

INFRAESTRUCTURAS Y EFICIENCIA TÉCNICA: UN ANÁLISIS DE TÉCNICAS FRONTERA*

MARÍA JESÚS DELGADO RODRÍGUEZ
Universidad Rey Juan Carlos

INMACULADA ÁLVAREZ AYUSO
Universidad Complutense de Madrid

Este trabajo amplía la evidencia sobre la contribución de las infraestructuras a la producción privada de las regiones españolas al explorar distintos canales de influencia y diferenciar sus efectos sobre los sectores productivos y entre tipos de equipamientos. Para ello se plantea un modelo de frontera de producción estocástica que tiene como objetivo analizar el papel de las infraestructuras como input productivo y como determinante de los niveles de eficiencia técnica alcanzados. Además, se han utilizado unidades físicas para alcanzar una medida de este capital ofreciendo un enfoque alternativo para cuantificar estos equipamientos. Los resultados confirman una notable contribución de las infraestructuras a la producción privada y su influencia positiva sobre la eficiencia de las regiones españolas. Destaca también la importancia de la composición del capital público y el efecto especialmente relevante en los sectores de industria y servicios destinados a la venta.

Palabras clave: equipamientos de infraestructuras, eficiencia técnica, frontera estocástica.

Clasificación JEL: C14, C23, H54, D24.

Desde la publicación del influyente artículo de Aschauer (1989), el interés por la relación entre las infraestructuras y la actividad económica no ha hecho sino aumentar. Prueba de ello es la continua realización de trabajos y estudios sintéticos de la cuestión [De la Fuente (2000) y Álvarez *et al.* (2003)]. Las razones de esta expansión son varias, destacando entre ellas la relevancia de las infraestructuras en el diseño de política económica. En la mayoría de los países de la OCDE, esta inversión constituye uno de los principales instrumentos de las políticas activas de redistribución regional. Existe, sin embargo, una creciente corriente crítica contra el desarrollo de este tipo de intervención pública, motivada por una supuesta falta de eficacia en la obtención de resultados satisfactorios.

(*) Agradecemos los comentarios y sugerencias recibidas durante el proceso de evaluación y de los asistentes al Seminario del Departamento de Economía Aplicada II de la Universidad de Valencia. Cualquier error u omisión es responsabilidad de las autoras.

Las infraestructuras de una economía generan una amplia gama de efectos, que son difíciles de estimar conjuntamente, cuya magnitud varía dependiendo del periodo, país y tipo de infraestructura. Los estudios realizados han tratado de ofrecer evidencia del papel productivo de las infraestructuras empleando una gran variedad de técnicas de análisis que han dado lugar a resultados muy dispares. Esta falta de uniformidad se ha tratado de justificar por problemas econométricos y de especificación: correlación serial, endogeneidad de los regresores y errores de medida, entre otros. Una limitación de gran parte de estas investigaciones procede de la utilización de funciones que omiten la posibilidad de un uso ineficiente de los factores privados, lo que podría dar lugar a estimaciones sesgadas de la contribución de los inputs y de las posibilidades de producción de la economía, como demuestra Greene (1993).

La medición de la eficiencia técnica con la que actúan las unidades productivas y el estudio de sus determinantes requieren la utilización de técnicas de frontera, sobre las que se ha desarrollado una extensa literatura, si bien su aplicación al análisis de las infraestructuras es reciente. Los estudios disponibles han incorporado estos equipamientos bien en la frontera a estimar o entre los factores que condicionan la eficiencia, empleando tanto métodos de programación lineal [Lynde y Richmond (1999) y Domazlicky y Weber (1997)] como técnicas econométricas [Puig-Junoy (2001), Álvarez y Delgado (2001) y Pedraja *et al.* (1999)].

Una cuestión clave en la evaluación del impacto de estos equipamientos y que también podría justificar la diversidad de resultados está relacionada con la definición de infraestructuras utilizada y su método de estimación. No existe una única delimitación de los equipamientos que forman parte de este capital, del mismo modo que resulta complejo tratar de alcanzar medidas adecuadas en cada caso. Habitualmente, las valoraciones de este tipo de capital se realizan en términos monetarios mediante el método del inventario permanente y se centran en la inversión realizada por las Administraciones Públicas. Existe un menor número de trabajos que emplean unidades físicas, pese a que el uso de éstas permite incorporar equipamientos de infraestructuras financiados por empresas públicas o con participación privada. Estos trabajos, además, son más uniformes en sus resultados, coincidiendo en señalar una contribución favorable de este capital [Canning y Fay (1993) y Sánchez-Robles (1998)].

En este trabajo se analiza el efecto de estos equipamientos sobre los sectores productivos de la economía española, adoptando las distintas opciones señaladas: la incorporación de la eficiencia técnica en la función a estimar y la utilización de unidades físicas para medir el capital, distinguiendo entre las dotaciones de transportes, comunicaciones y energía. A diferencia de otros trabajos, se ha optado por emplear una frontera de producción estocástica para evitar el posible sesgo derivado de asumir que todas las unidades económicas son eficientes. En concreto, se utilizará el modelo de Battese y Coelli (1995) (BC en adelante) que permite analizar simultáneamente el papel de las infraestructuras como input productivo y como determinante de la eficiencia técnica. La desagregación utilizada permite extender el ámbito de estudio de las infraestructuras a sectores y equipamientos no considerados frecuentemente.

El artículo se estructura como sigue. En el segundo apartado se exponen los aspectos más destacados del modelo de frontera de producción estocástica utilizado. El apartado tercero introduce las variables empleadas y describe brevemente el método de elaboración de los indicadores de infraestructuras. A continuación se presenta el método de estimación y se ofrecen los resultados obtenidos. Por último, se recogen las principales conclusiones.

1. METODOLOGÍA

El desarrollo de modelos basados en técnicas de frontera ha contribuido a entender el cuerpo teórico y empírico dedicado a medir la eficiencia técnica tanto de empresas como de sectores productivos y regiones¹. El considerable número de aplicaciones empíricas en las que se pone de manifiesto la existencia de ineficiencias en el uso de los factores productivos privados [Gumbau y Maudos (2002), Beeson y Husted (1989)] ha dado origen a una fecunda línea de investigación que trata de identificar los determinantes de estos resultados.

Para establecer los factores explicativos de la eficiencia, una de las alternativas planteadas ha sido realizar análisis en dos etapas; en primer lugar, se elaboran índices de eficiencia técnica, utilizando para ello tanto técnicas econométricas como métodos de programación lineal, y a continuación se realizan regresiones entre los valores de eficiencia estimados y el vector de variables explicativas que se van a contrastar, entre las que se incluyen a las infraestructuras [Boisso *et al.* (2000) y Maudos *et al.* (1998)]. Este tipo de análisis, sin embargo, no está exento de críticas, ya que como señalan Wang y Schmidt (2002) y Kumbhakar y Lovell (2000), entre otros, conduce a estimaciones sesgadas y contradice, además, el supuesto de que los efectos de la ineficiencia técnica obtenidos en la primera etapa están idénticamente distribuidos e incorrelacionados con el término de error, lo que constituye un requisito para obtener las predicciones de los valores de la ineficiencia. Como alternativa a las estimaciones bietápicas, BC proponen un modelo en el que los parámetros de la frontera de producción estocástica y las variables que influyen en la eficiencia alcanzada por las unidades productivas se estiman conjuntamente (en una etapa).

El punto de partida de nuestra estimación es la siguiente frontera de producción estocástica con un panel de datos:

$$Y_{it} = \text{efp}(X_{it}\beta + v_{it} - u_{it}), \quad \begin{array}{l} t = 1, \dots, T \\ i = 1, \dots, N \end{array} \quad [1]$$

(1) Gran parte de estos trabajos tienen como objetivo la comparación de empresas en áreas concretas. Sin embargo, su uso se ha extendido de manera generalizada al análisis del crecimiento económico y la productividad [Perelman (1995)], ya que la omisión de la ineficiencia, si ésta existe, puede conducir a resultados sesgados. Por ello, y a pesar de las reservas que puede plantear utilizar para datos agregados una metodología inicialmente propuesta para el análisis de empresas, esta opción constituye un marco teórico de estimación apropiado, al permitir introducir el componente de la ineficiencia en la especificación del modelo.

donde Y_{it} es la producción en el periodo t y para la unidad productiva i , X_{it} un vector (1 x k) de variables explicativas y β un vector (k x 1) de parámetros a estimar.

La aproximación paramétrica de la frontera estocástica estima una función de producción en la que la desviación entre el nivel de output observado y el máximo posible tiene dos componentes²: un término de error (v_{it}) que capta el efecto de variables que no están bajo el control de la unidad productiva analizada, y un segundo término (u_{it}) que puede interpretarse como un indicador de ineficiencia. El término v_{it} representa los errores aleatorios independientes e idénticamente distribuidos como una normal con media cero y varianza σ_v^2 e independientemente distribuidos de u_{it} . El indicador de ineficiencia u_{it} está compuesto por variables aleatorias no-negativas, asociadas a la ineficiencia técnica en la producción y obtenidas a partir de la distribución normal truncada³ en cero con media $Z_{it}\delta$ y varianza σ^2 . Por su parte, Z_{it} es un vector (1 x m) de variables explicativas asociadas a la ineficiencia técnica susceptibles de variar a lo largo del tiempo y δ es un vector (m x 1) de coeficientes a estimar.

La ineficiencia técnica u_{it} se puede expresar como:

$$u_{it} = Z_{it} \delta + W_{it} \quad [2]$$

donde el término de error W_{it} sigue una distribución normal truncada en $-Z_{it}\delta$ con media cero y varianza σ^2 . Esta distribución implica que $W_{it} \geq -Z_{it}\delta$ y es consistente con el supuesto distribucional sobre el término de ineficiencia u_{it} .

La principal aportación de la metodología propuesta por BC reside en la posibilidad de analizar los determinantes de la evolución de la ineficiencia técnica de una unidad productiva en términos de un conjunto de variables explicativas que están fuera de su control⁴ y que, además, pueden variar en el tiempo. De esta manera, a diferencia de en otros trabajos e incluso respecto a otras versiones del mismo modelo [Battese y Coelli (1992)]⁵ la estructura del tipo de variación que sigue la ineficiencia es más flexible. Además, tal y como apunta Álvarez (2001),

(2) Este modelo de frontera de producción estocástica fue propuesto de forma simultánea por Aigner, Lovell y Schmidt (1977) y Meeusen y Van den Broeck (1977).

(3) Siguiendo a Battese y Coelli (1995) se ha supuesto que la ineficiencia técnica en producción sigue una distribución normal truncada en cero. Puesto que la ineficiencia sólo puede reducir la producción por debajo de la frontera, es necesario suponer distribuciones asimétricas asociadas a dicho término, siendo igualmente aceptables las distribuciones half-normal y exponencial. En Gumbau y Maudos (1996), se encuentra que los resultados obtenidos siguiendo cualquiera de las distribuciones mencionadas son muy similares.

(4) Battese y Coelli (1995) proponen como posibles regresores en la ecuación de la ineficiencia tanto las variables explicativas de la función de producción como cualquier variable susceptible de determinar cambios en aquella. La dificultad para seleccionar las variables que afectan a la eficiencia constituye una de las principales desventajas del modelo, ya que puede dar lugar a problemas de identificación [Arias (2001)].

(5) El supuesto de ineficiencia invariante en el tiempo es uno de los más restrictivos en una gran parte de la literatura disponible, dando lugar a diferentes alternativas para introducir variabilidad temporal en el término de ineficiencia técnica.

se trata de un modelo de componentes del error⁶ y ofrece la posibilidad de contrastar la variación temporal de la eficiencia técnica.

Otra ventaja ya señalada, radica en que las ecuaciones [1]-[2] pueden ser estimadas simultáneamente por Máxima Verosimilitud⁷. Ello permite obtener la eficiencia técnica de la forma:

$$ET_{it} = \frac{E(\exp(Y_{it})/u_{it}, X_{it})}{E(\exp(Y_{it})/u_{it} = 0, X_{it})} = \exp(-u_{it}) \quad [3]$$

Por tanto, la eficiencia técnica se calcula como la ratio del nivel de producción obtenido respecto al máximo alcanzable, dadas las cantidades de los *inputs*; es decir, cuando $u_{it} = 0$.

2. DATOS E INDICADORES EMPLEADOS

En este trabajo se aplica la metodología descrita al estudio de los efectos de las dotaciones de infraestructuras sobre el total de la economía y los sectores productivos de las regiones españolas para los años 1980-1995. El periodo considerado tiene un especial interés, ya que en él se produjo un aumento de la descentralización de las funciones públicas y la incorporación de España a la Comunidad Europea. Ambos acontecimientos dieron origen a un importante crecimiento de las inversiones públicas destinadas a mejorar las dotaciones regionales de infraestructuras.

Para llevar a cabo este trabajo se han utilizado los datos correspondientes a la producción privada (VAB pm a precios constantes de 1990) y al empleo privado totales de la economía española y sus sectores productivos. La información procede de las series de la Contabilidad Regional del INE y homogeneizadas por Cordero y Gayoso (1996) para los años 1980-1995.

La variable capital privado se refiere al stock de bienes de capital a disposición del sector privado de la economía, excluido el capital residencial, a precios de 1990. Los datos empleados proceden de las series publicadas por la Fundación BBVA, que ofrecen una estimación a escala regional de este stock en los distintos sectores de la economía española para el periodo 1964-1998.

Al abordar el análisis del papel de las infraestructuras productivas en la producción privada se ha optado por utilizar unidades físicas en lugar de datos monetarios, habituales en las estimaciones de este capital⁸. Las unidades físicas no están exentas de problemas de medición, pero permiten utilizar un concepto de capital más amplio, al ser posible la inclusión de equipamientos relevantes para el

(6) Estos modelos emplean la información de que la ineficiencia es de una sola cola, en cuyo caso las unidades productivas eficientes tienen mayor influencia en la estimación de la frontera.

(7) La función de verosimilitud y sus derivadas parciales con respecto a los parámetros del modelo se presentan en Battese y Coelli (1993), donde la primera se expresa en función de los parámetros de la varianza, $\sigma_v^2 = \sigma_v^2 + \sigma^2$ y $\gamma = \sigma^2/\sigma_v^2$.

(8) Para la economía española se dispone de diferentes series en términos monetarios: Fundación BBVA (varios años) y BDMORES [véase Dabán *et al.* (1998)] que se centran en el stock de capital de las Administraciones Públicas.

desarrollo regional aunque tengan algún tipo de participación privada. A su vez, como señala Pritchett (1996), ofrecen una aproximación precisa de la capacidad de servicio, al evitar los problemas relacionados con la utilización de precios y tasas de depreciación para bienes que no se venden en el mercado. Se han realizado con anterioridad trabajos que utilizan aproximaciones a este stock en unidades físicas a escala regional y nacional [Biehl (1986) y Sánchez-Robles (1998)], para estimar su impacto económico también ha sido frecuente su uso en los análisis comparativos realizados por el Banco Mundial [Canning (2000)]. Estos trabajos siguen los mismos criterios para seleccionar las características físicas y técnicas de las infraestructuras que los empleados en esta investigación, pero utilizan métodos de agregación distintos para obtener el indicador.

2.1. *Elaboración de los indicadores de infraestructuras*

La estimación de indicadores que ofrecen una medida de la capacidad de servicio de los componentes más relevantes de las infraestructuras –los equipamientos de transportes, redes de energía y comunicaciones⁹– se ha realizado a partir de la información sobre las características físicas de estos equipamientos. En el cuadro 1 se presentan las categorías estudiadas, las unidades de medida utilizadas y sus fuentes estadísticas.

La construcción del indicador sigue el siguiente esquema:

- Para depurar el efecto tamaño y plantear el análisis en términos de regiones homogéneas, las unidades físicas que permiten caracterizar las dotaciones de infraestructuras se relativizan dividiendo por el tamaño de la región¹⁰.

- Los resultados obtenidos están expresados en distintas unidades de medida. El criterio habitual para hacer comparables estas series consiste en normalizarlas tomando como referencia para transformar la serie la región mejor equipada al inicio del periodo (toma en ese año el valor 100). De este modo, se construye una serie temporal de variables adimensionales (S_{ij}), para cada región i y para cada año j , que recoge información sobre la dinámica de estas dotaciones.

- La agregación de esta información requiere el establecimiento de un sistema de ponderación. El Análisis de Componentes Principales permite que las ponderaciones empleadas se determinen mediante técnicas estadísticas de análisis de datos. En concreto, el indicador se obtiene mediante la suma de todos los componentes ponderados por el porcentaje de varianza total que explica cada uno. Su estimación se realiza a partir de la matriz factorial rotada, que permite calcular empíricamente el indicador de la forma:

$$I = \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} b_{ij} \left(\sum_{j=1}^n Z_j \right)$$

(9) Al incluir los equipamientos de comunicaciones y energía en el indicador elaborado se han excluido estas partidas del stock de capital privado, con objeto de evitar su doble contabilización.

(10) El tamaño de la región se puede medir con criterio de superficie o población, en función de si el equipamiento tiende a tomar un mayor valor a medida que crece el espacio, ya que su función principal es enlazar espacios (equipamientos tipo red), o si aumenta la población, al encontrarse directamente vinculadas a la población a la que prestan sus servicios (equipamientos tipo puntual).

donde $\frac{1}{2} (b_{ij})$ representa a cada uno de los elementos que componen la matriz factorial rotada y Z_j son las variables S_j tipificadas que recogen la información sobre los equipamientos¹¹.

2.2. Principales resultados

El cálculo del indicador propuesto permite analizar el capital de infraestructuras y sus componentes en las regiones españolas. Como es habitual en la elaboración de indicadores, el interés del valor de cada región reside en su comparación con los valores correspondientes a las demás regiones y a su evolución. En el cuadro 2 se presentan los resultados obtenidos para estos indicadores en el promedio del periodo, el ranking de regiones y la tasa de crecimiento del agregado.

El examen de la situación relativa de las infraestructuras pone de manifiesto las importantes diferencias entre regiones: la Comunidad de Madrid, el País Vasco y Cataluña cuentan con las mayores dotaciones y en el extremo opuesto se encuentran Castilla-La Mancha y Extremadura con unos valores muy reducidos. Además, son numerosas las regiones que no alcanzan la media nacional. El análisis por equipamientos ofrece rankings regionales similares a los obtenidos para el conjunto de las infraestructuras y vuelve a mostrar las elevadas diferencias existentes, siendo en los equipamientos de comunicaciones donde se aprecian con mayor intensidad.

La evidencia de las desigualdades regionales en infraestructuras y su posible efecto negativo sobre la capacidad de crecimiento regional ha constituido un argumento habitual en la justificación de la necesidad de incrementar estas dotaciones. A pesar de este hecho y aunque la evolución de los indicadores elaborados muestra una evolución favorable en el conjunto del periodo, los resultados también ponen de relieve las elevadas oscilaciones que han experimentado las tasas de variación de los equipamientos. Tal evolución permite interpretar que las inversiones en infraestructuras han actuado como mecanismo de ajuste de la política presupuestaria en la economía española: así fue en la primera mitad de la década de los ochenta, en la que la prioridad fueron los gastos sociales, experimentando un importante crecimiento en la segunda mitad de tal década, para volver a reducirse en los noventa por la necesidad de lograr el cumplimiento de los criterios de convergencia de la Unión Europea.

(11) Se ha verificado que el peso relativo de los distintos equipamientos se mantiene en la composición del índice general a lo largo del tiempo [Álvarez *et al.* (2000)].

Cuadro 1: INDICADORES DE EQUIPAMIENTOS DE INFRAESTRUCTURA

Infraestructura	Categoría	Unidad de medida	Tipo de equipamiento	Fuente
Transportes	Carreteras	Km de Autopistas Km de carreteras de doble calzada	Red	Informe Anual Ministerio de Fomento
	Ferrocarriles	Km de líneas dobles electrificadas Km de líneas simples electrificadas	Red	Guía y Anuario Estadístico RENFE
	Aeropuertos	Pistas de Aeropuertos	Puntual	Memoria de la Compañía AENA
	Puertos	Muelles Puertos > 4 m	Puntual	Memoria de Actividades D.G. de Puertos y Costas
Comunicaciones	Red telefonía	Nº de líneas de teléfonos	Red	Memoria de la Compañía Telefónica
Energía	Red eléctrica	Km 400 kv Red de electricidad	Red	Memoria de la Compañía Red Eléctrica España
		Km 220 kv Red de electricidad		
		Km 110-132 kv Red de elect.		
		Km < 110 kv Red de elect.		
Red oleoducto	Km red de oleoductos	Red	Memoria de Compañía Sedigas	
Red gasoducto	Km red de gasoductos	Red	Memoria de la Compañía CAMPSA	

Cuadro 2: INDICADORES DE INFRAESTRUCTURAS Y EVOLUCIÓN, 1980-1995

Región	Infraestructuras		Transportes		Comunicaciones		Energía		TVMA 80-85	TVMA 85-90	TVMA 90-95	TVMA 80-95
	Indicador	Ranking	Indicador	Ranking	Indicador	Ranking	Indicador	Ranking				
Andalucía	31	12	31	12	15	12	22	9	7,52	9,14	4,76	7,12
Aragón	25	15	22	15	8	14	22	10	4,99	4,76	3,09	4,28
Asturias	45	9	44	7	29	7	29	7	5,34	4,85	3,69	4,62
Baleares	47	8	64	3	50	4	20	12	7,23	6,97	3,35	5,83
Canarias	51	6	68	2	45	65	11	17	5,69	8,48	5,07	6,40
Cantabria	51	7	55	5	26	8	34	6	5,90	5,61	3,73	5,07
C. León	29	13	23	14	7	15	25	8	6,16	6,95	4,37	5,82
C. Mancha	21	16	15	16	4	17	22	11	8,64	8,95	5,68	7,74
Cataluña	77	3	52	6	66	3	60	3	3,66	5,67	2,51	3,94
Extremadura	15	17	12	17	4	16	15	16	7,33	9,40	5,49	7,39
Galicia	33	11	40	9	19	10	19	13	7,14	7,57	6,59	7,10
Madrid	128	1	59	4	226	1	103	1	2,71	4,49	2,20	3,13
Murcia	26	14	25	13	20	9	16	15	7,11	8,25	5,17	6,84
Navarra	36	10	39	10	14	13	19	14	8,89	5,98	3,54	6,12
Rioja	54	5	38	11	15	11	47	4	7,35	6,73	3,03	5,68
Valencia	54	4	40	8	46	5	35	5	5,91	7,19	4,14	5,74
País Vasco	109	2	79	1	93	2	74	2	3,31	3,96	2,11	3,12
España	36	-	32	-	21	-	27	-	5,01	6,40	3,68	5,02

Nota: La columna de INDICADOR ofrece el valor promedio del periodo de los índices elaborados. A continuación, las tasas de crecimiento medio anual (TVMA) de las infraestructuras.

3. ESTIMACIÓN Y RESULTADOS

La función de producción estocástica [1] ha sido estimada a partir de un panel de datos de los sectores productivos regionales y el total de la economía en el periodo 1980-1995. Para ello, como en la mayor parte de los estudios empíricos realizados, se acepta que la tecnología subyacente a la función de producción es del tipo Cobb-Douglas. A partir de esta función se analizará la contribución de las infraestructuras (y su desagregación en los componentes de transportes, comunicaciones y energía) como un input adicional.

Para comprobar el papel que han jugado los equipamientos de infraestructuras en la evolución y resultados alcanzados por la eficiencia técnica de las regiones españolas se ha definido la ecuación de ineficiencia siguiendo la especificación expuesta en [2], incluyendo como determinantes tanto el stock como sus componentes y una variable temporal¹².

En este trabajo se analizan de manera simultánea estos dos efectos¹³. Por ello se ha incorporado el capital en infraestructuras tanto en la función de producción a estimar como en la ecuación que define la ineficiencia. Ésta es la alternativa más atractiva de las posibilidades que ofrece el modelo BC, al permitir delimitar el impacto directo de estos equipamientos y su influencia en el uso de los factores productivos, aportando una mayor información sobre las vías por las que el capital en infraestructuras influye en el proceso productivo.

La forma funcional que representará la producción sectorial y nacional [1] y la ecuación de ineficiencia [2] para cada una de las las regiones españolas viene dada por:

$$\log Y_{ri}(t) = \beta_0 + \sum_{s=1}^S [\alpha_s \log L_{ri}(t) + \beta_s \log KPRIV_{ri}(t) + \pi_s \log INFRA_{ri}(t) + \varepsilon_s T]^* D_r + v_{ri}(t) - u_{ri}(t) \quad r = 1, \dots, S; i = 1, \dots, I; t = 1, \dots, 16 \quad [4]$$

$$u_{ri}(t) = \delta_0 + \delta_1 T + \delta_2 INFRA + W_{ri}(t) \quad r = 1, \dots, S; i = 1, \dots, I; t = 1, \dots, 16 \quad [5]$$

donde los subíndices hacen referencia: al sector productivo (r y s), a la Comunidad Autónoma (i) y al momento del tiempo (t). $Y_{ri}(t)$ es el valor de la producción privada; $L_{ri}(t)$, el empleo del sector privado; $KPRIV_{ri}(t)$, el valor del stock de capital privado productivo; $INFRA_{ri}(t)$, el stock de infraestructuras productivas (en el análisis por componentes: $TRANS_{ri}(t)$ es el indicador de equipamientos de transportes, $COMUN_{ri}(t)$ es el indicador de equipamientos de comunicaciones y $ENERG_{ri}(t)$ es el indicador de equipamientos de energía). Por último, D_r es una dummy sectorial que toma el valor 1 cuando $r = s$ y 0 en caso contrario. En la

(12) La estimación econométrica de este modelo se ha realizado mediante el programa FRON-TIER 4.1 desarrollado por Coelli (1996).

(13) También se han estimado de manera separada los dos efectos. Los resultados obtenidos no varían de manera sensible de los presentados.

ecuación de ineficiencia, el término T recoge la posibilidad de que la ineficiencia pueda variar con el tiempo. Los supuestos establecidos para los términos v_{it} y u_{it} se han definido en el apartado metodológico.

Como paso previo a la estimación del modelo, se procedió a contrastar el tipo de rendimientos implícitos en la función de producción. Para ello se reparametrizó la ecuación planteada con objeto de contrastar la existencia de rendimientos a escala:

$$\log(Y/L)_{ri}(t) = \beta_0 + \sum_{s=1}^S [\beta_s \log(KPRIV/L)_{ri}(t) + \pi_s \log(INFRA/L)_{ri}(t) + (\alpha + \beta + \pi - 1) \log L_{ri}(t) + \varepsilon_s T]^* D_r + v_{ri}(t) - u_{ri}(t) \quad r = 1, \dots, S; i = 1, \dots, I \text{ y } t = 1, \dots, 16 \quad [6]$$

La no significatividad del coeficiente que acompaña al empleo se interpretaría como indicio de la presencia de rendimientos a escala constantes en el sector r. El cuadro 3 recoge los valores obtenidos de este parámetro y el estadístico t-student diferenciando por columnas las estimaciones para el total de la economía, según incluyan el capital en infraestructuras o sus componentes en la función de producción y en la ecuación de la ineficiencia (Total 1, Total 2 y Total 3), y para los sectores productivos. Los resultados muestran que para el conjunto de la economía y los sectores de industria y de servicios destinados a la venta existen rendimientos crecientes para la totalidad de los inputs. En el sector agrario y de energía se obtienen rendimientos decrecientes, mientras que el sector de la construcción muestra rendimientos constantes. Las estimaciones de la frontera estocástica se han obtenido teniendo en cuenta dichos resultados.

En el cuadro 4 se presentan los parámetros que resultan de la estimación por Máxima Verosimilitud de la función de producción y de la ecuación de ineficiencia. Las tres primeras columnas se refieren al total de la economía y muestran el impacto del capital de infraestructuras (Total 1) y de sus componentes de transportes, comunicaciones y energía, que se incorporan con esta desagregación en la ecuación de la ineficiencia (Total 2) o en la función de producción (Total 3). A continuación, se ofrece la estimación de la frontera con los sectores productivos de agricultura, energía, industria, construcción y servicios destinados a la venta.

Cuadro 3: CONTRASTE DE TIPO DE RENDIMIENTOS

Total 1	Total 2	Total 3	Agricultura	Energía	Industria	Construcción	Serv. D.V.
0,00025	0,00019	0,00015	-0,27	-0,27	0,091	0,0052	0,14
(12,93)**	(1,97)**	(7,52)**	(-4,21)**	(-6,57)**	(3,65)**	(0,33)	(10,73)**

* Parámetro significativo al 90%.

** Parámetro significativo al 95%.

t-estadístico entre paréntesis.

Cuadro 4: ESTIMACIÓN DE LA FRONTERA DE PRODUCCIÓN ESTOCÁSTICA

Variable	Parámetros	Total 1	Total 2	Total 3	Agricultura	Energía	Industria	Construcción	Serv.D.V.
M. de Frontera Estocástica									
Constante	β_0	1,034(2,401)**	0,13 (0,14)	0,62(1,96)**			6,73(33,45)**		
Capital privado(KPRIV/L)	β_s	0,34(6,69)**	0,44(3,78)**	0,39(10,59)**					
Capital Infraestr. (INFRAL)	π_{INFRA}	0,12(6,32)**	0,12 (2,39)**		0,47(14,39)**	0,44(22,29)**	0,14(5,47)**	0,21(7,15)**	0,13(6,31)**
Transporte (TRANS/L)	π_{TRANS}			0,046(3,42)**	-0,18(-3,31)**	-0,28(-8,49)**	0,15(6,37)**	0,013(1,32)*	0,18(12,73)**
Comunicac. (COMUN/L)	π_{COMUN}			0,078(8,15)**					
Energía (ENERG/L)	π_{ENERG}			-0,0043(-0,39)					
Empleo (L)	$(\alpha + \beta + \pi)$	0,00017(5,29)**	0,00019(1,97)**	0,000015(7,52)**	-0,27(-4,41)**	-0,26(-7,48)**	0,091(3,84)**	0	0,14(10,59)**
Tendencia (T)	ε_s	0,027(1,89)**	0,0022(0,91)	0,029(1,96)**	0,021(3,73)**	0,034(8,16)**	0,015(4,78)**	0,011(5,82)**	0,00016(1,086)
Ecuación Ineficiencia									
Constante	δ_0	0,28(4,17)**	0,21(0,904)**	-0,66(-0,49)			3,88(39,97)**		
Tiempo (T)	δ_T	-0,0057(-1,12)	-0,0058(-0,67)	-0,11(-0,39)			-1,36(-32,39)**		
Capital Infraestr. (INFRA)	δ_{INFRA}	-0,0042(-2,56)**		-0,0064(-0,66)			-0,0025(-3,27)**		
Transporte (TRANS)	δ_{TRANS}		-0,0016(-0,53)						
Comunicaciones (COMUN)	δ_{COMUN}		-0,0028(-3,73)**						
Energía (ENERG)	δ_{ENERG}		0,0028(1,52)*						
Parámetros de la varianza	σ_s^2	0,024 (3,75)**	0,0203 (1,76)**	0,12(0,69)			0,17(16,98)**		
	γ	0,78(9,36)**	0,74(0,75)	0,97(22,18)**			0,95(192,66)**		
$H_0: \gamma = \delta_1 = 0$		12,59	26,802	28,12			935,011		
Log. F. Verosimilitud		205,67	212,78	233,16			253,32		

Nota: Los valores críticos empleados en el contraste de frontera estocástica se distribuyen como una chi-cuadrado mixta cuyos valores se pueden consultar en la Tabla 1 del trabajo de Kodde y Palm (1986), pág. 1246.

En este mismo cuadro también se incluyen los contrastes de razón de verosimilitud que permiten justificar la forma funcional empleada. Para ello se contrasta la hipótesis nula de inexistencia de ineficiencia técnica en el término de error ($H_0 : \gamma = \delta_0 = \dots = \delta_N = 0$) y la significatividad conjunta de la especificación de la ecuación de ineficiencia. El rechazo de la hipótesis nula de que el parámetro γ sea igual a cero confirma, en todos los casos, la necesidad de incorporar la ineficiencia técnica en la función de producción, junto al hecho de que una función de producción media supone una representación inadecuada de los datos. De igual manera, se acepta la significatividad conjunta de los regresores que conforman la ecuación de ineficiencia.

Ante el objetivo señalado de analizar el impacto directo de las infraestructuras sobre la actividad productiva, la estimación realizada muestra que este capital es un factor relevante en la explicación de la productividad del sector privado, con una elasticidad de 0,12. Este resultado está en la línea apuntada por otros trabajos [De la Fuente y Vives (1995) y Freire-Serén *et al.* (2002)], en los que se señala la importancia de controlar por el territorio en el análisis de las infraestructuras. Se confirma también el adecuado comportamiento de los indicadores de infraestructuras en unidades físicas, que, como ya se indicó, están normalizados según la dimensión regional.

El modelo empleado permite explorar una segunda vía a través de la cual estas dotaciones afectan al proceso productivo: como condicionantes de la eficiencia con que actúan las unidades productivas. Los resultados del análisis empírico confirman también que las dotaciones de infraestructuras son un factor determinante de los niveles de ineficiencia alcanzados: el signo negativo y significativo del capital de infraestructuras en la ecuación de ineficiencia indica su influencia positiva sobre la eficiencia.

Para identificar las posibles diferencias en el papel de los distintos tipos de infraestructuras, el modelo también se ha estimado introduciendo los equipamientos de transportes, comunicaciones y energía de manera separada. Al analizar su efecto sobre la ineficiencia técnica de la economía (Total 2) y sobre la producción privada (Total 3) se comprueba que la composición del stock de infraestructuras es relevante, ya que no todas las dotaciones contribuyen en igual medida a la generación de los efectos señalados anteriormente. Los equipamientos con un mayor impacto económico son los de comunicaciones, ya que favorecen el crecimiento de la producción privada (con una elasticidad de 0,078) y mejoran la eficiencia productiva de las regiones¹⁴. En el caso de los transportes, destaca su papel como input productivo, con una importante contribución a las ganancias de productividad privada (la elasticidad obtenida es de 0,046), tal y como habían adelantado otros trabajos que analizan estos equipamientos de manera separada para la economía española [Cantos *et al.* (2002)]. En el caso de las redes de energía, sin embargo, no se ha podido comprobar que hayan propiciado un efecto favorable sobre el sector privado.

(14) A pesar de sus destacados efectos sobre la producción, estos equipamientos han recibido atención en un menor número de trabajos, al no estar incluidos en las valoraciones que consideran únicamente las inversiones de las Administraciones Públicas.

Los últimos resultados se refieren a la estimación de la frontera de producción para los sectores productivos de la economía española. Al igual que en Gumbau y Maudos (1996), se ha procedido a estimar las funciones sectoriales de producción como una única frontera tratando de evitar determinados problemas particulares de la estimación de este tipo de funciones. Esto permite que cada uno de los sectores tenga su propia tecnología de producción y, por tanto, distintas elasticidades para los factores productivos. A su vez, la decisión adoptada implica que la constante, los regresores de la ineficiencia y las varianzas de los componentes del residuo sean únicos, al referirse al total de la regresión.

La estimación de la frontera de producción para los sectores productivos permite comprobar que existen diferencias en la contribución de las infraestructuras a cada tipo de actividad, con un mayor efecto de estos equipamientos sobre la productividad privada del sector industrial (una elasticidad de 0,15¹⁵), los servicios destinados a la venta (una elasticidad de 0,18), y, en menor medida, en el sector de la construcción (una elasticidad de 0,013). A diferencia de los sectores citados, en la agricultura y la energía los valores obtenidos muestran un efecto desfavorable, difícil de justificar, que puede tener su origen en las especiales características de estas actividades. Entre otras, la fuerte regulación estatal y la menor competencia externa a la que estuvieron sometidos durante el periodo analizado.

El análisis del efecto de las infraestructuras sobre el nivel y evolución de la eficiencia de los sectores productivos confirma, por tanto, que estos equipamientos han sido un factor condicionante de las diferencias sectoriales y regionales existentes, favoreciendo las mejoras alcanzadas. También se ha comprobado la influencia positiva de la variable temporal sobre la eficiencia técnica¹⁶.

4. CONCLUSIONES

El trabajo realizado ha permitido mostrar la relevancia de las infraestructuras como instrumento de política regional y diferenciar dos canales de influencia en la actividad económica: como inputs productivos y como determinantes de la eficiencia técnica en el uso de los factores productivos. El empleo del modelo BC ha hecho posible el análisis simultáneo de estos efectos tanto para el conjunto de la economía como para cada sector productivo.

La evidencia obtenida para la economía española sobre la contribución de este capital se acerca a la de otros trabajos, con una elasticidad positiva y significativa de 0,12. Parece claro, por tanto, el papel productivo de estos equipamientos, con un efecto favorable sobre la producción del sector privado. Se ha comprobado también que la formación de capital en infraestructuras ha condicionado los niveles y la evolución de la eficiencia de las actividades productivas. Del examen

(15) Otros trabajos sobre el impacto sectorial de estos equipamientos se han centrado en la industria, con resultados también favorables, aunque con coeficientes más elevados que los de esta investigación [Pedraja *et al.* (1999) y Mas *et al.* (1994)].

(16) Al estimar una única frontera para todos los sectores productivos, los regresores de la ecuación de la ineficiencia son comunes sin que sea posible separar la influencia de estos equipamientos sobre la ineficiencia de cada sector.

por sectores, destaca que el impacto económico se localiza en la industria, los servicios destinados a la venta y, en menor medida, en la construcción. Estos resultados están sujetos a las necesarias cautelas que imponen las limitaciones señaladas sobre la estimación de su impacto, pero permiten concluir que las políticas encaminadas a fortalecer la capitalización en infraestructuras contribuyen positivamente a la competitividad de la economía, con un efecto claramente favorable sobre el potencial de crecimiento de las regiones españolas.

Desde el plano metodológico cabe destacar que los índices de infraestructuras utilizados en este trabajo se han elaborado empleando un método de estimación y un nivel de desagregación no habituales en las investigaciones realizadas para la economía española, lo que permite ofrecer un enfoque alternativo a la evidencia previa. Gracias a ello se han podido detectar importantes desigualdades regionales en los equipamientos de transportes, comunicaciones y energía, situándose una gran parte de las regiones españolas por debajo de la media nacional. Tal realidad obliga a subrayar la importancia del mantenimiento de altos niveles de inversión en nuestra economía.

La estimación del impacto desagregado de las infraestructuras muestra que no todas las categorías influyen en igual medida sobre la actividad económica, lo que resulta de especial importancia a la hora de asignar el gasto público en el diseño de las políticas económicas. Destacan en este sentido, los equipamientos de comunicaciones, al contribuir a aumentar la productividad privada y a mejorar la eficiencia productiva de las actividades económicas. Las infraestructuras de transporte son también un factor productivo relevante para explicar la productividad del sector privado, aunque no hayan llegado a constituir un condicionante de las mejoras de eficiencia experimentadas por el conjunto de la economía española. Una posible extensión de este trabajo podría ser la profundización en los efectos de este capital, diferenciando entre distintos modos de transporte y ramas de actividad. La inversión en la red de alta capacidad ha sido destacada en numerosos estudios como uno de los componentes de mayor impacto económico, de manera que un análisis desagregado podría aportar una mayor información sobre la influencia del capital público en la economía española.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aigner, D., C. Lovell y P. Schmidt (1977): "Formulation and estimation of stochastic frontier production function models", *Journal of Econometrics*, 6, págs. 21-37.
- Álvarez, I. y M.J. Delgado (2000): "Las infraestructuras productivas en España: estimación del stock en unidades físicas y análisis de su impacto en la producción privada regional", *Revista Asturiana de Economía*, 19, págs. 205-231.
- Álvarez, I. y M.J. Delgado (2001): *Medición de la eficiencia técnica en la economía española: el papel de las infraestructuras productivas*, Papeles de trabajo del Instituto de Estudios Fiscales, Nº 18, Madrid.
- Álvarez, A., L. Orea y J. Fernández (2003): "La productividad de las infraestructuras en España", *Papeles de Economía Española*, 95, págs. 125-136.
- Álvarez, R. (2001): "Modelos con eficiencia técnica variante en el tiempo" en Álvarez A. (Coord.): *La medición de la eficiencia y la productividad*. Ediciones Pirámide, Madrid.

- Arias, C. (2001): "La estimación de eficiencia en modelos con datos de panel" en Álvarez A. (Coord.): *La medición de la eficiencia y la productividad*. Ediciones Pirámide, Madrid.
- Aschauer, D. (1989): "Is Public Expenditure Productive?", *Journal of Monetary Economics*, 23(2), págs. 177-200.
- Battese, G. y T.J. Coelli (1992): "Frontier production functions, Technical efficiency and Panel data: with application to Paddy Farmers in India", *Journal of Productivity Analysis*, 3, págs. 153-169.
- Battese, G. y T.J. Coelli (1993): *A Stochastic Frontier Production Function incorporating a model for technical inefficiency effects*, Working Paper in Econometrics and Applied Statistics 69/93, Department of Econometrics, University of New England.
- Battese, G. y T.J. Coelli (1995): "A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data", *Empirical Economics*, 20, págs. 325-332.
- Beeson, P. y S. Husted (1989): "Patterns and Determinants of Productive Efficiency in State Manufacturing", *Journal of Regional Science*, 21(1), págs. 15-28.
- Biehl, D. (1986): *The contribution of Infrastructure to the Regional Development*, Commission of the European Communities, Luxemburgo.
- Boisso, D., S. Grosskopf y K. Haynes (2000): "Productivity and Efficiency in the US: Effects of business cycles and Public capital", *Regional Science and Urban Economics*, 30, págs. 663-681.
- Canning, D. y M. Fay (1993): "The Effect of Transportation Networks on Economic Growth", Columbia University (mimeo).
- Canning, D. (2000): *The Social Rate of Return on Infrastructure Investments*, Policy Research Working Paper, N° 2390, World Bank.
- Cantos, P., M. Gumbau-Albert y J. Maudos (2002): "Transport Infrastructure and Regional Growth: Evidence of the Spanish Case", WP-EC 2002-27, IVIE.
- Coelli, T.J. (1996): *A Guide to Frontier Version 4.1: A computer program for stochastic frontier production and cost function estimation*, CEPA Working Paper 96/07, Centre for Efficiency and Productivity Analysis, University of New England, Armidale.
- Cordero, G. y A. Gayoso (1996): *El comportamiento de las economías regionales en tres ciclos de la economía española: primera explotación de una serie (1980-1995) del VAB regional a precios constantes (base 1986)*, Ministerio de Economía y Hacienda, Madrid.
- Dabán, T., A. Díaz, F.J. Escribá y M.J. Murgui (1998): *La Base de Datos BD.MORES*, Documento de trabajo D-98001, Dirección General de Análisis y Programación Presupuestaria. Ministerio de Economía y Hacienda, Madrid.
- De la Fuente, A. y X. Vives (1995): "Infrastructure and Education as Instruments of Regional Policy: Evidence from Spain", *Economic Policy*, 20, págs. 11-54.
- De la Fuente, A. (2000): *Infrastructure and Productivity: A Survey*, Instituto de Análisis Económico, Barcelona, (mimeo).
- Domazlicky, B.R. y W.L. Weber (1997): "TFP in the contiguous United States, 1977-86", *Journal of Regional Science*, 37 págs. 213-33.
- Freyre-Serén, M.J., y J. Alonso (2002): "Infraestructuras públicas y desarrollo económico de Galicia", en A. de la Fuente, M.J. Freyre y J. Alonso, *Infraestructuras y desarrollo regional*, Doc. de Economía 15, Fundación CaixaGalicia.
- Fundación BBVA (Varios años): *El "stock" de capital en España y su distribución territorial*, Bilbao.

- Greene, W. (1993): "The econometric approach to efficiency analysis", en H.O. Fried, C. Lovell y S. Schmidt (eds.): *The Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications*, Oxford, Oxford University Press.
- Gumbau-Albert, M. y J. Maudos (2002): "The determinants of efficiency: the case of the Spanish industry", *Applied Economics*, 34, págs.1941-1948.
- Gumbau-Albert, M. y J. Maudos (1996): "Eficiencia productiva sectorial en las regiones españolas: Una Aproximación Frontera", *Revista Española de Economía*, 13 (2), págs. 239-260.
- Kodde, D. y C. Palm (1986): "Wald criteria for jointly testing equality and inequality", *Econometrica*, 54, págs. 1243-1248.
- Kumbhakar, S. y C. Lovell (2000): *Stochastic Frontier Analysis*. Cambridge University Press.
- Lynde, C. y J. Richmond (1999): "Productivity and Efficiency in the UK: a time series application of DEA", *Economic Modelling*, 16, págs. 105-122.
- Mas, M., J. Maudos, F. Pérez y E. Uriel (1994): "Competitividad, productividad industrial y dotaciones de capital público", *Papeles de Economía Española*, 56, págs. 144-160.
- Maudos, J., J.M. Pastor y L. Serrano (1998): "Convergencia en las regiones españolas: cambio técnico, eficiencia y productividad", *Revista Española de Economía*, 15(2), págs. 235-264.
- Meusen, W. y J. Van Den Broeck (1977): "Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error", *International Economic Review*, 18 (2), págs. 435-444.
- Pedraja, F., J. Ramajo y J. Salinas (1999): "Eficiencia productiva del sector industrial español: un Análisis Espacial y Sectorial", *Papeles de Economía Española*, 80, págs. 51-67.
- Perelman, S. (1995): "R&D, Technological progress and efficiency change in industrial activities", *Review of Income and Wealth*, 41(3), págs. 349-366.
- Pritchett, L. (1996): *Mind Your P's and Q's*, World Bank Policy Research, Working Paper N° 1660.
- Puig-Junoy, J. (2001): "Technical Inefficiency and Public Capital in U.S. States: A Stochastic Frontier Approach", *Journal of Regional Science*, 41(1), págs.75-96.
- Sánchez-Robles, B. (1998): "Infrastructure Investment and Growth: Some Empirical Evidence", *Contemporary Economic Policy*, Vol. XVI, págs. 98-108.
- Wang, H. y P. Schmidt (2002): "One-step and two-step estimation of the effects of exogenous variables on Technical efficiency levels", *Journal of Productivity Analysis*, 18(2), págs. 129-144.

Fecha de recepción del original: julio, 2001

Versión final: julio, 2003

ABSTRACT

This paper offers new evidence on the contribution of public capital to the private production of the Spanish regions, exploring different channels of influence and distinguishing among productive sectors and different kinds of infrastructure endowments. To do this, we base the frontier production function on a stochastic model that allows us to estimate simultaneously the contribution of infrastructures as productive inputs and determinants of efficiency levels. In contrast to other works, we employ physical units to measure the capital in infrastructure. The results confirm the notable contribution of infrastructure to private production and its positive influence on the efficiency of the Spanish regions. Above all, we highlight the importance of the composition of this stock and show its impact on the industrial and services sector.

Key words: infrastructure endowments, technical efficiency, stochastic frontier.

JEL classification: C14, C23, H54, D24.