

LAS INFRAESTRUCTURAS PÚBLICAS Y SUS EFECTOS SOBRE LA PRODUCTIVIDAD PRIVADA DE LAS REGIONES ESPAÑOLAS.

Salinas Jiménez, M^a del Mar

Departamento de Economía Aplicada

Universidad de Extremadura

e-mail: msalinas@unex.es

Resumen

El objetivo de este trabajo es analizar los efectos que presentan las infraestructuras públicas sobre la productividad privada de los factores, descomponiendo para ello el crecimiento de la productividad en cambio técnico y ganancias de eficiencia por medio de unos índices de productividad de Malmquist. Tras presentar la descomposición del crecimiento, pasaremos a estudiar qué factores pueden estar detrás de las diferencias existentes en el crecimiento de la productividad regional, analizando para ello los efectos del ciclo económico, el tamaño relativo de los distintos sectores de actividad, el papel de la inversión en infraestructuras públicas, tanto en la propia región como en las regiones vecinas (*spillovers*), y el peso del *stock* de capital público con relación al *stock* de capital privado.

Palabras clave: .Productividad, infraestructuras públicas, crecimiento económico.

1. Introducción

En el estudio del crecimiento económico es habitual partir de una función de producción en la que el producto total depende de los factores productivos empleados y del nivel de tecnología existente, de forma que el ritmo de crecimiento dependerá de las tasas de acumulación de estos factores y del ritmo de progreso tecnológico. De esta forma, los ejercicios tradicionales de contabilidad del crecimiento descomponen este crecimiento en función de la contribución de la acumulación de los factores, por una parte, y del crecimiento de la productividad total de los factores (PTF), por otra, obtenido este último de forma residual.

Sin embargo, los estudios en la tradición de la contabilidad de crecimiento, y de la teoría de los números índice, asumen de forma implícita que todos los agentes productivos, ya sean empresas, regiones o países, operan de forma eficiente. Bajo este supuesto se identifica el crecimiento de PTF con el cambio tecnológico, ignorando así la posibilidad de que parte de este crecimiento pueda tener su origen en una mejora de los niveles de eficiencia. Para comprobar la existencia de ineficiencias se hace necesario estimar una frontera de producción que represente el máximo producto técnicamente alcanzable, siendo el nivel de ineficiencia la diferencia entre el nivel de producción obtenido y el máximo posible. De esta forma, el crecimiento de la productividad se deberá tanto al progreso técnico, representado por el desplazamiento de la frontera de producción, como a las ganancias de eficiencia, o aproximaciones a la frontera tecnológica.

Recientemente, diversos trabajos se han centrado en el estudio de las ganancias de eficiencia como fuente del crecimiento de la productividad y, en menor medida, de la convergencia. En este sentido, los resultados obtenidos por Färe *et al.* (1994), Perelman (1995), Taskin y Zaim (1997) y Maudos *et al.* (1999) para los países de OCDE, o aquéllos de Beeson y Husted (1989), Domazlicky y Weber (1997) o Boisso *et al.* (2000) para los EE.UU., ponen de manifiesto las diferencias existentes en los niveles de eficiencia de las distintas economías estudiadas. En el caso de España, Gumbau y Maudos (1996), Maudos *et al.* (1998, 2000) y Gumbau (2000) encuentran asimismo diferencias significativas en los niveles de eficiencia, tanto a nivel regional como

sectorial, confirmando la necesidad de considerar las ganancias de eficiencia como una fuente del crecimiento de productividad.

En el contexto de esta literatura, en este trabajo se analiza el crecimiento de la productividad total de los factores experimentado por las regiones españolas entre 1965 y 1995, descomponiendo este crecimiento en ganancias de eficiencia y cambio tecnológico, mediante el cálculo de unos índices de Malmquist. Este análisis se realizará tanto para el conjunto de la economía como a nivel desagregado para los principales sectores de actividad privada. Una vez realizada esta descomposición, nuestro objetivo será determinar qué factores inciden en el crecimiento de la PTF y si su contribución a este crecimiento se manifiesta a través de un cambio tecnológico o por mejoras en los niveles de eficiencia. En numerosos estudios se ha destacado el papel del capital público como factor condicionante de la productividad de los factores privados de producción¹. En este sentido, en el presente trabajo analizamos el papel de las infraestructuras públicas sobre el crecimiento de la PTF, considerando tanto la inversión pública en una región determinada como la inversión en las regiones vecinas con el objetivo de detectar la posible existencia de efectos desbordamiento de la misma (*spillovers*). Asimismo se estudian los efectos de otras variables sobre este crecimiento, considerando como variables explicativas del mismo el capital humano, las asimetrías en el ciclo económico, las dotaciones de capital existente (y su distribución entre capital público y privado) y la estructura sectorial. De acuerdo con estos objetivos, la estructura del trabajo es la siguiente. En el apartado 2 se presenta la metodología utilizada en la aproximación de la frontera de producción, se comentan los resultados obtenidos con relación a los niveles de eficiencia estimados y se descompone el crecimiento observado en ganancias de eficiencia, progreso técnico y acumulación de factores productivos. El apartado 3 se centra en el estudio de las variables que pueden estar condicionando el crecimiento de la PTF, ya sea por sus efectos sobre las ganancias de eficiencia y/o sobre el cambio tecnológico. Por último, en el apartado 4 se presentan las principales conclusiones de este estudio.

¹ En Gramlich (1994), Draper y Herce (1994), De la Fuente (1996) o Sturm *et al.* (1998) puede encontrarse una revisión de la literatura existente con relación a los efectos que el capital público presenta sobre el crecimiento económico.

2. Eficiencia, PTF y crecimiento en las regiones españolas: una aproximación no paramétrica

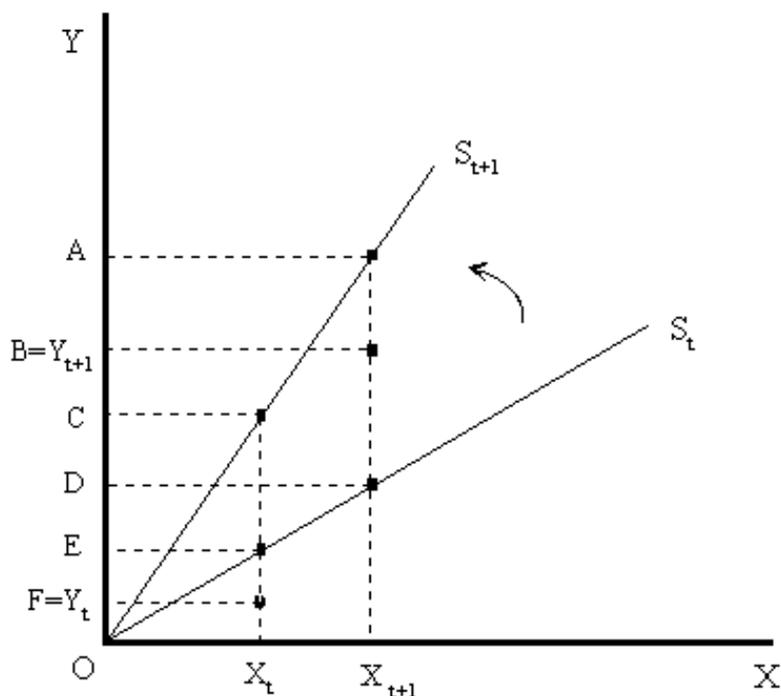
Metodología

Con el objetivo de analizar el crecimiento de la productividad en las regiones españolas, estimamos la frontera tecnológica de producción, que representa el máximo producto técnicamente alcanzable, y los niveles de eficiencia asociados a las distintas regiones, que vendrán dados por el recíproco de la distancia a esta frontera (es decir una distancia mayor a la frontera indica un nivel mayor de ineficiencia). Para estudiar el comportamiento de cada región con relación a la frontera tecnológica utilizamos los índices de productividad propuestos por Färe *et al.* (1994), que permiten estimar las variaciones en los niveles de productividad como la media geométrica de dos índices de Malmquist². Asimismo, estos índices de productividad pueden descomponerse en progreso técnico y cambios en los niveles de eficiencia, lo que nos permitirá analizar qué parte del crecimiento de la productividad se debe a cada uno de estos factores.

Este análisis se ilustra en Figura 1, que se basa en el caso en el que únicamente se consideran un input (X) y un output (Y) para simplificar su representación. Los pares (X_t, Y_t) y (X_{t+1}, Y_{t+1}) representan los valores observados en una economía, mientras que el máximo producto potencial en los periodos t y $t+1$ (puntos E y A) vendría dado por la tecnología de referencia $(S_t$ y $S_{t+1})$. Como puede observarse, el crecimiento de productividad puede tener su origen en un acercamiento a la frontera o en un desplazamiento de la propia frontera de producción. El cambio en la eficiencia relativa (término EC en la ecuación A.5) representa los movimientos hacia la frontera y se muestra gráficamente por la distancia OF-OE y OB-OA. De forma similar, el cambio tecnológico (término TC en la ecuación A.5) se mide por la media geométrica del desplazamiento de la frontera en el período t (la distancia OE-OC) y en $t+1$ (la distancia OD-OA).

² Los índices de productividad de Malmquist empleados, y su descomposición, se presentan de manera formal en el Apéndice.

Figura 1: Descomposición del crecimiento de la PTF



Estimación de la PTF en las regiones españolas

En el presente trabajo se analiza la eficiencia y el crecimiento de la PTF (distinguiendo entre ganancias de eficiencia y cambio técnico) de las Comunidades Autónomas españolas (CC.AA.) entre 1965 y 1995, tanto para el agregado de la economía como para cada uno de los grandes sectores privados de actividad. En cada caso consideramos la existencia de un *output*, el Valor Añadido Bruto al coste de los factores (VABcf), y dos *inputs*, el capital privado (K) y el empleo (L). Los datos correspondientes al VABcf y al empleo proceden de la serie homogénea *La renta nacional de España y su distribución provincial. Serie homogénea 1955 a 1993 y avances 1994 a 1997*, publicada por el Banco Bilbao-Vizcaya (BBV), que proporciona información bienal de estas variables. El VABcf viene expresado en unidades constantes de 1986 para el agregado de la economía y para los cuatro grandes sectores: agricultura, industria, construcción y servicios. No obstante, a partir de la información del VABcf y de los deflatores proporcionados por esta misma fuente para distintos subsectores, es posible distinguir, dentro del sector industrial, entre el sector manufacturero y el sector energético, refiriéndonos en este estudio únicamente a la

industria manufacturera. Asimismo, dentro del sector servicios, descontamos los servicios públicos y el subsector de alquiler de inmuebles (que se excluye del análisis dado que al considerar el capital privado excluimos el capital residencial). Por su parte, el *stock* de capital privado (no residencial) procede de las estimaciones realizadas por el Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas -IVIE- (Mas, Pérez y Uriel (dirs.)) y publicadas en *El Stock de capital en España y su distribución territorial* (4ª ed.) por la Fundación BBV.

Los niveles medios de eficiencia estimados se presentan en el Cuadro 1. El nivel medio de eficiencia de las regiones españolas se sitúa entorno al 81% entre 1965 y 1995, aunque existen diferencias significativas tanto a nivel regional como sectorial. El sector agrícola presenta los peores resultados y la evolución más inestable con relación a los niveles de eficiencia alcanzados. Por su parte, el sector de la construcción muestra unos niveles estables de eficiencia que se sitúan entorno al 90%, mientras que el sector servicios mantiene unos niveles de eficiencia que se sitúan en el intervalo 80-85% a lo largo de todo el periodo. Finalmente, la evolución más favorable se observa en el sector industrial, que partiendo de unos niveles de ineficiencia del 20% en 1965 consigue reducir esta ineficiencia hasta el 6% al final del periodo, siendo este sector el más eficiente a principios de los años noventa. Esta positiva evolución en el sector industrial es común a todas las regiones, destacando además el hecho de que al final del período todas las regiones presentan unos niveles de eficiencia superiores al 85%, lo que pone de manifiesto la importancia que suponen las ganancias de eficacia experimentadas por regiones como Murcia, Galicia, Andalucía, Extremadura, Castilla Mancha y Canarias, donde los niveles de eficiencia se situaban por debajo del 75% en 1965.

Cuadro 1: Eficiencia media (1965-1995)

	Total	Agriculture	Construction	Industry	Services
Andalucía	0.74	0.87	0.89	0.81	0.75
Aragón	0.80	0.76	0.87	0.86	0.83
Asturias	0.75	0.50	0.88	0.93	0.83
Baleares	0.86	0.71	0.92	0.99	0.89
Canarias	0.85	0.85	0.99	0.80	0.87
Cantabria	0.74	0.58	0.90	0.93	0.83
C-la-Mancha	0.72	0.73	0.85	0.77	0.68
Cast. León	0.73	0.63	0.82	0.86	0.72
Cataluña	0.91	0.89	0.87	0.95	0.93

Extremadura	0.69	0.60	0.80	0.76	0.67
Galicia	0.73	0.45	0.85	0.82	0.76
La Rioja	0.89	0.94	0.99	0.83	0.86
Madrid	1.00	0.77	0.86	1.00	1.00
Murcia	0.73	0.87	0.96	0.71	0.78
Navarra	0.85	0.95	0.90	0.93	0.85
País Vasco	0.96	0.97	0.90	1.00	0.89
Valencia	0.80	0.96	0.97	0.88	0.83
Media	0.81	0.77	0.90	0.87	0.82

Una vez analizados los niveles medios de eficiencia, pasamos a descomponer el crecimiento observado por las regiones españolas en función del crecimiento de la PTF, que se descompone asimismo en cambio tecnológico y ganancias de eficiencia, y de la acumulación de los factores privados de producción, calculando esta última de forma residual. La contribución de cada uno de estos componentes al crecimiento se presenta en el Cuadro 2.

Cuadro 2: Descomposición del crecimiento acumulado: 1965-1995 (1965=1)

Agriculture	output	Eff	tech	tfp	fact	Construction	output	eff	tech	tfp	fact
Andalucía	1.870	1.406	2.500	3.517	0.532	Andalucía	2.019	1.110	1.366	1.516	1.331
Aragón	1.109	0.956	2.918	2.789	0.398	Aragón	1.971	1.214	1.750	2.124	0.928
Asturias	1.145	1.062	1.651	1.753	0.653	Asturias	1.228	0.900	1.269	1.142	1.076
Baleares	0.826	1.094	2.572	2.813	0.294	Baleares	2.108	0.900	1.178	1.060	1.987
Canarias	1.364	1.470	1.880	2.764	0.494	Canarias	3.070	1.000	1.651	1.651	1.859
Cantabria	1.050	1.015	2.572	2.611	0.402	Cantabria	1.938	1.015	1.094	1.110	1.746
C.-la-Mancha	1.245	1.288	2.798	3.603	0.346	C.-la-Mancha	3.658	1.078	1.250	1.347	2.715
Cast. León	1.266	1.346	2.645	3.560	0.355	Cast. León	2.101	1.000	1.470	1.470	1.430
Cataluña	1.016	0.834	2.759	2.302	0.441	Cataluña	2.146	1.030	1.078	1.110	1.932
Extremadura	1.315	1.366	2.608	3.562	0.369	Extremadura	2.341	1.094	1.250	1.368	1.711
Galicia	1.294	1.015	1.627	1.652	0.783	Galicia	2.814	1.000	1.214	1.214	2.319
La Rioja	1.186	1.000	3.128	3.128	0.379	La Rioja	2.732	1.000	0.695	0.695	3.933
Madrid	1.409	1.326	2.201	2.919	0.483	Madrid	1.935	0.928	1.581	1.466	1.319
Murcia	2.571	1.346	1.604	2.159	1.191	Murcia	3.361	0.956	1.535	1.468	2.290
Navarra	0.897	1.030	3.217	3.314	0.271	Navarra	1.992	0.873	1.269	1.108	1.798
País Vasco	0.926	0.860	3.000	2.581	0.359	País Vasco	1.643	0.873	1.288	1.124	1.462
Valencia	1.089	0.860	0.956	0.822	1.325	Valencia	2.631	1.062	0.956	1.015	2.593
Media	1.345	1.110	2.297	2.550	0.528	Media	2.197	1.000	1.250	1.250	1.757
Industry	output	Eff	tech	tfp	fact	Services	output	eff	tech	tfp	fact
Andalucía	2.976	1.215	2.612	3.174	0.938	Andalucía	2.577	1.014	0.844	0.856	3.009
Aragón	3.556	1.087	2.545	2.767	1.285	Aragón	2.331	1.072	1.663	1.783	1.307
Asturias	2.718	1.118	2.825	3.158	0.861	Asturias	2.349	1.057	1.641	1.735	1.354
Baleares	1.995	1.000	1.014	1.014	1.968	Baleares	3.827	0.986	1.375	1.356	2.823
Canarias	4.164	1.166	2.116	2.466	1.688	Canarias	4.261	1.232	0.764	0.942	4.525
Cantabria	2.140	1.000	2.825	2.825	0.758	Cantabria	2.326	1.028	1.663	1.710	1.360
C.-la-Mancha	3.859	1.198	1.877	2.249	1.716	C.-la-Mancha	2.304	1.057	1.301	1.376	1.674
Cast. León	3.668	1.198	2.512	3.010	1.219	Cast. León	2.172	1.057	1.472	1.557	1.396
Cataluña	2.516	1.000	2.291	2.291	1.098	Cataluña	2.626	0.986	1.575	1.554	1.690
Extremadura	2.688	1.232	1.232	1.517	1.772	Extremadura	2.185	1.043	0.821	0.856	2.552
Galicia	3.835	1.394	1.755	2.446	1.567	Galicia	2.694	1.072	0.722	0.774	3.480

La Rioja	4.112	1.319	2.033	2.683	1.533	La Rioja	2.635	1.087	1.663	1.808	1.457
Madrid	2.806	1.000	1.755	1.755	1.599	Madrid	2.792	1.000	0.894	0.894	3.125
Murcia	4.336	1.803	1.554	2.802	1.547	Murcia	2.877	0.821	0.945	0.776	3.707
Navarra	4.630	1.182	2.579	3.047	1.520	Navarra	2.594	1.028	1.663	1.710	1.517
País Vasco	2.134	1.000	2.682	2.682	0.796	País Vasco	2.144	0.986	1.492	1.471	1.457
Valencia	3.650	1.182	1.232	1.456	2.508	Valencia	2.931	1.057	1.182	1.250	2.345
Media	2.902	1.166	2.006	2.339	1.241	Media	2.674	1.028	1.215	1.249	2.140
Total			output	eff	tech	tfp	fact				
Andalucía			2.663	1.127	0.985	1.110	2.398				
Aragón			2.508	1.269	1.232	1.563	1.605				
Asturias			2.040	1.307	1.725	2.254	0.905				
Baleares			3.467	1.000	1.513	1.513	2.291				
Canarias			3.809	1.062	1.000	1.062	3.588				
Cantabria			2.291	1.346	1.880	2.531	0.905				
C.-la-Mancha			2.579	1.161	1.015	1.179	2.188				
Cast. León			2.292	1.196	1.030	1.232	1.860				
Cataluña			2.691	1.196	1.750	2.093	1.286				
Extremadura			2.366	1.046	0.970	1.015	2.331				
Galicia			2.667	1.094	0.785	0.859	3.105				
La Rioja			2.800	0.985	0.956	0.942	2.974				
Madrid			2.743	1.000	1.196	1.196	2.294				
Murcia			3.039	1.214	1.144	1.388	2.189				
Navarra			2.858	1.326	1.178	1.563	1.829				
País Vasco			2.285	1.161	1.880	2.183	1.046				
Valencia			3.046	1.144	1.448	1.657	1.839				
Media			2.681	1.144	1.232	1.409	1.903				

Para el agregado de la economía, la contribución de los factores productivos al proceso de crecimiento se sitúa entorno al 65%, lo que pone de manifiesto el intenso proceso de acumulación de capital experimentado por la economía española. Por otra parte, las ganancias de eficiencia permiten explicar alrededor de 40% del crecimiento de la PTF, mientras que el 60% restante se debe al progreso tecnológico. En el ámbito sectorial, las ganancias de eficiencia más importantes se observan en la agricultura y en la industria, siendo también el progreso técnico superior en estos sectores. Por su parte, mientras que la acumulación de los factores privados de producción explica la mayor parte del crecimiento observado en el sector servicios y en el de la construcción, en el sector agrícola la acumulación de los factores contribuye de forma negativa al crecimiento debido a la negativa evolución del empleo en la agricultura. Sin embargo, el crecimiento de la PTF en el sector agrícola compensa esa contribución negativa, haciendo posible el crecimiento económico en este sector. Finalmente, el crecimiento de la PTF es también muy significativo en el sector industrial, donde el crecimiento de la productividad explica un 80% del crecimiento observado.

3. Posibles determinantes de la PTF : el papel de las infraestructuras públicas

En el estudio del crecimiento económico es habitual partir de una función de producción agregada en la que el producto total depende del *stock* de capital privado y del factor trabajo. Adicionalmente, si se supone que la productividad total de estos factores depende de los servicios que se derivan de las dotaciones de capital público existentes, el *stock* de capital público podría introducirse en la función de producción como un factor productivo adicional. En este caso, los resultados obtenidos al estimar la PTF descontarían la influencia de esta variable sobre la producción agregada (Gramlich, 1994). De forma similar podría introducirse el capital humano en la función de producción si consideramos que esta variable puede afectar a la productividad de los factores capital y trabajo. En este sentido, si consideramos de forma explícita el capital público y el capital humano como factores productivos que vienen a sumarse al capital privado y al trabajo, podemos escribir la función de producción como:

$$Y_{it} = A_{it} F(K_{it}, L_{it}, H_{it}, G_{it}) \quad (1)$$

donde Y_{it} es el producto obtenido por una economía i en el periodo t ; A_{it} representa su nivel tecnológico o el grado de eficiencia con que opera dicha economía; y los factores productivos K_{it} , L_{it} , H_{it} y G_{it} son, respectivamente, el capital privado, el trabajo, el capital humano y el capital público.

A partir de esta función de producción, el crecimiento de la producción vendrá dado por la siguiente expresión:

$$\dot{Y}_{it} = \dot{A}_{it} + \varepsilon_{K,it} \dot{K}_{it} + \varepsilon_{L,it} \dot{L}_{it} + \varepsilon_{H,it} \dot{H}_{it} + \varepsilon_{G,it} \dot{G}_{it} \quad (2)$$

donde un punto encima de cada variable representa el crecimiento de la misma y $\varepsilon_{K,it}$, $\varepsilon_{L,it}$, $\varepsilon_{H,it}$, $\varepsilon_{G,it}$, son las elasticidades del producto con relación al capital privado, al trabajo, al capital humano y al capital público, respectivamente.

Reescribiendo la expresión (2) como:

$$\dot{Y}_{i,t} - \varepsilon_{K,it} \dot{K}_{i,t} - \varepsilon_{L,it} \dot{L}_{i,t} = \dot{A}_{i,t} + \varepsilon_{H,it} \dot{H}_{i,t} + \varepsilon_{G,it} \dot{G}_{i,t} \quad (3)$$

podemos observar como la parte del crecimiento del producto no explicada por los factores capital y trabajo se debe tanto a las variaciones de la tecnología, o ganancias de eficiencia, como a los ritmos de crecimiento del *stock* de capital público y humano de la economía.

La descomposición del crecimiento de la productividad en cambio tecnológico y ganancias de eficiencia para cada una de las observaciones de la muestra, realizada en la sección anterior, nos permite estudiar qué variables pueden estar detrás de ese crecimiento de la productividad y si su influencia sobre la misma se manifiesta a través de un avance tecnológico o mediante ganancias de eficiencia. En este sentido, dado que al estimar la productividad total de los factores consideramos únicamente como factores de producción el capital privado y el trabajo, el crecimiento de la PTF se asimilaría, en este caso, con el crecimiento del producto no explicado por estos factores, recogiendo, por tanto, los efectos del capital público y del capital humano sobre dicho crecimiento. En este estudio se consideran asimismo otras variables (i.e. asimetrías en el ciclo económico, la estructura sectorial o la relación entre el sector privado y el público) que podrían estar condicionando el crecimiento de la productividad total de los factores.

Las estimaciones correspondientes al capital público proceden, al igual que las del capital privado, de la publicación de la Fundación BBV *El Stock de capital en España y su distribución territorial* (4ª ed.), descontando en nuestro estudio las dotaciones de capital público en sanidad y educación con el fin de analizar el efecto del capital público productivo sobre el crecimiento de la productividad total de los factores privados³. Por su parte, el capital humano se ha aproximado por el porcentaje de ocupados que han cursado, como mínimo, estudios medios, de manera que consideramos como mano de obra cualificada la comprendida en las tres categorías superiores (estudios medios, anteriores al superior y estudios universitarios).⁴

³ Adicionalmente se incluyen dentro del capital público productivo otras infraestructuras que, sin ser de titularidad pública en sentido estricto, tienen un efecto sobre la economía que no se puede distinguir del ejercido por el capital público propiamente dicho, como pueden ser los puertos autónomos, los aeropuertos o las autopistas de peaje. (Ver metodología en Mas, Pérez y Uriel (1999)).

⁴ Para el caso español, estos indicadores han sido publicados por la Fundación Bancaja (Pérez y Serrano (1998)), presentándose tanto a nivel nacional y regional como a escala sectorial, y distinguiendo 6

Como se comentaba anteriormente, hemos considerado asimismo otras variables que pueden condicionar el crecimiento de la productividad. Si existen asimetrías con relación al ciclo económico, las mayores (menores) tasas de crecimiento podrían ir ligadas a mejoras (empeoramientos) en los niveles de eficiencia con que operan las economías en los distintos momentos del ciclo económico. En este sentido, hemos construido dos variables *dummy* que tratan de reflejar las asimetrías en la respuesta de las regiones frente al ciclo económico, de forma que si el crecimiento de una región es mayor (menor) en una vez la desviación estándar con respecto a la tasa media de crecimiento, la variable *expansión (recesión)* toma el valor 1.

Por otra parte, el crecimiento de la productividad puede verse condicionado por el nivel de productividad del que se parte. Así, cabría esperar que el nivel inicial de eficiencia estuviera positivamente relacionado con el cambio tecnológico, dado que ésta sería la vía que tendrían las regiones que parten de unos mayores niveles de productividad para incrementarla, mientras que las regiones inicialmente menos eficientes podrían incrementar su productividad mejorando sus niveles de eficiencia, de forma que, en este caso, podríamos esperar una relación negativa entre los niveles iniciales de productividad y las ganancias de eficiencia. El efecto total del nivel inicial de productividad sobre el crecimiento de la PTF sería en principio ambiguo como resultado de esos dos efectos contrapuestos.

Otras variables que en principio podrían condicionar el crecimiento de la PTF se refieren a las dotaciones de capital que presente una economía y al peso relativo de los distintos sectores de la misma, tanto en relación con el peso del sector público en la economía como con relación a la estructura sectorial de las actividades privadas. Hemos introducido así en nuestro estudio una variable referida al ratio capital-empleo (K/L), bajo la hipótesis de que aquellas regiones con unas mayores dotaciones de capital por trabajador presentarán un mayor crecimiento de la productividad tanto por el uso más eficiente de los inputs productivos como por la adopción de avances tecnológicos. Con relación a las dotaciones relativas de capital público y privado (G/K), podríamos esperar que las regiones con mayores dotaciones relativas de capital público observaran un

grandes colectivos en función del nivel de estudios realizados: analfabetos, sin estudios, con estudios primarios, con estudios medios, con estudios inmediatamente anteriores a los superiores y, por último, con estudios superiores.

mayor ritmo de crecimiento de la productividad por el «libre» uso que los factores privados pueden hacer de los bienes públicos para aumentar su productividad. Sin embargo, los efectos distorsionadores de la financiación de los bienes públicos, o de expulsión de la inversión privada, podrían hacer que se observara una relación negativa entre este ratio y el crecimiento de la PTF, poniendo en este caso de manifiesto la insuficiente dotación relativa de capital privado. Por último se introducen en este estudio dos variables relativas a la estructura sectorial. Por una parte se considera el peso relativo del sector privado en el total de la economía y, por otra, el peso del sector servicios con relación al industrial⁵, considerando que los diferentes ritmos de adopción de nuevas técnicas productivas o de utilización eficiente de la tecnología existente pueden estar condicionados por la estructura sectorial.

A partir de los índices de Malmquist calculados en el apartado anterior, estimamos los efectos de las distintas variables consideradas sobre el crecimiento de la PTF y sobre cada uno de sus componentes. En los Cuadros siguientes se presentan las estimaciones obtenidas para nuestro panel de datos, tanto en el ámbito agregado (Cuadro 3) como para cada una de las ramas de actividad del sector privado consideradas (Cuadros 4 al 7). En cada caso, en la primera columna se presentan los resultados obtenidos al considerar los efectos del crecimiento del capital público productivo sobre el crecimiento de la PTF (y sobre cada uno de sus componentes) mientras que en la segunda columna se presentan las estimaciones obtenidas al considerar asimismo el capital productivo de las regiones vecinas con el objetivo de estudiar la posible existencia de *spillovers* de la inversión en infraestructuras públicas. Por otra parte, aunque nuestro objetivo no es estudiar los determinantes de la PTF para cada una de las regiones, las diferencias existentes entre las mismas nos lleva a estimar los efectos de estas variables sobre la PTF mediante un modelo de efectos fijos. Los estadísticos del test de Wald indican que las variables explicativas son significativas conjuntamente. Por su parte, los tests de correlación de primer y segundo orden rechazan la hipótesis de no correlación en algunos casos, poniendo de manifiesto la necesidad de analizar con mayor profundidad la estructura dinámica del modelo.

⁵ A nivel agregado se introduce el peso del sector servicios frente al sector industrial como variable que refleja la estructura sectorial. En el análisis sectorial se considera, por su parte, el peso relativo de cada sector frente al total.

Cuadro 3: Factores explicativos de la PTF en el agregado de la economía

TOTAL	TFP		TECH		EFF	
K/L	0.0235 (8.79)	0.0243 (9.09)	0.0152 (6.84)	0.0158 (7.06)	0.0083 (3.96)	0.0085 (4.03)
G/K	-0.2294 (2.10)	-0.2306 (2.18)	-0.1808 (1.99)	-0.1877 (2.13)	-0.0454 (0.53)	-0.0381 (0.46)
NivelProduct	-0.4173 (5.54)	-0.3995 (5.34)	0.0215 (0.34)	0.0318 (0.51)	-0.4523 (7.70)	-0.4455 (7.56)
SectorPvdo	0.2700 (1.60)	0.3222 (1.91)	0.1638 (1.16)	0.1949 (1.38)	0.1062 (0.80)	0.1251 (0.94)
Servicios/Indust	0.0323 (3.75)	0.0286 (3.30)	0.0021 (0.30)	-0.94e-04 (0.01)	0.0304 (4.52)	0.0290 (4.25)
Expansión	0.0203 (2.17)	0.0171 (1.84)	-0.0085 (1.10)	-0.0102 (1.32)	0.02857 (3.90)	0.0271 (3.72)
Recesión	-0.0139 (1.54)	-0.0150 (1.68)	-0.0114 (1.52)	-0.0122 (1.63)	-0.0007 (0.09)	-0.0010 (0.14)
CrecCapHum	0.1788 (3.64)	0.1941 (4.01)	0.2634 (6.45)	0.2712 (6.72)	-0.0895 (2.33)	-0.0823 (2.16)
CrecCapProd	-0.0027 (0.09)		0.0064 (0.25)		-0.0110 (0.46)	
CrecCapProd(vec)		0.1237 (2.12)		0.0814 (1.67)		0.0355 (0.77)
$\hat{\sigma}$	0.0437	0.0433	0.0363	0.0361	0.0341	0.0341
Wald	124.6 [0.000]	131.6 [0.000]	81.73 [0.000]	85.45 [0.000]	116.4 [0.000]	117.0 [0.000]
AR(1)	3.820 [0.000]	3.116 [0.002]	2.356 [0.018]	1.703 [0.089]	-2.665 [0.008]	-2.622 [0.009]
AR(2)	1.060 [0.289]	0.8080 [0.419]	-2.673 [0.008]	-3.054 [0.002]	1.565 [0.118]	1.681 [0.093]

Cuadro 4: Factores explicativos de la PTF en el sector agrícola

AGRICULTURA	TFP		TECH		EFF	
K/L	-0.0044 (0.56)	-0.0100 (1.42)	-0.0110 (1.38)	-0.0159 (2.23)	0.0058 (1.08)	0.0054 (1.00)
G/K	-0.0011 (0.42)	-0.0004 (0.16)	-0.0023 (0.91)	-0.0014 (0.61)	0.0011 (0.66)	0.0009 (0.51)
NivelProduct	-0.0604 (0.73)	-0.1209 (1.61)	0.2210 (2.62)	0.1609 (2.10)	-0.2779 (4.87)	-0.2764 (4.81)
SectorPvdo	0.1349 (0.37)	0.5273 (1.59)	0.1698 (0.46)	0.5909 (1.75)	-0.0502 (0.20)	-0.0912 (0.36)
Agric/Total	-1.2944 (3.63)	-2.0914 (6.20)	-1.2050 (3.30)	-1.9925 (5.80)	-0.1197 (0.48)	-0.1019 (0.39)
Expansión	0.1005 (5.10)	0.0987 (5.52)	0.00595 (0.29)	0.0038 (0.21)	0.0906 (6.64)	0.0910 (6.66)
Recesión	-0.0871 (4.81)	-0.0822 (5.02)	0.0036 (0.20)	0.0097 (0.58)	-0.0849 (6.77)	-0.0862 (6.88)
CrecCapHum	0.0078 (0.43)	0.0256 (1.55)	-0.0154 (0.83)	0.0043 (0.25)	0.0200 (1.60)	0.01759 (1.39)
CrecCapProd	0.2009 (3.09)		0.1532 (2.30)		0.0393 (0.87)	
CrecCapProd(vec)		0.9226 (7.84)		0.9223 (7.70)		-0.0309 (0.34)

$\hat{\sigma}$	0.0958	0.0868	0.0980	0.0883	0.0663	0.0664
Wald	106.8	179.9	24.45	82.88	171.4	170.3
	[0.000]	[0.000]	[0.004]	[0.000]	[0.000]	[0.000]
AR(1)	2.301	2.732	4.004	5.066	1.635	1.786
	[0.021]	[0.006]	[0.000]	[0.000]	[0.102]	[0.074]
AR(2)	-3.130	-1.422	-5.344	-2.583	-0.9801	-0.7796
	[0.002]	[0.155]	[0.000]	[0.010]	[0.327]	[0.436]

Cuadro 5: Factores explicativos de la PTF en el sector de la construcción

CONSTRUCCION	TFP		TECH		EFF	
K/L	-0.0329 (1.04)	0.0111 (0.313)	-0.0565 (2.00)	-0.0088 (0.28)	0.0235 (1.41)	0.0191 (1.02)
G/K	-0.0047 (4.22)	-0.0052 (4.76)	-0.0044 (4.51)	-0.0049 (5.14)	-0.0002 (0.40)	-0.0002 (0.42)
NivelProduct	-0.5912 (4.51)	-0.5904 (4.63)	0.0994 (0.85)	0.0938 (0.83)	-0.6776 (9.88)	-0.6711 (9.90)
SectorPvdo	0.1531 (0.48)	0.1623 (0.52)	0.4490 (1.60)	0.4653 (1.70)	-0.3031 (1.83)	-0.3106 (1.88)
Const/Total	-2.5026 (5.02)	-2.3056 (4.66)	-2.7912 (6.31)	-2.5897 (5.95)	0.2961 (1.13)	0.2887 (1.10)
Expansión	0.0192 (1.18)	0.0196 (1.23)	0.0048 (0.33)	0.0047 (0.33)	0.0139 (1.64)	0.0143 (1.69)
Recesión	-0.0226 (1.42)	-0.0209 (1.34)	0.0053 (0.37)	0.0073 (0.53)	-0.0276 (3.31)	-0.0280 (3.36)
CrecCapHum	0.0665 (2.13)	0.0770 (2.49)	0.0408 (1.47)	0.0523 (1.92)	0.0248 (1.52)	0.0236 (1.43)
CrecCapProd	0.0803 (1.42)		0.0670 (1.33)		0.0125 (0.42)	
CrecCapProd(vec)		0.3584 (3.05)		0.3703 (3.58)		-0.0173 (0.28)
$\hat{\sigma}$	0.0802	0.0790	0.0712	0.0695	0.0420	0.0420
Wald	84.04	93.93	50.49	63.86	140.2	140.0
	[0.000]	[0.000]	[0.000]	[0.000]	[0.000]	[0.000]
AR(1)	1.915	1.776	1.252	1.102	-0.5648	-0.5996
	[0.056]	[0.076]	[0.210]	[0.271]	[0.572]	[0.549]
AR(2)	-0.7467	-0.5803	-0.02398	0.2054	0.8936	0.8947
	[0.455]	[0.562]	[0.981]	[0.837]	[0.372]	[0.371]

Cuadro 6: Factores explicativos de la PTF en el sector industrial

INDUSTRIA	TFP		TECH		EFF	
K/L	-0.0292 (4.25)	-0.0268 (3.83)	-0.0358 (4.58)	-0.0339 (4.24)	0.0060 (1.22)	0.0066 (1.32)
G/K	0.2262 (1.12)	-0.0142 (1.35)	-0.0412 (3.47)	-0.0438 (3.65)	0.0316 (4.27)	0.0301 (4.00)
NivelProduct	-0.3466 (4.59)	-0.3645 (4.82)	-0.0655 (0.76)	-0.0782 (0.90)	-0.2670 (4.99)	-0.2734 (5.07)
SectorPvdo	0.2261 (1.12)	0.3028 (1.48)	0.1401 (0.61)	0.1978 (0.84)	0.0816 (0.57)	0.1062 (0.73)
Indust/Total	0.0281 (0.24)	-0.0166 (0.14)	-0.1611 (1.21)	-0.1913 (1.42)	0.1641 (1.98)	0.1467 (1.75)
Expansión	0.0515	0.0537	0.0078	0.0090	0.0406	0.0417

Recesión	(5.42) -0.0412	(5.69) -0.0433	(0.72) -0.0206	(0.84) -0.0220	(6.03) -0.0196	(6.18) -0.0204
CrecCapHum	(3.55) 0.0529	(3.73) 0.0584	(1.56) 0.0629	(1.66) 0.0679	(2.38) -0.0092	(2.47) -0.0081
CrecCapProd	(1.68) 0.0475	(1.85) 0.0475	(1.75) 0.0222	(1.88) 0.0222	(0.41) 0.0268	(0.36) 0.0268
CrecCapProd(vec)	(1.49)	0.1367 (2.13)	(0.61)	0.0930 (1.27)	(1.19)	0.0523 (1.14)
$\hat{\sigma}$	0.0470	0.0468	0.0535	0.0534	0.0334	0.0334
Wald	235.3 [0.000]	240.1 [0.000]	134.1 [0.000]	136.1 [0.000]	99.19 [0.000]	99.04 [0.000]
AR(1)	-2.870 [0.004]	-2.971 [0.003]	-1.078 [0.281]	-1.204 [0.229]	0.3995 [0.690]	0.5247 [0.600]
AR(2)	-0.3863 [0.699]	-0.3993 [0.690]	-0.8657 [0.387]	-0.8021 [0.422]	-2.730 [0.006]	-2.782 [0.005]

Cuadro 7: Factores explicativos de la PTF en el sector servicios

SERVICIOS	TFP		TECH		EFF	
K/L	-0.0091 (2.22)	-0.0092 (2.21)	-0.0126 (2.65)	-0.0118 (2.47)	0.0040 (2.08)	0.0031 (1.63)
G/K	-0.0463 (1.78)	-0.0375 (1.49)	-0.0321 (1.07)	-0.0251 (0.87)	-0.0144 (1.18)	0.3613 (4.12)
NivelProduct	-0.3039 (2.72)	-0.3188 (2.59)	0.2009 (1.56)	0.2680 (1.89)	-0.5052 (9.62)	-0.5955 (10.7)
SectorPvdo	-0.1764 (0.92)	-0.1950 (1.01)	-0.5653 (2.55)	-0.5488 (2.47)	0.3995 (4.42)	0.3613 (4.12)
Servic/Total	-0.1057 (0.55)	-0.0940 (0.47)	-0.3017 (1.35)	-0.3694 (1.61)	0.1849 (2.03)	0.2722 (3.00)
Expansión	0.0089 (0.70)	0.0095 (0.75)	0.0035 (0.24)	0.0048 (0.33)	0.0053 (0.89)	0.0044 (0.77)
Recesión	-0.0268 (2.43)	-0.0264 (2.38)	-0.0126 (0.98)	-0.0115 (0.90)	-0.0139 (2.66)	-0.0146 (2.91)
CrecCapHum	0.1511 (3.55)	0.1540 (3.62)	0.1404 (2.86)	0.1463 (2.99)	0.0095 (0.48)	0.0062 (0.323)
CrecCapProd	-0.0495 (1.48)		-0.0221 (0.57)		-0.0290 (1.84)	
CrecCapProd(vec)		-0.0680 (0.99)		0.0547 (0.70)		-0.1338 (4.31)
$\hat{\sigma}$	0.0457	0.0459	0.0528	0.0528	0.0215	0.0208
Wald	45.05 [0.000]	43.60 [0.000]	32.03 [0.000]	32.20 [0.000]	111.4 [0.000]	134.1 [0.000]
AR(1)	-0.3449 [0.730]	-0.2385 [0.812]	-0.02807 [0.978]	-0.2164 [0.829]	4.134 [0.000]	4.348 [0.000]
AR(2)	-0.9675 [0.333]	-0.8756 [0.381]	-1.421 [0.155]	-1.681 [0.093]	0.3806 [0.703]	0.3858 [0.700]

Las estimaciones realizadas ponen de manifiesto la relevancia de las variables analizadas a la hora de explicar el crecimiento de la PTF y, lo que resulta de mayor interés, las vías por las que estas variables contribuyen a ese crecimiento. Los efectos de

algunas de las variables analizadas difieren sin embargo, en algunos casos, en los ámbitos agregado y sectorial. A continuación se resumen los principales resultados obtenidos para el agregado de la economía y para los distintos sectores considerados. Centrándonos en el papel de la inversión pública productiva sobre el crecimiento de la PTF, los resultados obtenidos ponen de manifiesto el mayor impacto (y significatividad) de esta variable cuando se considera la existencia de efectos externos entre regiones (*spillovers*). Así, el crecimiento del capital público productivo en la propia región sólo presenta un efecto significativo sobre el crecimiento de la PTF en el sector agrícola. Sin embargo, cuando se considera adicionalmente el crecimiento del capital público productivo en las regiones vecinas, el efecto positivo de la inversión pública productiva sobre el crecimiento de la productividad se manifiesta asimismo en el agregado de la economía y en el resto de los sectores (con la excepción del sector servicios, donde el efecto de esta variable no es significativo), siendo además su efecto en el sector agrícola significativamente mayor. En cualquier caso, a pesar de que su contribución a las ganancias de eficiencia no resulta significativa, la inversión pública, una vez que se consideran los efectos externos de la misma, presenta un efecto significativo sobre el crecimiento de la productividad como consecuencia del aumento de las posibilidades tecnológicas de producción de las economías.

Por su parte, el crecimiento del capital humano contribuye asimismo de forma muy positiva a los incrementos de productividad observados tanto a nivel agregado como en el sector servicios, donde los efectos de esta variable también se ponen de manifiesto por su contribución al cambio tecnológico. En el resto de los sectores, sin embargo, los efectos de esta variable son más reducidos o no significativos.

Como cabía esperar, las asimetrías con relación al ciclo económico están significativamente relacionadas con el crecimiento de la productividad. En este sentido, las variables *expansión* y/o *recesión* resultan significativas (y presentan el signo esperado) tanto en el agregado de la economía como en los distintos sectores analizados, poniendo de manifiesto como aquellas regiones que presentan un mayor ritmo de crecimiento mejoran al mismo tiempo los niveles de eficiencia con que actúan mientras que las regiones con menores ritmos de crecimiento se hacen menos eficientes en el uso de los factores privados de producción.

Al examinar la relación existente entre el nivel inicial de productividad y el crecimiento de la misma se encuentra evidencia en favor del proceso de convergencia

observado por las regiones españolas, siendo las regiones que parten de unos menores niveles de productividad las que registran un mayor crecimiento de la PTF (*catching-up*). Este proceso de convergencia, en términos de productividad, se observa tanto a nivel agregado como en cada uno de los sectores analizados y es el resultado de las ganancias de eficiencia experimentadas por las regiones inicialmente menos eficientes. Así, mientras que la relación entre esta variable y el cambio tecnológico es positiva (aunque significativa únicamente en el caso del sector agrícola), la relación inversa que se observa entre el nivel inicial de productividad y las ganancias de eficiencia se traduce en un mayor crecimiento de la PTF de las regiones inicialmente menos eficientes en todas las ramas de actividad consideradas.

Con relación a las dotaciones de capital existente, aunque los resultados obtenidos a nivel sectorial son más ambiguos, los resultados obtenidos para el agregado de la economía muestran que el *stock* de capital privado contribuye de forma significativa al crecimiento de la productividad. A nivel agregado se observa un efecto positivo y significativo del *stock* de capital privado por empleado mientras que el peso relativo del capital público frente al privado está negativamente relacionado con el crecimiento de la PTF, lo que indicaría una escasez relativa de capital privado en aquellas regiones que presentan un menor crecimiento de la productividad. Esta escasez relativa de capital privado se manifiesta a la hora de explicar el cambio tecnológico, sin que resulte significativa en la explicación de las ganancias de eficiencia en el ámbito agregado. Por el contrario, las ganancias de eficiencia en la industria y en el sector servicios están positivamente relacionadas con el ratio capital público-capital privado, de manera que en estos sectores las mayores dotaciones relativas de capital público presentan un efecto positivo sobre las ganancias de eficiencia. A pesar de este efecto positivo del *stock* de capital público sobre las mejoras en la eficiencia de los factores privados de producción, unas mayores dotaciones relativas de capital privado favorecen el cambio tecnológico. En este sentido, el *stock* de capital privado no sólo condiciona el nivel de producción alcanzado al participar en el proceso productivo como un *input* de producción, sino que al mismo tiempo tiende a favorecer los procesos de innovación y difusión de la tecnología (*embodied technical progress*), contribuyendo de esta forma al progreso técnico y, por tanto, al crecimiento de la productividad.

Por último, la estructura sectorial nos permite asimismo explicar parte del crecimiento de la PTF. En este sentido, las economías con un mayor peso relativo del

sector servicios ven mejorar sus niveles de eficiencia, observando de esta forma un mayor crecimiento de la productividad. El peso relativo del sector privado contribuye asimismo a explicar las ganancias de eficiencia que se observan en el sector servicios, a pesar de que los efectos de esta variable no resultan significativos a la hora de explicar el crecimiento de la PTF.

4. Conclusiones

En este estudio se ha analizado el crecimiento de productividad en las regiones españolas teniendo en cuenta los niveles de eficiencia con que operan las distintas regiones y distinguiendo entre progreso tecnológico (o desplazamiento de la frontera de producción) y ganancias de eficiencia (o aproximación a la frontera tecnológica) como mecanismos diferenciados del crecimiento de productividad. Esta descomposición nos ha permitido estudiar los efectos de diferentes variables sobre el crecimiento de la PTF y las vías por las que estas variables contribuyen a ese crecimiento.

Centrándonos en el papel del capital público como factor condicionante de la PTF se observa que aunque la inversión en capital público productivo en una región presenta un efecto limitado sobre el crecimiento de la PTF, su impacto es positivo, y significativamente mayor, cuando se considera adicionalmente el crecimiento del capital público productivo en las regiones vecinas, poniéndose así de manifiesto la existencia de *efectos desbordamiento* de la inversión pública a nivel regional. Por otra parte, la distribución del *stock* de capital entre capital público y privado incide asimismo en el crecimiento de la PTF. Mientras que unas mayores dotaciones relativas de capital público contribuyen a explicar parte de las ganancias de eficiencia observadas (principalmente en los sectores industrial y de servicios), el papel que el *stock* de capital privado juega en la explicación del progreso técnico es mayor, haciendo que sean las regiones que cuentan con unas mayores dotaciones relativas de capital privado las que, en promedio, observen unos mayores ritmos de crecimiento de la productividad.

Las estimaciones realizadas han puesto asimismo de manifiesto el papel que juega la inversión en capital humano a la hora de explicar el cambio tecnológico. Por su parte, las asimetrías con relación al ciclo económico y los niveles iniciales de eficiencia aparecen como variables relevantes en la explicación de las ganancias de eficiencia observadas. La relación negativa existente entre los niveles iniciales de eficiencia y el

crecimiento de la PTF es reflejo del proceso de convergencia experimentado por las regiones españolas a lo largo del periodo analizado. Por último, cabe destacar como la estructura sectorial condiciona asimismo parte del crecimiento de la PTF. Además, el análisis sectorial realizado refleja la existencia de diferencias significativas entre los distintos sectores de actividad privada, tanto en los niveles de eficiencia alcanzados como en los efectos que las distintas variables consideradas presentan sobre el crecimiento de la PTF, poniendo así de manifiesto el interés de llevar a cabo estudios desagregados al analizar los factores determinantes del crecimiento de la productividad.

Apéndice

En este trabajo utilizamos los índices de productividad propuestos por Färe *et al.* (1994), que permiten estimar las variaciones en los niveles de productividad como la media geométrica de dos índices de Malmquist⁶. Para definir dichos índices de productividad, suponemos que podemos expresar la tecnología de producción, S^t , para cada periodo de tiempo t ($t = 1, \dots, T$) como:

$$S^t = \{(X^t, Y^t) : X^t \text{ puede producir } Y^t\} \quad (\text{A.1})$$

donde X^t e Y^t representan el vector de *inputs* y el vector de *outputs*, respectivamente.

Asumiendo que la tecnología de producción satisface ciertos axiomas⁷, Shephard (1970) define la función distancia en el periodo t como:⁸

$$D_o^t(X^t, Y^t) = \min\{\theta : (X^t, Y^t/\theta) \in S^t\} \quad (\text{A.2})$$

Esta función permite una caracterización completa de la tecnología de producción, de manera que $(X^t, Y^t) \in S^t$ si y sólo si $D_o^t(X^t, Y^t) \leq 1$.

⁶ Índices propuestos por Caves, Christensen y Diewert (1982), basados en el trabajo de Malmquist (1953).

⁷ Véase Shephard (1970) o Färe (1988) para un análisis de dichos axiomas.

⁸ El subíndice *o* indica que la función distancia está definida en términos de *outputs*. El análisis que se realiza a continuación y los índices de productividad desarrollados podrían obtenerse, de forma similar, en términos de *inputs*. Véase, en este sentido, Grosskopf (1993).

Con la finalidad de construir un índice de productividad de Malmquist, siguiendo el trabajo seminal de Caves, Christensen y Diewert (1982), es necesario relacionar el vector de *inputs-outputs* de un periodo de tiempo t , (X^t, Y^t) , con la tecnología de producción del periodo siguiente, S^{t+1} . De esta forma es posible definir:

$$D_o^{t+1}(X^t, Y^t) = \min\{\theta : (X^t, Y^t/\theta) \in S^{t+1}\} \quad (A.3)$$

De forma similar puede definirse $D_o^t(X^{t+1}, Y^{t+1})$; en este caso, el vector de *inputs-outputs* del periodo $t+1$ se compara con la tecnología de producción del periodo anterior. Evidentemente, en presencia de progreso técnico $(X^{t+1}, Y^{t+1}) \notin S^t$ y $D_o^t(X^{t+1}, Y^{t+1}) > 1$.

A partir de los conceptos anteriores, Färe *et al.* (1994) definieron el siguiente índice de productividad de Malmquist:

$$M_o^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1}, X^t, Y^t) = \left[\frac{D_o^t(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D_o^t(X^t, Y^t)} \frac{D_o^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D_o^{t+1}(X^t, Y^t)} \right]^{1/2} \quad (A.4)$$

Puede apreciarse que este índice es la media geométrica de dos índices de productividad de Malmquist⁹. El primero de ellos toma como tecnología de referencia la correspondiente al año t , mientras que el segundo adopta como tecnología de referencia la correspondiente al año $t+1$. Con el índice propuesto por Färe *et al.* se evita tener que realizar una elección arbitraria de una u otra tecnología como base de referencia.

Por otra parte, este índice puede reescribirse como: $M_o^{t+1} = EC \cdot TC$

$$\text{donde } EC = \frac{D_o^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D_o^t(X^t, Y^t)} \quad \text{y} \quad TC = \left[\frac{D_o^t(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D_o^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1})} \frac{D_o^t(X^t, Y^t)}{D_o^{t+1}(X^t, Y^t)} \right]^{1/2} \quad (A.5)$$

⁹ El índice de productividad construido por Färe *et al.* (1994) es ligeramente diferente del propuesto por Caves, Christensen y Diewert (1982), ya que estos últimos autores asumían que $D_o^t(X^t, Y^t)$ y $D_o^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1})$ eran iguales a 1; es decir, suponían que no existía ineficiencia técnica.

representando el término *EC* la variación en los niveles de eficiencia, mientras que el término *TC* recoge los cambios en los niveles de productividad debidos al progreso técnico.

Estimación

El cálculo de estos índices de productividad requiere, por otra parte, estimar las cuatro funciones distancia que aparecen en la expresión (A.5). Una de las técnicas más utilizadas dentro de las aproximaciones no paramétricas¹⁰ es el análisis envolvente de datos (DEA)¹¹. Así, si asumimos la existencia de rendimientos constantes de escala¹², y teniendo en cuenta que la función distancia del *output* es igual a la recíproca de la medida de eficiencia técnica orientada en *outputs* de Farrell¹³, la función $D_o^t(X^t, Y^t)$ podría estimarse resolviendo el siguiente problema de optimización:

¹⁰ En la estimación de la frontera se han utilizado habitualmente tanto aproximaciones paramétricas como no paramétricas. La aproximación paramétrica supone especificar una determinada forma funcional de la frontera, así como asumir una estructura en la distribución del término de ineficiencia, lo que puede condicionar los resultados obtenidos (Grosskopf, 1986). La estimación no paramétrica, por su parte, presenta una mayor flexibilidad, dado que no requiere especificar ninguna forma funcional para la tecnología.

¹¹ Método propuesto por Charnes, Cooper y Rhodes (1978) basado en las medidas de eficiencia de Farrell (1957).

¹² Grifell-Tatjé y Lovell (1995) muestran con un ejemplo sencillo de un *input* y un *output* como los índices de Malmquist pueden no medir de forma correcta los cambios de PTF si se asumen rendimientos variables de escala. Asimismo, el supuesto de rendimientos constantes de escala es condición suficiente para garantizar que existe una solución al problema de optimización, solución que no está garantizada bajo el supuesto de rendimientos variables.

¹³ De forma más específica:

$$\begin{aligned} D_o^t(X^t, Y^t) &= \min\{\theta : (X^t, Y^t/\theta) \in S^t\} \\ &= \left[\max\{\theta : (X^t, \theta Y^t) \in S^t\} \right]^{-1} \\ &= 1 / F_o^t(X^t, Y^t) \end{aligned}$$

donde $F_o^t(X^t, Y^t)$ es la medida de eficiencia de Farrell en términos de *outputs*.

$$\begin{aligned}
& [D'_o(X_t, Y_t)]^{-1} = \max_{\phi, \lambda} \phi \\
s.a \quad & -\phi y_{i,t} + Y_t \lambda \geq 0 \\
& x_{i,t} - X_t \lambda \geq 0 \\
& \lambda \geq 0
\end{aligned} \tag{A.6}$$

Las tres funciones distancia restantes se calculan de forma similar, considerando en cada caso los periodos (t o $t+1$) adecuados.

Bibliografía

1. Beeson, P. y Husted, S. (1989): Patterns and determinants of productive efficiency in state manufacturing, *Journal of Regional Science*, 21 (1), pp. 15-28.
2. Boisso, D. Grosskopf, S. y Hayes, K. (2000): Productivity and efficiency in the US: effects of business cycles and public capital, *Regional Science and Urban Economics*, 30, pp.663-681.
3. Caves, D.W., Christensen, L.R. y Diewert, W.E. (1982): The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output and Productivity, *Econometrica*, vol.50, pp.1393-1414.
4. Charnes, A., Cooper, W.W., y Rhodes, E. (1978): Measuring the Efficiency of Decision Making Units, *European Journal of Operational Research*, vol.2, pp.429-444.
5. Coelli, T. (1996): A Guide to DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program, *Working Paper 96/08*, Centre for Efficiency and Productivity Analysis. University of New England, Australia.
6. Coelli, T., Rao, D.S.P. y Battese, G.E. (1998): *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, Kluwer Academic Publishers.
7. De la Fuente, A. (1996): Infraestructuras y productividad: un panorama de la evidencia empírica, *Información Comercial española*, nº757, pp.25-40.
8. Domazlicky, B.R., y Weber, W.L. (1997): Total Factor Productivity in the contiguous United States, 1977-1986, *Journal of Regional Science*, 37(2), pp.213-233.

9. Draper, M. y Herce, J. (1994): Infraestructuras y crecimiento: un panorama, *Revista de Economía Aplicada*, nº6, vol.II, pp.129-168.
10. Färe, R. (1988): *Fundamentals of Production Theory*. Berlin: Springer-Verlag.
11. Färe, R. y Lovell, C.A.K. (1978): Measuring the Technical Efficiency of Production, *Journal of Economic Theory*, 19, pp.150-162.
12. Färe, R., y Grosskopf, S. (1994): Theory and calculation of the productivity indexes: Revisited, en Eichhorn, W. (ed.), *Models and Measurement of Welfare and Inequality*. Springer-Verlag. Berlin.
13. Färe, R., Grosskopf, S., Norris, M. y Zhang, Z. (1994): Productivity Growth, Technical Progress and Efficiency Changes in Industrialised Countries, *American Economic Review*, vol.84, pp.66-83.
14. Farrell, M. (1957): The Measurement of Productive Efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society (A)*, 120 (3), pp.253-281.
15. Fundación BBV (1999): *La renta nacional de España y su distribución provincial. Serie homogénea 1955 a 1993 y avances 1994 a 1997*. Bilbao.
16. Gramlich, E. (1994): Infrastructure investment: a review essay, *Journal of Economic Literature*, vol.XXXII, pp.1176-1196.
17. Grifell-Tatjé, E. y Lovell, C.A.K. (1995): A note on the Malmquist Productivity Index, *Economics Letters*, 47, pp.169-175.
18. Grosskopf, S. (1986): The role of the reference technology in measuring technical efficiency, *Economic Journal*, 96, pp.499-513.
19. Grosskopf, S. (1993): Efficiency and Productivity, en Fried, Lovell y Schmidt (eds.), *The Measurement of Productive Efficiency*, pp.3-67. Oxford University Press. Nueva York.
20. Gumbau, M. y Maudos, J. (1996): Eficiencia productiva sectorial en las regiones españolas: una aproximación fronterá, *Revista Española de Economía*, vol.13(2), pp.239-260.
21. Gumbau, M. (2000): Efficiency and technical progress: sources of convergence in the Spanish regions, *Applied Economics*, vol.32, pp.467-478.

22. Malmquist, S. (1953): Index Numbers and Indifference Curves, *Trabajos de Estadística*, vol.4, nº 1, pp. 209-242.
23. Mas, M. Maudos, J. Pérez, F. y Uriel, E. (1994): Capital público y productividad en las regiones españolas, *Moneda y Crédito*, nº198, 163-192.
24. Mas, M., Maudos, J., Pérez, F. y Uriel, E. (1998): Public capital, productive efficiency and convergence in the spanish regions (1964-1993), *Review of Income and Wealth*, 44(3), pp.383-396.
25. Mas, M., Pérez, F. y Uriel, E. (1999): *El stock de capital en España y su distribución territorial*, Fundación BBV-IVIE, (4ª ed.), ed. electrónica: <http://bancoreg.fbbv.es/>
26. Maudos, J., Pastor, J. y Serrano, L. (1998): Convergencia en las regiones españolas: cambio técnico, eficiencia y productividad, *Revista Española de Economía*, 15(2), pp.235-264.
27. Maudos, J., Pastor, J. y Serrano, L. (1999): Total factor productivity measurement and human capital in OECD countries, *Economics Letters*, 63(1), pp.39-44.
28. Maudos, J., Pastor, J. y Serrano, L. (2000): Efficiency and productive specialization: an application to the Spanish regions, *Regional Studies*, 34(9), pp.829-842.
29. Mulligan, J. y Sala-i-Martin, X. (1993): Transitional dynamics in two-sector models of endogenous growth, *Quarterly Journal of Economics*, 108(3), pp. 737-773.
30. Nishimizu, M. y Page, J.M. (1982): Total factor productivity growth, technological progress and technical efficiency change: Dimensions of productivity change in Yugoslavia, 1967-1978, *Economic Journal*, 92, pp. 920-936.
31. Perelman, S. (1995): R&D, Technological Progress and Efficiency Change in Industrial Activities, *Review of Income and Wealth*, 41(3), pp.349-366.
32. Pérez, F. y Serrano, L. (1998): *Capital humano, crecimiento económico y desarrollo regional en España (1964-1997)*, Fundación Bancaja.
33. Serrano, L. (1996): Indicadores de capital humano y productividad, *Revista de Economía Aplicada*, nº 10, vol.IV, pp.177-190.
34. Serrano, L. (1999): Capital humano, estructura sectorial y crecimiento en las regiones españolas, *Investigaciones Económicas*, vol.XXIII(2), pp.225-249.

35. Shephard, R.W. (1970): *Theory of Cost and Production Functions*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
36. Sturm, J., Kuper, G. y de Haan, J. (1998): Modelling government investment and economic growth on a macro level: a review, en Brakman, S. y Van Ees, H. (eds.), *Market behaviour and macroeconomic modelling*, McMillan, Londres.
37. Taskin, F. y Zaim, O. (1997): Catching-up and innovation in high and low income countries, *Economic Letters*, 54, pp.93-100.