales. Destacan como los que registraron el mayor impacto de la inversión en capital público los sectores 3 (Productos de madera, corcho y accesorios derivados), 10 (Maquinaria de uso general), 11 (Maquinaria y equipo eléctrico, electrónico y científico) y 12 (Equipo de transporte). Por otro lado, los sectores menos elásticos a la expansión del *stock* de capital público fueron los sectores 1 (Alimentos, bebidas y tabaco), 5 (Petróleo refinado, combustibles y derivados) y 6 (Sustancias químicas y otros productos químicos), resaltando el signo negativo del sector 5.

Por su parte, la elasticidad del *output* con respecto al capital privado, en términos del promedio global, presenta una magnitud inferior a la del capital público, (0,0680), lo que indica un *efecto productividad* menor de parte de éste. Las variaciones de \mathcal{E}_{YKP} entre industrias también son importantes. Además, desde la Tabla 5(b), puede notarse que la elasticidad del *output* con respecto al capital privado presenta una tendencia decreciente a lo largo de los años estudiados.

¹⁰ Se mencionan explícitamente los estudios que estiman una función de producción porque en éstos el trabajo empírico se basa principalmente en estimar las elasticidades del *output* con respecto a los argumentos de la función de producción.

Tabla 5(b). Elasticidades del <i>output</i> y de los costes respecto a los dos capitales. Función de costes generalizada de Leontief. Promedios temporales.				
	ϵ_{YKG}	ϵ_{YKP}	ϵ_{CKG}	ϵ_{CKP}
1990	-0,1053	0,1995	0,0060	0,2238
1991	0,0224	0,1466	-0,0084	0,2713
1992	0,0260	0,0921	-0,0159	0,2662
1993	0,0688	0,0959	-0,0310	0,3087
1994	0,0920	0,0967	-0,0446	0,4018
1995	0,1115	0,0830	-0,0596	0,4755
1996	0,1250	0,0787	-0,0734	0,5279
1997	0,1368	0,0685	-0,0996	0,5265
1998	0,1523	0,0646	-0,0986	0,6373
1999	0,1812	0,0621	-0,1239	0,6256
2000	0,1649	0,0365	-0,2078	0,5196
2001	0,1598	0,0258	-0,2376	0,5360
2002	0,1626	0,0176	-0,2902	0,5018
2003	0,1562	0,0085	-0,3434	0,5030
2004	0,1438	0,0061	-0,3647	0,5170
2005	0,1366	0,0056	-0,3838	0,5177
Promedio global	0,1084	0,0680	-0,1485	0,4600

Fuente: Elaboración propia.

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

Los resultados promedio, tanto sectoriales como temporales, indican que la productividad marginal del capital público y del capital privado son positivas, por lo que el crecimiento del *output* podría motivar incrementos adicionales en ambos *stocks* de capital, y más aún en infraestructuras públicas, que al registrar un mayor valor de elasticidad incentiva mayores esfuerzos, en este caso no por parte de los industriales sino por parte del sector público, para fomentar el empleo, el aumento de la productividad y el crecimiento económico.

La otra perspectiva interesante (y gran atributo del enfoque dual junto con los precios sombra), la ofrece el análisis de la elasticidad de los costes con respecto al capital público y al capital privado. Las últimas dos columnas de las Tablas 5(a) y 5(b) muestran los valores obtenidos para dichas elasticidades. En primer lugar, debe mencionarse que la elasticidad de los costes con respecto al capital privado, ϵ_{CKP} (donde influye el coste de uso de éste), se muestra positiva.

Esto se presenta porque la disminución en los costes variables causada por la inversión en capital privado, mostrado por el valor positivo del precio sombra, es contrarrestada por el incremento en los costes ocasionado por los pagos que deben hacer las empresas por unidades adicionales de capital fijo (privado). Tal comportamiento puede explicarse a la luz del coste de uso del capital privado, cuyo valor estuvo notablemente alto en todo el periodo de estudio, pero principalmente, a partir de 1994. Este fue muy superior al precio sombra en las doce agrupaciones industriales durante todos los años, y más en los últimos diez años de la muestra. La causa principal del elevado coste de uso del capital privado fue, sin duda, una de las variables clave usada en su construcción, como es el tipo de interés. Entre 1990 y 1999 el tipo de interés pasivo promedio fue de 29,24% anual, mientras que el tipo activo promedio alcanzó un 39,72% anual.¹¹

Al realizar un sencillo ejercicio de simulación con un tipo de interés similar al de algunos países europeos en esos años, los resultados estuvieron más acordes con los valores esperados, y los precios sombra del capital privado llegaron a ser superiores al coste de uso del mismo, y por supuesto, el valor de la elasticidad de los costes con respecto al capital privado, \mathcal{E}_{CKP} , presentó signo negativo, conforme a lo cabría esperar.

A partir del trabajo de Botero *et al.* (2007), el efecto de la tasa de interés real es el más importante en la explicación del descenso del coste de uso del capital privado experimentado entre 2001 y 2005, puesto que explica casi en su totalidad la disminución de éste. De este trabajo también se puede concluir que la disminución de dicha tasa es el principal determinante del aumento de la inversión en activos fijos vivida en Colombia en el periodo estudiado, dada la alta correlación negativa entre el coste de uso del capital y la inversión en capital privado.

Por su parte, el comportamiento de la elasticidad de los costes con respecto al capital público estuvo más acorde a lo esperado, mostrando valores negativos en todos los sectores, destacando las industrias 1 (alimentos, bebidas y tabaco), 3 (productos de madera, corcho y accesorios derivados), 6 (sustancias químicas y otros productos químicos, 10 (maquinaria de uso general) y 12 (equipo de transporte) como las que más sensibilidad registraron en sus costes frente a un aumento del *stock* de capital público. En promedio, la industria manufacturera colombiana exhibió una \mathcal{E}_{CKG} de (-0,1485), indicando que un aumento de 1%

¹¹ Trabajos como el de Moreno *et al.* (2002), entre otros, utilizan como tipo de interés de referencia en la construcción de la serie de coste de uso del capital privado (o precio del capital) la tasa de descuento de los bonos del gobierno a más de dos años. Sin embargo, para el caso colombiano no fue posible encontrar datos fiables para completar el periodo 1990-2005, puesto que esta variable sólo figura en las estadísticas oficiales publicadas por el Banco de la República (banco central de Colombia) a partir de 1999.

en el *stock* de capital público reduce los costes totales de corto plazo de las empresas manufactureras en 0,15% aproximadamente. De este resultado puede interpretarse que el *stock* de capital público de Colombia se encuentra por debajo de su nivel óptimo, y que sería socialmente eficiente aumentarlo, especialmente en regiones en donde se concentren industrias pertenecientes a los sectores 1 (alimentos, bebidas y tabaco), 3 (productos de madera, corcho y accesorios derivados), 6 (sustancias químicas y otros productos químicos), 10 (maquinaria de uso general) y 12 (equipo de transporte).

En síntesis, puede concluirse que el modelo evaluado bajo la estructura de la función de costes generalizada de Leontief, en general, le otorga a la inversión en capital público efectos productividad (\mathcal{E}_{YKG}) y ahorro de costes (\mathcal{E}_{CKG}) mayores que los obtenidos para la inversión en capital privado, aunque los precios sombra (positivos) de uno y otro sean menores en el primero que en el segundo. También puede concluirse que, en términos globales, el capital privado y el capital público se comportan de la misma manera en la estructura de costes de la industria manufacturera colombiana, es decir, actúan como complementarios del factor trabajo y como sustitutivos de los *inputs* intermedios.

Sin embargo, todas estas medidas presentan considerable variación entre industrias, destacando a los sectores alimentos, bebidas y tabaco, productos de madera, corcho y accesorios derivados; sustancias químicas y otros productos químicos; maquinaria de uso general y equipo de transporte como los que percibieron el mayor efecto ahorro de costes totales derivado de las inversiones en capital público. A su vez, en el caso del capital privado sobre salen los sectores alimentos, bebidas y tabaco; sustancias químicas y otros productos químicos; maquinaria de uso general y equipo de transporte.

Mientras que en el caso del ahorro de los costes variables (vía precio sombra) los más beneficiados con las inversiones en capital público fueron los sectores alimentos, bebidas y tabaco; textiles, prendas de vestir, cuero y calzado; metales comunes y productos metálicos básicos. Y, por último, con las inversiones en capital privado los sectores textiles, prendas de vestir, cuero y calzado; papel, cartón e impresos; productos de caucho y de plástico; productos minerales no metálicos y metales comunes y productos metálicos básicos.

Al comparar algunos de los resultados anteriores con los obtenidos, por ejemplo, por Boscá *et al.* (1999) para la industria española en el periodo 1980-1993, también con la estimación de una estructura de costes generalizada de Leontief muy similar a la empleada en este apartado, pueden notarse las mismas relaciones de sustituibilidad y complementariedad entre los factores fijos y los factores variables, esto es, ambos tipos de

capital fueron sustitutivos de los consumos intermedios y complementarios del empleo. Las cifras de los precios sombra del capital público y el capital privado, aunque fueron menores que las de Boscá *et al.* (1999), mostraron el mismo patrón, es decir, las de este último, en promedio, mayores que las del primero.

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 costes. Las desventajas más importantes evidenciadas con el uso de funciones de producción radican en la utilización de supuestos muy restrictivos como pueden ser la imposición de la tecnología (por lo general *Cobb-Douglas*), así como la no consideración de los precios de los *inputs* privados, los cuáles pueden afectar la intensidad de su uso. Asimismo, puede contarse entre ellas la imposición de rendimientos constantes, el ajuste instantáneo, y por ende, la no distinción entre corto y largo plazo, entre otras.

El enfoque dual basado en la función de costes, 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 costes de las empresas. Dentro de esta corriente metodológica también se pueden identificar dos vertientes predominantes: los trabajos que emplean una función de costes generalizada de Leontief y los trabajos que emplean una función de costes translogarítmica.

En este trabajo se ha empleado un modelo evaluado bajo la estructura de la función generalizada de Leontief que, en términos generales, asignó a la inversión en capital público unos efectos productividad (\mathcal{E}_{YKG}) y de ahorro de costes (\mathcal{E}_{CKG}) mayores que los obtenidos para la inversión en capital privado. Sin embargo los valores de los precios sombra, positivos para ambos tipos de capital, fueron mayores para el caso del capital privado. Puede señalarse que, en términos globales, el capital privado actuó en la manufactura colombiana como complementario del factor trabajo en tanto que sustitutivo de los *inputs* intermedios. Estas relaciones de complementariedad y sustitución fueron las mismas entre el capital público y el trabajo y el capital público y los *inputs* intermedios.

Todas estas medidas presentaron una importante variación entre industrias. En el caso de las contribuciones marginales a la reducción de los costes variables (precios sombra), destacarse los sectores 1 (alimentos, bebidas y tabaco), 2 (textiles, prendas de vestir, cuero y calzado), 6 (sustancias químicas y otros productos químicos) y 9 (metales comunes y productos metálicos básicos) como los que percibieron el mayor impacto positivo de las inversiones en capital público, y los sectores 2 (textiles, prendas de vestir, cuero y calzado), 4 (papel, cartón e impresos), 7 (productos de caucho y de plástico), 8 (productos minerales no metálicos) y 9 (metales comunes y productos metálicos básicos) como los que más se beneficiaron de las inversiones en capital privado.

A lo largo del tiempo, debe resaltarse, que los efectos de uno y otro *stock* de capital tuvieron una evolución diferente. Así, la magnitud de los efectos positivos marginales de la inversión en capital público aumentó continuamente durante todo el periodo estudiado, mientras que los beneficios marginales de la inversión en capital privado aumentaron hasta 1998 para luego descender sin pausa hasta 2005. Esto puede explicarse a la luz del aumento desmedido del coste de uso del capital privado registrado principalmente en torno a 1994, ocasionado por los altísimos tipos de interés que soportó la economía colombiana durante la mayor parte del periodo analizado.

Puede deducirse que los resultados obtenidos bajo la estimación de la función de costes generalizada de Leontief referentes a precios sombra, así como a las diferentes elasticidades, son plausibles y cercanos a la realidad colombiana, y a su vez, están más acordes a lo visto en un buen número de trabajos relativos a otras economías en función de las magnitudes de los efectos y de los signos de éstos.

En un sencillo ejercicio de comparación de los resultados anteriores con los obtenidos, por ejemplo, por Boscá *et al.* (1999) para la industria española en el periodo 1980-1993, estimando una función de costes generalizada de Leontief muy similar a la empleada en esta investigación, puede notarse que ambos trabajos comparten las mismas relaciones de sustituibilidad y complementariedad entre los factores fijos y los factores variables, esto es, el capital público y el capital privado fueron sustitutivos de los consumos intermedios y complementarios del empleo. Las cifras de los precios sombra del capital público y el capital privado, aunque fueron menores que las de Boscá *et al.* (1999), mostraron el mismo patrón, es decir, valores sobre del capital privado mayores, en promedio, que los del capital público.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASCHAUER, D.A. (1989): "Is Public Expenditure Productive?" *Journal of Monetary Economics*, 23, págs. 177-200.
- AVILÉS, C.A., R. GÓMEZ y J. SÁNCHEZ (2001): "The Effects of Public Infrastructure on Cost Structure of Spanish Industries". *Spanish Economic Review*, 3, págs. 131-150.
- BOSCÁ, J. E., J. ESCRIBÁ y T. DABÁN (1999): "Capital privado e infraestructuras en la producción industrial regional". *Revista de Economía Aplicada*, Vol. VII, No. 21.
- BOTERO, J.A., A. RAMÍREZ, J.F. PALACIO (2007): "El costo de uso del capital y la inversión en Colombia 1990-2007". *Working Papers de Economía EAFIT*, No. 1. Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.
- CONRAD, K. y H. SEITZ (1994): "The Economic Benefits of Public Infrastructure". *Applied Economics*, 26, págs. 303-311.
- CREEL, J. y POILON, G. (2008): "Is Public Capital Productive in Europe? *International Review of Applied Economics*, Vol. 22, Issue 6, págs. 673-691.
- DE BUSTOS, A., A. CUTANDA, A. DÍAZ, F.J. ESCRIBÁ, M.J. MURGUI, y M.J. SANZ (2008): "La BD. Mores en Base 2000: Nuevas estimaciones y variables". *Documentos de Trabajo-Dirección General de Presupuestos*, Ministerio de Economía y Hacienda, Madrid, España.
- DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, DANE, (Varios años): "Encuesta Anual Manufacturera". Carrera 59 No. 26-70 Interior 1 – CAN, Bogotá, Colombia.
- DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, DANE, (Varios años): "Cuentas Nacionales Anuales". Carrera 59 No. 26-70 Interior 1 – CAN, Bogotá, Colombia.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN, DNP. "Estadísticas de Inversión en Infraestructuras". Dirección de Infraestructura y Energía Sostenible, en: www.dnp.gov.co.
- GARCÍA-MILÁ, T. y T. MCGUIRE (1992): "The Contribution of Publicly Provided Inputs to States' Economies". *Regional Science and Urban economics*, 22, págs. 229-241.
- GRILICHES, Z. (1979): "Issues in assessing the contribution of research and development to productivity growth", *Bell Journal of Economics*, vol. 10, 1, págs. 92-116.
- KAMPS, C. (2004): "New Estimates of Government Net Capital Stocks for 22 OECD Countries 1960-2001", *IMF Working Paper*, No.67.

- LÓPEZ-PUEYO, C., J. SANAÚ, S. BARCENILLA. (2008): “Difusión tecnológica internacional y productividad”. *Revista de Economía Aplicada*, No. 47, vol. XVI, págs. 127-171.
- McFADDEN, D. (1978): “Production Economics: a dual approach to theory dual applications”. *Amsterdam: North-Holland Publishy Company*.
- MAS, M., F. PÉREZ y E. URIEL. (2005): “El *Stock* y los servicios del capital en España, (1964-2002), Nueva Metodología”. *Fundación BBVA*, Bilbao.
- MEADE, J.E. (1952): “External Economies and Diseconomies in a Competitive Situation” *Economic Journal*, No. 62 (March), págs. 54–67.
- MORRISON, C.J. y A.E. SCHWARTZ (1996): “State Infrastructure and Productive Performance”. *The American Economic Review*, 86 (5), págs. 1095-1111.
- MORENO, R., E. LÓPEZ-BAZO y M. ARTÍS (2002): “Public Infrastructure and the Performance of Manufacturing Industries: short and long-run effects”. *Regional Science and Urban Economics*, 32:1, págs. 97-121.
- MUNNELL, A. (1990a): “Why Has Productivity Declined?” Productivity and Public Investment *New England Economic Review*, Federal Reserve Bank of Boston, January/February, págs. 3-22.
- MUNNELL, A. (1990b): “How Does Public Infrastructure Affect Regional Economic Performance?” *New England Economic Review*, Federal Reserve Bank of Boston, September/October, págs. 11-32.
- NADIRI, I. y T. MAMUNEAS (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*, LXXVI (1), 189-198.
- OCDE (2001a): “Measuring Productivity – OECD Manual: Measurement of Aggregate and Industry-level Productivity Growth”. Paris: Organization for Economic Co-operation and Development.
- OCDE (2001b): “Measuring Capital–OECD Manual: Measurement of Capital *Stocks*, Consumption of Fixed Capital and Capital Services”. Paris: Organization for Economic Co-operation and Development.
- O’MAHONY, M., CASTALDI, C., LOS, B., BASRTELSMAN, E., MAIMAITI, Y PENG, F. (2008): “EUKLEMS – Linked Data: Sources and Methods”. Mimeo, University of Birmingham, October, 2008.
- RATNER, J. (1983): “Government Capital and the Production Function of US Private Output”. *Economics Letters*, 13: 213-217.

- SANAÚ, J. (1997): “La contrastación de la hipótesis del capital público en España: principales aportaciones. *Cuadernos Aragoneses de Economía*, 7 (2), págs. 281-314.
- 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*”. Elsevier Science B. V., págs. 39-54.
- SANAÚ, J. (2009): “Recensión del libro: Mas, M. y Schreyer, P. (eds.): Growth, Capital and New Technologies”. *Investigaciones de Historia Económica*, No. 13 (en prensa) (invierno).
- SÁNCHEZ, F., J. RODRÍGUEZ y J. NÚÑEZ (1996): “Evolución y Determinantes de la Productividad en Colombia: un análisis global y sectorial”. *Archivos de Macroeconomía*, DNP, Documento No. 50.
- SCHREYER, P. y J. DUPONT (2006): “OECD Capital Services Estimates: Methodology and a First Set of Results”. En: M. Mas y P. Schreyer (Eds.): “Growth, Capital and New Technologies”. Fundación BBVA, Bilbao, págs. 29-66.
- SCHUMPETER, J (1912): “Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung”, Duncker und Humbolt, (version en español: “Teoría del Desarrollo Económico”. *Fondo de Cultura Económica*, México, 1997).
- SEITZ, H. y G. LICHT (1995): “The Impact of Public Infrastructure Capital on Regional Manufacturing Production Cost”. *Regional Studies*, 29:3, págs. 231-240.
- SOETE, L. y P. PATEL (1985): “Recherche-Développement, importations de technologie et croissance économique. Une tentative de comparaison internationales”, *Revue Économique*, Vol. 36:5, págs. 975-1000.