

EVALUACIÓN DEL NIVEL DE EFICIENCIA PRODUCTIVA DE LOS PAÍSES DE LA
UE: UN ENFOQUE INTERSECTORIAL

*ASSESSING THE LEVEL OF PRODUCTIVE EFFICIENCY IN EU COUNTRIES:
AN INTERSECTORAL APPROACH*

María Jesús Gutiérrez Pedrero
Universidad de Castilla-La Mancha
mariajesus.gutierrez@uclm.es

Miguel Ángel Tarancón Morán
Universidad de Castilla-La Mancha
miguelangel.tarancon@uclm.es

Recibido: abril de 2016; aceptado: diciembre de 2016

RESUMEN

Este artículo propone la medición del grado de eficiencia de un sistema productivo mediante un enfoque basado en el concepto de Tasa de Crecimiento Uniforme de la Economía. Esta tasa se obtiene a partir del autovalor dominante de la matriz de coeficientes técnicos de la tabla input-output del país analizado. A su vez, el autovector derecho asociado a dicho autovalor indica la importancia de los diferentes sectores económicos en términos de su influencia sobre el nivel de eficiencia productiva del sistema. La metodología es aplicada al caso de los países pertenecientes a la Unión Europea.

Palabras clave: Eficiencia productiva; Input-output; Tasa de crecimiento uniforme; Autovalor dominante; Europa.

ABSTRACT

This paper suggests the measurement of the level of efficiency of a productive system by means of an approach based on the concept of Uniform Rate of Growth of the Economy. This rate is obtained from the dominant eigenvector of the matrix of technical coefficients of the input-output table of the analysed country. In turn, the right-eigenvector associated to such an eigenvalue indicates the importance of the economic sectors in terms of their influence over the level of productive efficiency of the system. This methodology is applied to the countries belonging the European Union.

Keywords: Productive Efficiency; Input-Output; Uniform Rate Of Growth; Dominant Eigenvalue; Europe.

Clasificación JEL: C67, D57, F43, P51 .



1. INTRODUCCIÓN¹

La *competitividad* es un concepto que, en relación a las economías nacionales, hace referencia a la capacidad de éstas para ganar cuota de mercado en el comercio internacional (Porter, 1987), lo que contribuye a disfrutar de un crecimiento económico estable y una renta per cápita relativamente elevada (OCDE, 1997).

Entendido de este modo el concepto de competitividad, son diversos los factores que inciden en el nivel que ésta alcanza en un determinado país, como son la productividad, los costes de producción, los precios de los bienes y servicios, y los tipos de cambio. Porter (1990) señala que, de todos ellos, el factor que tiene una mayor incidencia en el grado de competitividad de un país es la *productividad*. Evidentemente, una mejora de la productividad supone crear mayor valor con una menor cantidad de factores productivos, lo cual repercute en el incremento de la competitividad. En definitiva, un país es más competitivo en relación a los otros países con los que comparte mercado, si su productividad crece más que éstos, lo que le pone en ventaja para incrementar su cuota en dicho mercado (WEF, 2014).

A su vez, numerosos autores vinculan el concepto de productividad al de *eficiencia productiva* (Diewert, 1992a, 1992b; Lovell 1993, Grosskopt 1993), siendo ésta una de las principales fuentes de crecimiento de la productividad (Färe *et al.*, 1994). La eficiencia productiva, en este contexto, se entiende en sentido técnico, es decir, como la maximización del nivel de output dada una cantidad de inputs intermedios utilizados para producir tal output, lo que obviamente contribuye a la maximización del valor añadido generado y, por tanto, al incremento de la productividad. Esta mejora de la productividad servirá para incrementar la capacidad para competir con otras economías en unos mercados cada vez más abiertos y globales. Por tanto, el grado de eficiencia productiva de un país es uno de los factores más relevantes a la hora de inferir, vía mejora de la productividad, la capacidad competitiva; por lo que será relevante su medición a fin de analizar de un modo adecuado el grado de competitividad que pueda alcanzar un sistema económico.

¹ Los autores agradecen a los revisores anónimos sus sugerencias y recomendaciones que han contribuido a la mejora del trabajo. Asimismo, quieren advertir que cualquier error presente en el trabajo es únicamente responsabilidad suya.

En la literatura existen diversos métodos para la medida del grado de eficiencia productiva de una economía. En este artículo se propone como medida de eficiencia el concepto clásico de *tasa de crecimiento uniforme* (TCU) de la Economía en el marco Input-Output ya que, además de tener en cuenta el hecho de que cada sistema productivo tiene su propia configuración tecnológica y sectorial, su cálculo permite obtener otras informaciones relevantes acerca del papel que juega cada sector productivo en la mejora de dicho nivel de eficiencia.

En concreto, la TCU de la Economía se obtiene a partir del cálculo del autovalor dominante de la matriz de coeficientes técnicos del sistema input-output de la economía. Ese autovalor tiene asociado un autovector que indica la relevancia de cada sector productivo en relación al grado de eficiencia productiva global del sistema, pudiéndose establecer como sectores básicos en términos de eficiencia a aquellos ligados a los elementos relativamente mayores de dicho autovector.

Este artículo se estructura como sigue. El siguiente apartado revisará diversos enfoques sobre la medición de la eficiencia productiva y presentará la propuesta del cálculo de la TCU de la Economía a partir del autovalor dominante de la matriz de coeficientes input-output. En el tercer apartado se discutirá el significado de los elementos del autovector asociado al autovalor dominante. Un cuarto apartado aplicará los conceptos anteriores al caso de la comparación cuantitativa y cualitativa del grado de eficiencia productiva de los diferentes países de la Unión Europea. El último apartado establecerá las principales conclusiones del trabajo.

2. EFICIENCIA PRODUCTIVA EN EL PLANO INTERSECTORIAL: LA TCU DE LA ECONOMÍA

Partiendo de Debreu (1951) y Farrell (1957), la eficiencia productiva, en el sentido técnico, es una característica de los procesos productivos que implica la utilización de la menor cantidad posible de inputs para obtener un output fijado como objetivo.

A la hora de medir la eficiencia productiva de una economía existen diversas metodologías alternativas. Entre ellas destaca la de la estimación de la función de producción óptima o *Frontera de Posibilidades de Producción* (FPP) a partir de procedimientos de estimación no-paramétricos, principalmente el análisis envolvente de datos o DEA (Seiford y Thrall, 1990). Básicamente, el DEA es una técnica de programación matemática que permite calcular una superficie envolvente o función de producción óptima a partir de los datos observados en el conjunto de unidades productivas estudiadas. El nivel de eficiencia de una unidad concreta vendrá dado por su distancia con respecto a la función estimada, a partir de determinados índices².

² La metodología DEA surge a raíz del trabajo de Rhodes (1978), posteriormente desarrollado por Charnes, Cooper y Rhodes (1978).

Por lo tanto, el DEA permite la evaluación de la eficiencia relativa de cada una de las unidades productivas estudiadas, para lo cual estas unidades deben ser homogéneas, en el sentido de que todas ellas consuman el mismo tipo de inputs para producir el mismo tipo de output. Esto implica que sea necesario, para el cálculo de la función de producción óptima, utilizar la información procedente de las funciones de producción de unidades productivas procedentes de un mismo sector y que, por lo tanto, este enfoque sea apropiado para el estudio de la eficiencia de los diferentes sectores productivos considerados de modo aislado.

En definitiva, la estimación de la FPP para el sistema económico global por medio del DEA adolece del inconveniente de no tener en cuenta que, en realidad, en un sistema económico, los distintos sectores que lo componen están interrelacionados, en el sentido de que el output total de un sistema está compuesto de un mix de outputs sectoriales y, por tanto, refleja diferentes niveles de eficiencia en los diversos sectores económicos del sistema (Nadiri, 1970).

Para intentar superar esta limitación, diversos autores han propuesto el cálculo de la FPP global de la Economía a partir del marco Input-Output (ten Raa y Mohnen, 2001; ten Raa, 2005³; Lin y Shao, 2006; ten Raa, 2007; Prieto y Zofío, 2007), de modo que se pueda tener en cuenta de modo conjunto a la totalidad de los sectores que componen el sistema productivo, bajo la consideración de que cada sector puede alcanzar un nivel de eficiencia diferente que, además, influye, a través de su mix tecnológico, en el grado de eficiencia del resto (Cella y Pica, 2001). De este modo, el estudio de la eficiencia productiva a nivel intersectorial puede asumir cambios tecnológicos concretos y evaluar sus repercusiones en el nivel global de eficiencia productiva del sistema con un nivel de detalle que se escapa a otras metodologías.

No obstante, el enfoque anterior se sustenta en la estimación de la FPP global a partir de las tablas input-output de sistemas económicos que se enfrentan a distintos vectores de demanda final, por lo que sus situaciones no son directamente comparables. Cada sistema productivo puede tener una combinación global de insumos óptima diferente, dado a que se enfrenta a un vector de demanda final diferente al del resto de sistemas, lo que ocasiona que la FPP global pueda entenderse más como un promedio de distintas funciones de producción que como un óptimo válido para todas las economías. Por ello este trabajo propone como alternativa la medición del grado de eficiencia productiva de una economía mediante un enfoque basado en la exploración de las características matriciales de la matriz de coeficientes técnicos del sistema input-output de las economías, en lugar de plantear una FPP óptima común para todas las economías analizadas.

La metodología parte de la idea de que, en un contexto dinámico, existe una relación directa entre eficiencia productiva y la tasa de crecimiento uniforme (TCU) de la Economía (Solow y Samuelson, 1953), entendida como aquella

³ Ten Raa (2005) dedica el capítulo 8 de su libro a plantear la conexión entre la PPF y la función de producción de Cobb-Douglas en el sentido de Solow (1957).

tasa que permitiría a los outputs sectoriales del sistema económico crecer a un mismo ritmo (Takayama, 1985). La TCU representa la situación "ideal" de crecimiento equilibrado de un sistema económico, y la comparación de estas TCU dará una idea del nivel de eficiencia productiva de cada país en términos relativos.

Dada la identidad de demanda de un sistema input-output de n sectores productivos, se tendrá que:

$$x = Ax + y \quad (1)$$

donde x es el vector ($n \times 1$) de outputs sectoriales; A es la matriz ($n \times n$) de coeficientes técnicos de producción de elemento $a_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j}$, siendo x_{ij} las compras por parte del sector j de los insumos producidos por el sector i ; x_j el output total del sector j ; e y el vector ($n \times 1$) de demanda final.

Siguiendo a Takayama (1985), (1) puede adaptarse para recoger la dinámica de crecimiento del output del sistema económico. En concreto, se establece un modelo con un retardo en la producción. Así, llamando $x(t)$ al vector de outputs sectoriales en el período t , se tendrá que, al principio de dicho período (final del período $t-1$), el output generado será $x(t-1)$. De esta forma, se establece la relación:

$$x(t-1) = Ax(t) + y(t) \quad (2)$$

que implica que en un período previo ($t-1$) se producen los bienes para satisfacer tanto los insumos necesarios en la producción futura (período t), como la demanda final de ese período (t) (Nikaidō, 1962). Suponiendo que todos los outputs sectoriales del sistema económico crecen a un mismo ritmo $(1+g)$, siendo g la llamada *tasa de crecimiento uniforme de la Economía* (TCU), se cumplirá que:

$$x(t) = (1+g)x(t-1) \quad (3)$$

Incluyendo ahora (3) en (2) y operando se obtendrá la ecuación:

$$\left(\frac{1}{(1+g)}I - A\right)x(t) = y(t) \quad (4)$$

Si además se impone el cierre del modelo tal que $y(t) = 0 \forall t$ (Nikaidō 1962; Takayama 1985), (4) se convertirá en el sistema de ecuaciones:

$$\left(\frac{1}{(1+g)}I - A\right)x(t) = 0 \quad (5)$$

En (5) se observa que $a_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j}$ es un autovalor de la matriz de coeficientes técnicos A . Dado que A es no-negativa e irreducible, dicha matriz satisface el *Teorema de Perron-Frobenius* (Dietzenbacher, 1988, 1992). Dicho Teorema advierte de la existencia de un número real positivo λ_{max} , autovalor de la matriz de coeficientes A , llamado *autovalor dominante* de A ; de tal manera que cualquier otro autovalor λ_{max} de la matriz A es estrictamente menor que λ_{max} en valor absoluto.



Este autovalor λ_{max} es una raíz simple del polinomio característico de A , por lo que el espacio de autovectores derechos asociados a λ_{max} es unidimensional, de modo que solo puede encontrarse un único vector linealmente independiente, siendo el resto de autovectores proporcionales a éste. Lo mismo ocurre con el espacio de autovectores izquierdos. Ambos autovectores poseen todas sus componentes positivas. Adicionalmente, puede demostrarse fácilmente que $0 < \lambda_{max} < 1$ y que, además, en virtud de la fórmula de *Collatz-Wielandt*, λ_{max} se incrementa cuando algún elemento de A aumenta.

De acuerdo con lo anterior, se tendrá que $\frac{1}{(1+g)} = \lambda_{max}$ y, por tanto:

$$(\lambda_{max}I - A)x(t) = 0 \quad (6)$$

De este modo, se asegura que el factor de crecimiento uniforme del output del sistema productivo $(1+g)$ es positivo, y que dicho factor disminuye cuando se incrementa el valor de cualquier elemento de A . Esto implica, a su vez, una pérdida de eficiencia productiva, ya que conlleva una mayor necesidad de consumos intermedios por unidad de output, en alguno de los sectores productivos, para poder crecer al ritmo $(1+g)$. Por otro lado, una mayor TCU (g) es sinónimo de un mayor grado de eficiencia productiva, ya que implica que, de no existir restricciones impuestas por parte de la demanda final, todos los sectores podrían mantener de modo constante ese mayor ritmo de crecimiento, lo que se debe a que la matriz de insumos intermedios por unidad de output, A , posee, globalmente, una menor magnitud (Duchin y Steenge, 2007).

Por otro lado, hay que tener en cuenta que el vector $x(t)$ no es arbitrario, sino que tiene que ser aquel que cumpla con la ecuación:

$$Ax(t) = \lambda_{max}x(t) \quad (7)$$

Llamando z al autovector derecho asociado a λ_{max} , la solución vendrá dada por $x(t) = z$. En realidad, z indica las proporciones de los diversos outputs sectoriales coherentes con el crecimiento uniforme de los sectores al ritmo marcado por la TCU de la Economía, ya que solo bajo estas proporciones los sectores del sistema productivo podrán crecer a dicho ritmo.

3. SIGNIFICADO DE LOS ELEMENTOS DEL AUTOVECTOR DERECHO ASOCIADO A LA TCU: IDENTIFICACIÓN DE LOS SECTORES BÁSICOS EN TÉRMINOS DE EFICIENCIA.

Según la composición del autovector derecho z asociado a λ_{max} , existirán ciertos sectores cuya proporción de output sectorial respecto al total del sistema productivo es relativamente mayor a la de otros, a la hora de producir de acuerdo al ritmo de crecimiento $(1+g)$. Estos sectores pueden ser considerados como aquellos que poseen mayor influencia sobre el grado de eficiencia productiva de la Economía. Concretamente, un sector aumentará su peso relativo (proporción del elemento correspondiente del autovector en relación a la suma total de todos los elementos) cuanto mayor sea la utilización de su

output como insumo de otros sectores (ya que estos, para crecer a cierto ritmo, necesitan importantes cantidades de tal insumo); y cuanto menores son sus requerimientos de insumos de otros sectores (ya que, al necesitar menos insumos, tiene mayor facilidad para producir a un ritmo determinado). De este modo, un sector con una proporción grande en el output global según el autovector asociado a la TCU, podrá considerarse como un sector básico⁴ en relación al grado de eficiencia productiva del sistema productivo al que pertenece.

Para comprender la relación directa entre la magnitud del porcentaje del output de un sector dentro del autovector asociado a la TCU de la Economía, y su condición de sector básico dentro del sistema productivo, se va a partir de la expresión (7), donde se estableció que $x(t) = z$, aplicada a un sistema simplificado de dos sectores productivos⁵:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_{max} \cdot x_1 \\ \lambda_{max} \cdot x_2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

o lo que es lo mismo:

$$\begin{cases} a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 = \lambda_{max} \cdot x_1 \\ a_{21} \cdot x_1 + a_{22} \cdot x_2 = \lambda_{max} \cdot x_2 \end{cases} \quad (9)$$

De este modo, operando en (9) se obtiene:

$$(a_{11} - a_{21}) \cdot x_1 + (a_{12} - a_{22}) \cdot x_2 = \lambda_{max} \cdot (x_1 - x_2) \quad (10)$$

con lo que, reagrupando términos:

$$(a_{11} - a_{21} - \lambda_{max}) \cdot x_1 + (a_{12} - a_{22} + \lambda_{max}) \cdot x_2 = 0 \quad (11)$$

Además, se supondrá que tanto λ_{max} como la suma de los outputs sectoriales correspondientes al autovector asociado a dicho autovalor (es decir, correspondientes a la TCU) se mantienen constantes. Así, se añadirá a la ecuación (11) la restricción $x_1 + x_2 = k$, quedando el sistema:

$$\begin{cases} (a_{11} - a_{21} - \lambda_{max}) \cdot x_1 + (a_{12} - a_{22} + \lambda_{max}) \cdot x_2 = 0 \\ x_1 + x_2 = k \end{cases} \quad (12)$$

En primer lugar, se verificará cuál es la relación de la magnitud de las componentes del autovector derecho asociado a la TCU (elementos del vector de outputs x según (7)) con la intensidad en las compras de insumos que cada

⁴ Con el calificativo de "básico" se hace referencia, según la clasificación de sectores por Rasmussen (1956) y Hirschman (1958), a aquellos sectores con fuertes vínculos con el resto de sectores como proveedor de insumos (*forward linkage*); pero con débiles vínculos como captador de los mismos (*backward linkage*).

⁵ Se omitirá la referencia temporal (t) para simplificar la notación.



sector realiza al resto. Para ello, supóngase que se reduce la cantidad de insumos que el sector 1 toma del 2 por unidad de output. Esto supone una reducción del coeficiente técnico a_{21} , por lo que se tiene un nuevo coeficiente técnico a'_{21} tal que: $a'_{21} < a_{21}$, manteniéndose el resto de coeficientes inalterados. Esto provocará que x_1 tenga que aumentar para mantener el equilibrio de la primera ecuación del sistema de ecuaciones (12), con lo que x_2 deberá disminuir, dado que $x_2 = k \cdot x_1$. Así, una minoración del coeficiente técnico a_{ij} provoca un incremento del output del sector comprador j , mientras que el output del sector que vende i se reduce.

Por otro lado, también interesa verificar la relación entre la magnitud de las componentes del autovector derecho asociado a la TCU (elementos del vector de outputs x según (7)) y la intensidad en las ventas de insumos que cada sector realiza al resto. Para ello, se ha de definir previamente la identidad de oferta del sistema input-output de n sectores productivos:

$$x = D'x + l \quad (13)$$

donde x es el vector ($n \times 1$) de outputs sectoriales; D es la matriz ($n \times n$) de coeficientes de distribución de elemento $d_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_i}$, siendo x_{ij} las compras por parte del sector j de los insumos producidos por el sector i , x_i el output del sector i ; y l el vector ($n \times 1$) de inputs primarios.

Para hacer explícita esta relación, se debe de establecer la conexión que existe entre la matriz de coeficientes técnicos de producción A y la matriz de coeficientes de distribución D . Transformando el vector de outputs sectoriales x en una matriz diagonal \hat{x} se tendrá que:

$$X = A\hat{x} \quad (14)$$

donde x es la matriz ($n \times n$) de transacciones intermedias, A es la matriz ($n \times n$) de coeficientes técnicos de producción, y \hat{x} es una matriz diagonal ($n \times n$) cuyos elementos de la diagonal principal se corresponden con los outputs sectoriales.

Teniendo en cuenta que todos los outputs sectoriales son positivos, se cumplirá que:

$$A = X\hat{x}^{-1} \quad (15)$$

siendo \hat{x}^{-1} la inversa de la matriz diagonal de outputs sectoriales \hat{x} .

Del mismo modo, se podrá expresar la matriz de transacciones intermedias a partir de la matriz de coeficientes de distribución y de los outputs sectoriales:

$$X = \hat{x}D \quad (16)$$

De modo análogo a (15), puede despejarse la matriz D como:

$$\hat{x}^{-1}X = D \quad (17)$$

e incluyendo (14) en (17) se obtendrá la ecuación:

$$\hat{x}^{-1}A\hat{x} = D \quad (18)$$

que relaciona las matrices de coeficientes técnicos y de coeficientes de distribución, siendo $a_{ij} = \frac{x_j}{x_i} a_{ij}$ o bien $a_{ij} = \frac{x_i}{x_j} d_{ij}$.

A partir de lo anterior, supóngase que aumenta la cantidad de insumos que el sector 1 vende al 2 por unidad de output a una cantidad d'_{12} , tal que: $d'_{12} > d_{12}$. Este elemento tiene una relación directa con el coeficiente técnico d'_{12} , siendo $a_{12} = d_{12} \cdot \frac{x_1}{x_2}$. Incluyendo esta relación en (12) quedaría:

$$\begin{cases} (a_{11} + d'_{12} - a_{21} - \lambda_{max}) \cdot x_1 + (\lambda_{max} - a_{22}) \cdot x_2 = 0 \\ x_1 + x_2 = k \end{cases} \quad (19)$$

Puede observarse cómo la disminución de d_{12} , si no cambian el resto de coeficientes, provocará que x_1 tenga que incrementarse para mantener la igualdad de la ecuación. Si aumenta x_1 , x_2 deberá reducirse para mantener el equilibrio, dado que $x_2 = k - x_1$. De este modo, el sector que aumenta la venta de insumos al otro sector por unidad de output aumenta su output sectorial, mientras que el output del sector comprador se reduce.

En definitiva, se verifica que los sectores cuyos insumos por unidad de output (medidos por los elementos de la correspondiente columna de la matriz de coeficientes técnicos de producción) son relativamente bajos, y/o cuyas ventas a otros sectores por unidad de output (medidas por los elementos de la correspondiente fila de la matriz de coeficientes de distribución) son relativamente elevadas; se corresponden con mayores proporciones de output sectorial o, lo que es lo mismo según (7), con mayores valores en el autovector derecho asociado al autovalor dominante de la matriz de coeficientes técnicos, que traza el ritmo de crecimiento de la producción marcado por la TCU.

4. EFICIENCIA PRODUCTIVA EN LOS PAÍSES DE LA UNIÓN EUROPEA

En esta sección se mostrarán los resultados del estudio del grado de eficiencia productiva en el ámbito del área de la Unión Europea (UE), tomando como indicador de eficiencia la TCU de cada país calculada a partir de la expresión (6).

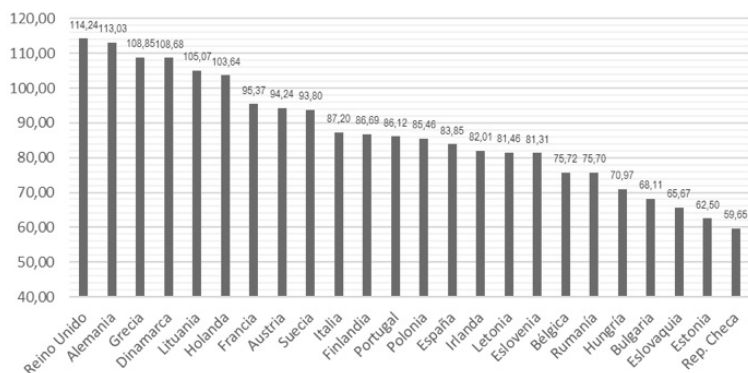
Para el cálculo de las TCU de los diferentes países de la UE⁶ se han utilizado las tablas input-output ofrecidas por la *World Input-Output Database* (WIOD) (Dietzenbacher *et al.* 2013) para el período 1995-2011 con una desagregación de 34 sectores productivos.

A partir del cálculo del autovalor dominante asociado a la matriz de coeficientes técnicos A se ha estimado la TCU de la economía (g) basada en el modelo (6). Dicha tasa se toma como indicador de la eficiencia productiva global de cada una de las economías nacionales para cada uno de los años en estudio. En el gráfico 1 se muestran las TCU promedio de los 17 años analizados, para cada país.

⁶ Se ha excluido del estudio a Malta, Chipre, Luxemburgo y Croacia.



GRÁFICO 1: TCU MEDIA POR PAÍS (1995-2011). 24 PAÍSES EUROPEOS.

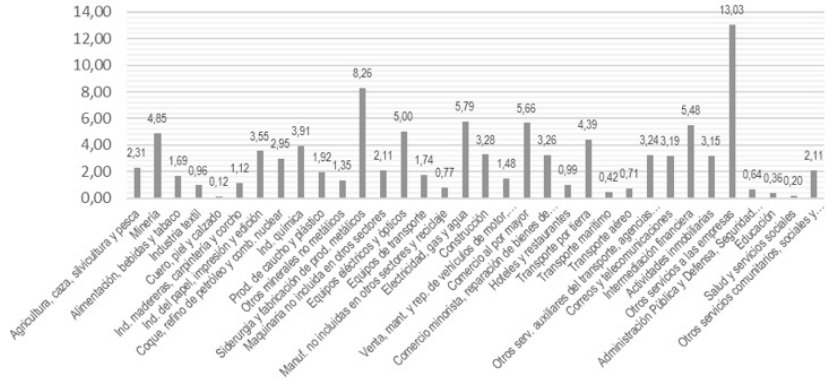


Fuente: Elaboración propia.

A partir del promedio de las TCU de cada país, se distinguen varios tramos de eficiencia productiva. En el primer tramo se disponen los países con una mayor TCU media y, por tanto, que disfrutan de un mayor grado de eficiencia. Este grupo está formado por Alemania, Dinamarca, Francia, Reino Unido, Grecia, Lituania y Holanda, todos ellos con TCU superiores al 95%. El segundo tramo está constituido por aquellos países cuyas TCU promediadas oscilan entre el 80% y el 95%. Tales países son Austria, España, Finlandia, Irlanda, Italia, Letonia, Polonia, Portugal, Eslovenia y Suecia. El último tramo está compuesto por los países cuyas TCU medias del período son menores del 80%. Estos países son Bélgica, Bulgaria, Hungría, Rumanía, República Checa, Eslovaquia y Estonia.

Por otro lado, se han obtenido los autovectores derechos asociados al autovalor dominante de la matriz de coeficientes técnicos de las tablas input-output (y, por tanto, a la TCU) de cada país, atendiendo a (7). Calculando el peso de cada elemento dentro de los autovectores, se han determinado los porcentajes correspondientes a cada output sectorial coherentes con la TCU. A fin de sintetizar la información, se han calculado los porcentajes medios para cada país. A su vez, estos porcentajes de participación sectorial en el output en las proporciones coherentes con la TCU se han promediado para todos los países. Dichos promedios se muestran en el gráfico 2:

GRÁFICO 2: PORCENTAJES DE OUTPUT CORRESPONDIENTES AL AUTOVECTOR ASOCIADO A LA TCU. PROMEDIO DE PAÍSES Y PERÍODOS (1995-2011). 24 PAÍSES EUROPEOS.



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico anterior se aprecia cómo el sector productivo más importante dentro de la estructura del output correspondiente a la TCU y, por tanto, en términos de eficiencia productiva, es, de modo muy destacado, el sector de *Otros servicios a las empresas*; seguido del sector de la *Siderurgia y fabricación de productos metálicos*, la *Producción y distribución de energía eléctrica, gas y agua*; el *Comercio al por mayor*; y las actividades de *Intermediación financiera*. Todos estos sectores ocupan, por término medio, más del 5% del total del output o producción del sistema, en el caso de un crecimiento al ritmo marcado por la TCU. Es de destacar que, salvo el caso de la *Siderurgia y fabricación de productos metálicos*, todos estos sectores son actividades de servicios, por lo que, en general, se puede establecer la idea de que las actividades del sector terciario son básicas para la mejora de la eficiencia productiva de la economía. Estas actividades, por un lado, requieren un menor volumen de insumos procedentes de otras actividades; y, por otro, tienen un destacado papel como proveedoras de insumos para otros sectores, por lo que están asociadas a elementos relativamente elevados dentro del autovector correspondiente a la TCU, como se pudo verificar en (12) y (19).

Por otro lado, los sectores con menores participaciones relativas en el vector de outputs sectoriales asociados a la TCU son el sector primario, la mayor parte de la industria y actividades manufactureras, y los servicios de hoteles y restaurantes, transporte marítimo y aéreo. Destaca también la pequeña participación en el autovector asociado a la TCU de los servicios públicos y comunitarios.

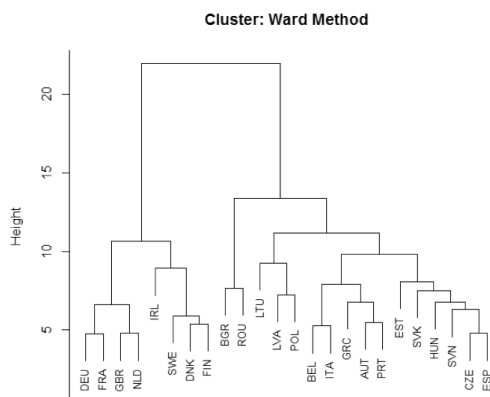
Con participaciones moderadas dentro del output sectorial pueden destacarse a sectores como la fabricación de *Manufacturas de equipos eléctricos y ópticos*, la *Minería*, el *Transporte por tierra*, los *Servicios Au-*

xiliarias del Transporte y Agencias de Viaje, o algunas industrias como la química, la del papel, o el sector de la *Construcción*.

El gráfico anterior mostraba la estructura media (de todos los países y de todo el período considerado) del vector de output según la composición del autovector derecho asociado a la TCU. No obstante, cada país tiene sus propias características tecnológicas que se plasman en una distinta ponderación de los elementos de dicho autovector. A partir de ahí, tomando como variables clasificadoras el valor de estos elementos, puede establecerse un análisis de conglomerados que agrupe a los países con estructuras sectoriales más similares en términos de eficiencia productiva.

Al no partirse de un número inicial de conglomerados de países a establecer, se ha optado por aplicar un procedimiento jerárquico de generación de clústeres y, dentro de las posibles alternativas, se ha seleccionado el método de Ward, comúnmente aplicado en la literatura científica al permitir la generación de grupos de individuos compactos y muy homogéneos (Hair *et al.*, 2004). En el siguiente gráfico se muestran los resultados obtenidos:

GRÁFICO 3: CLÚSTERES DE PAÍSES SEGÚN LA ESTRUCTURA DEL AUTOVECTOR PROMEDIO ASOCIADO A LA TCU (1995-2011). 24 PAÍSES EUROPEOS.



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico anterior pueden distinguirse seis clústeres de países de acuerdo a las estructuras de sus autovectores medios asociados a la TCU.

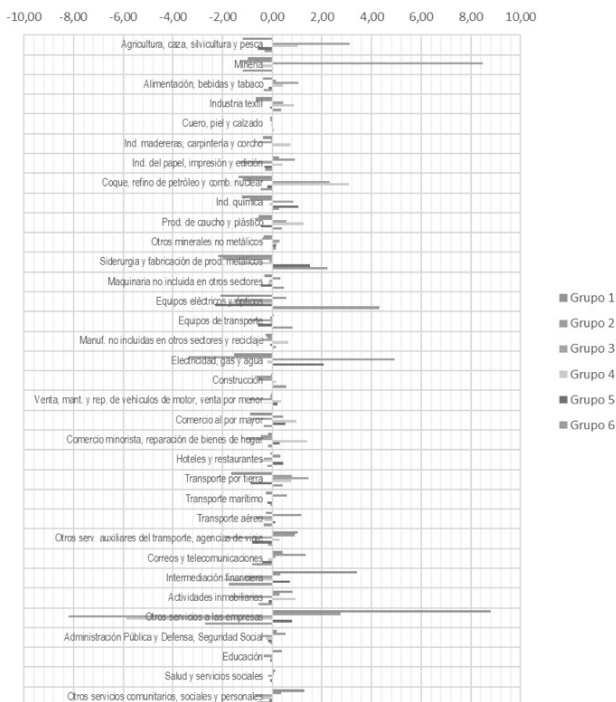
Un primer gran bloque está formado por dos grupos de países. El primer grupo lo constituyen cuatro de las siete economías evaluadas como productivamente más eficientes: Alemania, Francia, Reino Unido y Holanda. El segundo grupo lo componen los países escandinavos, Suecia, Dinamarca y Finlandia,

situados entre los once primeros países en eficiencia productiva según su TCU, A los que se une en una etapa posterior Irlanda, como caso algo más singular. Finalmente, este conglomerado se une al primero formando un conjunto de ocho países, situados geográficamente en el área Noroccidental de la UE y que, en general, son los que muestran mayores valores en sus TCU medias.

Dentro del segundo gran bloque de países pueden distinguirse cuatro clústeres que se reagrupan de forma anidada. Los grupos más homogéneos son los constituidos, por un lado, por Bélgica, Italia, Grecia, Austria y Portugal; y por otro lado, por España, República Checa, Eslovenia, Hungría, Eslovaquia y Estonia. Estos dos grupos se unen entre sí para, posteriormente, incorporar al grupo constituido por Polonia, Letonia y Lituania; y al formado por Bulgaria y Rumanía.

Una vez constituidos los clústeres de países según su similitud en la estructura del autovector asociado a la TCU de la Economía, se calculan para cada grupo de países, en términos medios, las diferencias en las ponderaciones de las producciones sectoriales con respecto a la estructura media global mostrada en el gráfico 2. Estas diferencias se detallan en el gráfico 4:

GRÁFICO 4: DESVIACIONES DE LOS PROMEDIOS DE LOS PORCENTAJES DE OUTPUT SECTORIAL DE LOS CONGLOMERADOS DE PAÍSES A LOS PROMEDIOS GLOBALES DE LOS PORCENTAJES DE OUTPUT SECTORIAL.



Fuente: Elaboración propia.



Con respecto al grupo 1, formado por Alemania, Francia, Reino Unido y Holanda; destaca el mayor peso que tienen en la estructura del output asociado a la TCU las actividades de servicios, en especial los *Otros servicios a las empresas* y los servicios de *Intermediación Financiera*. En menor medida, destaca la mayor ponderación con respecto a la media global de todos los países de otras ramas de actividad terciarias, como *Otros servicios comunitarios, sociales y personales*; *Otros servicios auxiliares del transporte y agencias de viaje* o las *Actividades Inmobiliarias*. En cambio, este grupo muestra ponderaciones inferiores a la media global en las ramas industriales, manufactureras, extractivas y primarias.

El grupo 2 de países, constituido por Suecia, Dinamarca, Finlandia e Irlanda; muestra unas desviaciones de los pesos sectoriales en el autovector asociado a la TCU similares a las del primer grupo de países aunque más moderadas, salvo en el caso de la *Producción y distribución de energía eléctrica, gas y agua*, donde el peso del sector es muy inferior al de la media global, y el *Transporte aéreo y Correos y telecomunicaciones*, donde es apreciablemente superior.

El grupo 3, formado por Rumanía y Bulgaria, tiene un comportamiento en las desviaciones de los pesos medios sectoriales correspondientes a la TCU con respecto a los pesos medios globales muy diferente a de los grupos anteriores. Así, destaca la gran importancia adicional que tiene el sector de la *Minería*, al igual que el de la *Producción y distribución de energía eléctrica, gas y agua*, y el sector primario. Por el contrario, las diferencias negativas son muy elevadas en *Otros servicios a las empresas* y, de modo más moderado, en otros sectores de servicios como *Otros servicios auxiliares del transporte y agencias de viaje*, las *Actividades Inmobiliarias* o los servicios de *Intermediación Financiera*; o en industrias como la del papel o la de fabricación de *Equipos eléctricos y ópticos*.

El clúster 4, integrado por Letonia, Lituania, y Polonia; muestra unas diferencias en la composición del autovector medio asociado a la TCU que vuelven a centrarse en una mayor ponderación para los elementos correspondientes a algunos sectores industriales, y una menor ponderación para otra clase de industrias y varias ramas de actividad de servicios. Entre los sectores que muestran un peso mayor destacan el sector de *Coque, refino de petróleo y combustible nuclear* y el *Comercio minorista*; mientras que entre los sectores que muestran un peso menor a la media global es apreciable, de nuevo, *Otros servicios a las empresas* y, de modo más moderado, en los servicios de *Intermediación Financiera*; y en la industria de la fabricación de *Equipos eléctricos y ópticos*.

El grupo 5, constituido por Bélgica, Italia, Grecia, Austria y Portugal; posee una estructura de outputs sectoriales medios correspondientes a la TCU muy similar a la media que se mostró en el gráfico 2, destacando tan sólo la desviación positiva respecto al promedio global en el caso de la *Producción y distribución de energía eléctrica, gas y agua*, y la industria de la *Siderurgia y fabricación de productos metálicos*; y la desviación negativa en el sector de la fabricación de *Equipos eléctricos y ópticos*.

Por último, en el grupo 6, constituido por España, República Checa, Eslovenia, Hungría, Eslovaquia y Estonia; destacan, por su mayor importancia con respecto al vector de output asociado a la TCU promedio global, las industria de fabricación de *Equipos eléctricos y ópticos*, y la industria de la *Siderurgia y fabricación de productos metálicos*. En cambio, este grupo muestra una menor importancia con respecto al promedio global en *Otros servicios a las empresa; Intermediación Financiera*; y en la actividad de *Minería*, fundamentalmente. A partir de los resultados obtenidos, es posible destacar algunas conclusiones que se sintetizan en el siguiente apartado.

5. CONCLUSIONES

La eficiencia productiva hace referencia a la menor combinación de insumos que proporciona cierto volumen de output fijado como objetivo.

A nivel de las economías nacionales, la eficiencia productiva es uno de los factores que más inciden sobre la productividad y, por tanto, sobre la capacidad competitiva de un país. Por ello, una adecuada medición del grado de eficiencia productiva de un país ofrecerá información relevante a la hora de evaluar las condiciones en las que, dicho país, puede competir en los mercados internacionales.

Existen diversos enfoques para la medición del grado de eficiencia productiva de un país. De entre ellos, destaca el enfoque intersectorial, ya que considera el hecho de que el sistema productivo de un país se compone de múltiples sectores, con tecnologías diferentes que, además, interactúan entre sí. Este enfoque es capaz no solo de evaluar el grado de eficiencia productiva global de un país; sino también de plantear el papel que cada sector productivo juega en relación a dicho nivel de eficiencia.

De acuerdo con lo anterior, en esta investigación se propone recuperar el concepto de la *Tasa de Crecimiento Uniforme de la Economía* (TCU) como indicador del grado de eficiencia productiva de un país. Esta tasa se define como aquella a la podrían crecer simultáneamente todos los sectores económicos, dadas sus tecnologías, en caso de que el país no se enfrentara a un vector de demanda final particular. Por tanto, la TCU es un concepto tecnológico que sirve para evaluar el potencial de crecimiento global del sistema, lo que depende de su nivel de eficiencia.

Situados en el marco input-output, la TCU se obtiene a partir del cálculo del autovalor dominante de la matriz de coeficientes técnicos de producción de la tabla input-output del país, en virtud del *Teorema de Perron-Frobenius*. Además, el cálculo de este autovalor proporciona el correspondiente autovector derecho asociado, que puede interpretarse como el vector que contiene las proporciones adecuadas de output de cada sector productivo acordes con la TCU.

Un elemento determinado del autovector derecho correspondiente a la TCU incrementará su importancia relativa dentro de dicho autovector, y por tanto la proporción del output producido por el sector asociado a dicho ele-

mento dentro del vector de output coherente con la TCU, de modo proporcional a la cantidad de insumos que el sector productivo en cuestión aporta a otros sectores; mientras que disminuirá tal importancia cuanto mayores sean los insumos provenientes de otros sectores que necesita para desarrollar su proceso productivo. En definitiva, un sector productivo básico quedará definido en el autovector derecho asociado a la TCU como un sector cuyo output supone una elevada proporción, en términos relativos, del output total acorde con tal TCU; lo cual implica que los sectores básicos de una economía son aquellos que mayor influencia tienen sobre su grado de eficiencia productiva.

A partir del cálculo de la TCU y del análisis del autovector derecho asociado, se ha procedido a evaluar el grado de eficiencia productiva relativo de 24 de los países de la Unión Europea, de acuerdo a las tablas input-output del período 1995-2011.

Los resultados obtenidos, en términos de promedio, muestran como los países con un mayor grado de eficiencia productiva son Alemania, Dinamarca, Francia, Reino Unido, Grecia, Lituania y Holanda, con TCU superiores al 95%. De ellos, Alemania, Francia, Reino Unido y Holanda, poseen una estructura del autovector derecho asociado a la TCU similar, formando un conglomerado de países en los que, en tal autovector, destaca la importancia de los sectores de servicios, especialmente servicios a las empresas y de intermediación financiera, que se constituyen como sectores básicos. De los tres restantes, destaca el caso de Dinamarca, que junto a Suecia, Finlandia y, en menor medida, Irlanda, forman un conglomerado de países con un grado de eficiencia productiva alto o medio-alto, y en cuya estructura del autovector derecho asociado a la TCU son también las actividades de servicios las que alcanzan mayor relevancia. Además, llama también la atención el caso de Grecia, con la tercera mayor TCU y que, según la estructura de su autovector derecho asociado a tal tasa, forma parte de un conglomerado junto a otros países del sur y centro europeo: Italia, Portugal, Austria y Bélgica. Estos países muestran, en general, un nivel de eficiencia productiva media, siendo algo menor en el caso belga. En la estructura del autovector se advierte cierta pérdida de importancia de las actividades de servicios en beneficio de algunos sectores industriales y manufactureros, y del sector de la energía eléctrica. El tercer país situado entre los siete más eficientes, y que no pertenece al primer conglomerado comentado, es Lituania. Este país forma un clúster junto a Letonia y Polonia, países que muestran un grado de eficiencia productiva media. Estos tres países, en general, se caracterizan por dotar de una mayor importancia a algunas actividades como la industria del coque y del refinado de petróleo o el comercio minorista, perdiendo peso respecto a la media global de los 24 países en los servicios a las empresas y en los servicios de intermediación financiera.

Además de los grupos citados, existen otros clústeres de países según la estructura del autovector derecho asociado a la TCU. Uno de ellos está compuesto por España, Estonia, y buena parte de los países del Este europeo: República Checa, Eslovaquia, Hungría y Eslovenia. Salvo España y Estonia, con respectivos niveles de eficiencia medio-bajos, el resto de países muestran ba-

jos niveles de eficiencia productiva medidos mediante el valor alcanzado por la TCU de la Economía. En la estructura del output asociado a la TCU de estos países destaca el peso que adquieren, en general, los sectores industriales, en especial los de fabricación de equipos eléctricos y ópticos, y la siderurgia y metalurgia; siendo menos relevantes los servicios a las empresas y los de intermediación financiera. El último grupo de países lo constituyen Rumanía y Bulgaria, con sendos grados de eficiencia bajos y una estructura del auto-vector derecho asociado a la TCU en la que destacan los sectores extractivo y energético.

En definitiva, se puede concluir que la mejora del grado de eficiencia productiva de las economías europeas viene vinculada al proceso de terciarización de la economía, al ser los sectores de servicios, especialmente los de servicios a las empresas y los servicios de intermediación financiera, los que se identifican como actividades básicas, al requerir, en términos relativos, pocos insumos procedentes de otros sectores productivos; y, en cambio, proporcionar una elevada proporción de insumos al resto de sectores. Esto hace que, cuanto mayor sea el peso de estos sectores de servicios en las economías, menor será la magnitud global de la matriz de coeficientes técnicos de producción correspondiente, lo que hace posible un crecimiento uniforme potencial de todos los sectores a un mayor ritmo. No obstante, esta conclusión ha de tomarse con cautela en términos de política económica, ya que no implica que los sectores industriales, en general menos eficientes desde el punto de vista de sus funciones de insumos, deban ser reemplazados progresivamente por sectores de servicios a fin de que el país gane competitividad a nivel global, ya que de ser así se estaría obviando el papel vital de las actividades industriales desde el punto de vista tecnológico, estratégico, económico y social. Lo que sí puede concluirse de un modo más preciso es que los sectores industriales, como cualesquiera otros, a fin de contribuir al incremento de la competitividad del país, deberían realizar un esfuerzo progresivo de cambio tecnológico dirigido, bien hacia la reducción de sus consumos intermedios por unidad de output; o bien hacia la sustitución de tales insumos por otros que, a su vez, sean producidos por actividades que tengan una estructura de consumos intermedios más liviana. Otra vía de acción sería el estímulo en el incremento del valor de sus outputs, para una misma estructura de insumos, mediante procesos de generación de valor asociado a tal output a través de estrategias de diferenciación del producto y aumento de la calidad percibida, lo que implica una reducción de la magnitud de los coeficientes técnicos y, por tanto, un incremento del valor de la TCU y, en definitiva, del grado de eficiencia productiva del país.

Finalmente, es necesario incidir en que es posible profundizar en los resultados extraídos en este análisis a partir de la consideración de la UE como un sistema de países interrelacionados tecnológicamente, mediante la inclusión en el modelo del sistema de flujos comerciales reflejado en las tablas input-output interregionales estimadas en algunas bases de datos como la propia WIOD, ya que, dependiendo del país de procedencia de cierto tipo de insumo,

el nivel de eficiencia productiva asociada puede variar⁷. Este incremento en la complejidad de la especificación del modelo será objeto de trabajo por parte de los autores en futuras investigaciones.

REFERENCIAS

- Cella, G. y Pica, G. (2001): "Inefficiency Spillovers in Five OECD Countries: An Interindustry Analysis", *Economic Systems Research*, 13, 405-416.
- Charnes, A.; Cooper, W. W. y Rhodes, E. (1978): "Measuring the Efficiency of Decision Making Units", *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444.
- Debreu, G. (1951): "The Coefficient of Resource Utilization", *Econometrica*, 19, 273-292.
- Dietzenbacher, E. (1988): "Perturbations of Matrices: A Theorem on the Perron Vector and its Applications to Input-Output Models", *Journal of Economics*, 4, 389-412.
- Dietzenbacher, E. (1992): "The Measurement of Interindustry Linkages: Key Sectors in the Netherlands", *Economic Modelling*, 9, 419-437.
- Dietzenbacher, E.; Los, B.; Stehrer, R.; Timmer, M.P. y de Vries, G.J. (2013): "The Construction of World Input-Output Tables in the WIOD Project", *Economic Systems Research*, 25, 71-98.
- Diewert, W.E. (1992a): "The Measurement of Productivity", *Bulletin of Economic Research*, 44, 163-198.
- Diewert, W.E. (1992b): "Fisher Ideal Output, Input and Productivity Index Revisited", *Journal of Productivity Analysis*, 3, 211-247.
- Duchin, F. y Steenge, A.E. (2007): "Mathematical Models in Input-Output Economics", *Working Papers in Economics*, 0703, Rensselaer Polytechnic Institute, Nueva York.
- Färe, R.; Grosskopf, S.; Norris, M. y Zhang, Z. (1994): "Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrial Countries", *American Economic Review*, 84, 66-83.
- Farrell, M. (1957): "The Measurement of Productive Efficiency", *Journal of the Royal Statistical Society (Series A)*, 120, 253-290.
- Grosskopf, S. (1993): "Efficiency and Productivity"; en Fried, H. O.; Lovell, C. A. K. y Schmidt, S. S. (eds.) *The Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications*, Oxford University Press, Oxford, 160-194.
- Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L. y Black, W. C. (2004): *Análisis Multivariante (5ª Edición)*, Prentice-Hall, Madrid.
- Hirschman, A. O. (1958): *The Strategy of Economic Development*, Yale University Press, New Haven, Connecticut.

⁷ En este artículo necesariamente ha de asumirse la hipótesis de que cada insumo procede de un sector con una tecnología igual a la del mismo país estudiado, esto es, sin tener en cuenta que un mismo bien o servicio puede provenir de diversos países con diferentes tecnologías de producción.

- Lin, W. T. y Shao, B.B.M. (2006): "Assessing the Input Effect on Productive Efficiency in Production Systems: The Value of Information Technology Capital", *International Journal of Production Research*, 44, 1799-1819.
- Lovell, C.A.K. (1993): "Production Frontiers and Productive Efficiency", en Fried, H. O.; Lovell, C. A. K. y Schmidt, S. S. (eds.) *The Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications*, Oxford University Press, Oxford, 3-67.
- Nadiri, I. (1970): "Some Approaches to the Theory and Measurement of Total Factor Productivity: A Survey", *Journal of Economic Literature*, 8, 1137-1177.
- Nikaidō, H. (1962): "Some Dynamic Phenomena in the Leontief Model of Reverse Lagged Type", *The Review of Economic Studies*, 29, 313-323.
- OCDE, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (1997): *The OECD Report on Regulatory Reform: Synthesis*, Paris.
- Porter, M. E. (1987): "From Competitive Advantage to Corporate Strategy", *Harvard Business Review*, 65, 2-21.
- Porter, M. E. (1990): *The Competitive Advantage of Nations*, Free Press, Nueva York.
- Prieto, A.M. y Zofio, J.L. (2007): "Network DEA Efficiency in Input-output Models: With an Application to OECD Countries", *European Journal of Operational Research*, 178, 292-304.
- Rasmussen, P. N. (1956): *Studies in Intersectoral Relations*, New Holland, Amsterdam.
- Rhodes, E. (1978): *Data Envelopment Analysis and Related Approaches for Measuring the Efficiency of Decision Making Units with an Application to Program Follow Through in U.S. Education*, Tesis Doctoral, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh.
- Seiford, L. M. y Thrall, R. M. (1990): "Recent Developments in DEA, The Mathematical Programming Approach to Frontier Analysis", *Journal of Econometrics*, 46: 7-38.
- Solow, R. M. y Samuelson, P. (1953): "Balanced Growth under Constant Returns to Scale", *Econometrica*, 21, 412-424.
- Solow, R. M. (1957): "Technical Change and the Aggregate Production Function", *The Review of Economics and Statistics*, 39: 312-320.
- Takayama, A. (1985): *Mathematical Economics*, Cambridge University Press, Nueva York.
- ten Raa, T. y P. Mohnen (2001): "The Location of Comparative Advantages on the Basis of Fundamentals Only", *Economic Systems Research*, 13, 93-108.
- ten Raa, T. (2005): *The Economics of Input-Output Analysis*, Cambridge University Press, Nueva York.
- ten Raa, T. (2007): "The Extraction of Technical Coefficients from Input and Output Data", *Economic Systems Research*, 19, 453-459.
- WEF, World Economic Forum (2014): *Global Competitiveness Report 2014-2015*, documento en línea: <https://www.weforum.org/reports/global-competitiveness-report-2014-2015>