

de Jorge Moreno, Justo; Castro, Javier Díaz

**Article**

## Análisis de la productividad, eficiencia y sus factores explicativos: El caso de las empresas colombianas, 2005-2010

Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa

**Provided in Cooperation with:**

Universidad Pablo de Olavide, Sevilla

*Suggested Citation:* de Jorge Moreno, Justo; Castro, Javier Díaz (2018) : Análisis de la productividad, eficiencia y sus factores explicativos: El caso de las empresas colombianas, 2005-2010, Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa, ISSN 1886-516X, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla, Vol. 26, pp. 315-343, <https://doi.org/10.46661/revmetodoscuanteconempresa.3834>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/286151>

**Standard-Nutzungsbedingungen:**

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

**Terms of use:**

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*



<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



## Análisis de la productividad, eficiencia y sus factores explicativos: el caso de las empresas colombianas, 2005–2010

DE JORGE MORENO, JUSTO

Facultad de Economía, Dirección de Empresas y Turismo  
Universidad de Alcalá (España)

Correo electrónico: justo.dejorge@uah.es

DÍAZ CASTRO, JAVIER

Escuela Superior de Administración Pública ESAP (Colombia)

Correo electrónico: econometrista@gmail.com

### RESUMEN

Este trabajo se ha planteado como objetivos el análisis de la evolución de la eficiencia y sus factores determinantes por medio del análisis no paramétrico DEA y la utilización del método de Simar y Wilson (2007) en las empresas pertenecientes a 27 sectores de agricultura, servicios y manufactura colombiana en el período 2005–2010. Los resultados obtenidos permiten concluir la posibilidad de mejora de los niveles de eficiencia de forma generalizada. Los factores determinantes de la eficiencia han sido concentración del mercado, la cuota de mercado y el tamaño empresarial.

**Palabras claves:** eficiencia; DEA; sectores colombianos; cuota de mercado.

**Clasificación JEL:** C61; O54; O14; O42.

**MSC2010:** 60–07; 62P20; 62G05; 90C05; 91B64; 91B82.

# Analysis of Productivity, Efficiency and their Explanatory Factors: Case of Colombian Companies, 2005–2010

## ABSTRACT

This work has proposed, as objectives, the analysis of the evolution of efficiency and its determinants through nonparametric analysis DEA factors and use of the method by Simar and Wilson (2007) to companies belonging to 27 sectors of agriculture, services and Colombian manufacturing in the period 2005–2010. The results so obtained indicate the possibility of improving efficiency levels across the board. The determinants of efficiency have been market concentration, market share and corporate size.

**Keywords:** Efficiency; DEA; Colombian sectors; market share.

**JEL classification:** C61; O54; O14; O42.

**MSC2010:** 60–07; 62P20; 62G05; 90C05; 91B64; 91B82.



## 1. Introducción

El análisis de la evolución de la eficiencia ha sido y es un tema central de interés, ya que cómo es conocida la competitividad de un país está estrechamente vinculado a las mejoras en la eficiencia productiva. Según la teoría económica, la productividad de una empresa puede ser expresada por la relación *output/input*. Las diferencias en este valor entre las diferentes empresas podrían, por ejemplo, explicarse por la tecnología de producción utilizada, la eficiencia con la que el proceso de producción tiene lugar o el entorno en el que opera la empresa. La teoría económica también ha desarrollado modelos que reflejan el comportamiento de un productor eficiente suponiendo un comportamiento optimizador, tanto en la función de la producción como en la asignación de los recursos de manera óptima.

Existen diferentes enfoques metodológicos para estimar la productividad<sup>1</sup>. La mayoría de los trabajos sobre productividad realizados con datos de empresas o sectores industriales optan por enfoques metodológicos que presuponen la existencia de una función de producción (determinística o estocástica) y utilizan estas estimaciones para calcular medidas de eficiencia y/o de productividad de las empresas.

Como menciona Gómez, (2015), el estudio de la evolución y los determinantes de la productividad en Colombia tiene una larga trayectoria a nivel regional o sectorial. En la Tabla 1 se muestran algunos de los trabajos más representativos. Como puede apreciarse, la presencia de trabajos que utilizan datos de panel prevalece sobre el corte transversal. Igualmente prevalecen los trabajos que analizan varios sectores, siendo utilizada la base de datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Finalmente, atendiendo a las diferentes metodologías, el análisis de la envolvente de datos (DEA por sus siglas en inglés) es la más utilizada, aunque sólo la mitad utilizan según etapa para explicar los factores determinantes de la eficiencia. En una reciente revisión de la literatura, De Jorge-Moreno *et al.* (2015) pueden encontrarse referencias a nivel internacional.

Este trabajo aborda como objetivos: i) el análisis de la eficiencia y el proceso de convergencia/divergencia a nivel estático y dinámico; y ii) los factores determinantes de la

---

<sup>1</sup> Véase en Álvarez (2001) una explicación detallada sobre formas alternativas de medición de la eficiencia y la productividad.

eficiencia. En concreto, se pretende dar respuesta a las siguientes preguntas: ¿existen diferencias en la evolución de la eficiencia y la convergencia intersectorial en los sectores analizados en Colombia?; ¿qué patrones de crecimiento/disminución de la eficiencia se observan? y ¿cuáles son los factores explicativos de la eficiencia y qué relación guarda la evolución de esta con la dinámica de los mercados?

**Tabla 1.** Revisión de la literatura

Autor/año	Periodo	Sector	Base de datos	Unidad de análisis	Metodología
Acevedo y Ramírez (2005)	1992-2001	Confecciones	DANE	Departamentos	SFA
Almanza-Ramírez (2012)	1999-2007	Banca	Superintendencia Fra.	Bancos	DEA+ Tobit
Badel (2002)	1998-2002	Banca	Superintendencia Fra.	Bancos	DEA+OLS
Berio y Muñoz (2005)	1993-2003	Banca	Superintendencia Fra.	Bancos	DEA
Castro y Salazar (2011)	2005	Agroquímicos	Instituto Agropecuario (ICA)	Empresas	DEA
De Jorge-Moreno <i>et al.</i> (2014)	2005-2010	Construcción	DANE	Establecimientos	DEA+ Tobit
Echevarría <i>et al.</i> (2006)	1981-2002	Varios	DANE	Establecimientos	Semiparamétrico
Eslava <i>et al.</i> (2004)	1982-1998	Varios	DANE	Establecimientos	PTF_OLS (2SLS)
Eslava <i>et al.</i> (2013)	1982-1999	Varios	DANE	Establecimientos	PTF_OLS (2SLS)
Fontalvo-Herrera (2014)	2010	Entidad reg. Subsid.	Superintendencia Salud	Entidad	DEA
Gallón (2007)	1977-2002	Varios	DANE	Departamentos	SFA
Gómez (2015)	1992-2010	Varios	DANE	Establecimientos	DOLS-SURE
Iregui <i>et al.</i> (2006)	2002	Educación	ICFES	Colegios	SFA
Loaiza y Franco (2012)	2000-2007	Varios	DANE	Establecimientos	SFA
Navarro <i>et al.</i> (2011)	2009	Hospitales	Encuesta de América Economía	Hospital	DEA
Pinzón (2003)	2001	Hospitales	Ministerio de la Protección Social	Hospital	DEA+ Tobit
Peñaloza (2003)	2001	Hospitales	Encuesta nacional hospitalaria	Hospital	DEA
Perdomo y Mendieta (2007)	2004	Cafetero	Encuesta cafetera	Caficultores	DEA+OLS
Perdomo y Lee (2011)	2004	Cafetero	Encuesta cafetera	Caficultores	SFA
Quintero <i>et al.</i> (2008)	2001-2004	Varios	DANE	Establecimientos	SFA
Rodríguez y Gómez (2012)	2000-2007	Editorial	DANE	Establecimientos	DEA

Fuente: elaboración propia.

Una vez definidos los objetivos, el trabajo se organiza de la siguiente manera: en la sección siguiente, se describen las principales características descriptivas de las variables utilizadas; en la sección 3, se presentan los resultados, medición de la productividad, eficiencia y sus factores explicativos; y finalmente, la sección 5 recoge las principales conclusiones de este trabajo.

## 2. Datos y variables utilizadas

La base de datos utilizada en este trabajo ha sido elaborada a partir de la Encuesta Anual Manufacturera (EAM), administrada por el DANE (CIU rev. 4 A.C)<sup>2</sup> de la Agencia Nacional de Estadística de Colombia, para el periodo 2005-2010. Los establecimientos analizados pertenecen a 27 sectores que suponen un panel completo de 6.348 empresas/año

<sup>2</sup> La descripción y detalle de la clasificación sectorial puede encontrarse en: <https://www.dane.gov.co/index.php/sistema-estadistico-nacional-sen/normas-y-estandares/nomenclaturas-y-clasificaciones/clasificaciones/clasificacion-industrial-internacional-uniforme-de-todas-las-actividades-economicas-ciu>.

y para las que se tiene información sobre las variables relevantes utilizadas, que son: las ventas, como medida de la producción; el activo, como medida del capital; los consumos intermedios; y los gastos de personal. A los efectos del análisis de eficiencia que más adelante se expondrá, hubiese sido deseable que tanto el consumo de materiales como el flujo de servicios se expresasen en unidades físicas para evitar problemas derivados de regulaciones contables; sin embargo, las limitaciones de la información disponible obligan a tomar directamente las variables contables, expresadas en unidades monetarias constantes. La elección de los gastos de personal en lugar del número de empleados se debe a la imposibilidad de trabajar con esta variable. No obstante, las variables utilizadas en *input* y *output* siguen las recomendaciones de la literatura y utilizadas por De Jorge-Moreno y Sanz-Triguero (2010) o De Jorge-Moreno y Suárez (2010), entre otros.

En la Tabla 1A del Anexo, se muestra la estadística descriptiva de estas variables para los años del análisis. Dado el ámbito temporal del estudio, todas las variables se deflactan y se expresan en miles de pesos colombianos. La conversión a pesos constantes se ha realizado utilizando el índice de precios al productor (IPP, 2014 = 100) por sector CIU tres dígitos.

### **3. Resultados**

En esta sección, se muestran los resultados obtenidos a través de las metodologías propuestas. En la subsección 3.1, se presenta la medición de la eficiencia; en la subsección 3.2, el análisis de convergencia y de la distribución de la eficiencia; y en la subsección 4.4, el crecimiento de la productividad y sus factores. Finalmente, la subsección 3.5 presenta los factores determinantes de la eficiencia.

#### **3.1 Medición de la eficiencia**

En esta subsección, se presentan los resultados obtenidos una vez resueltos los programas que se especifican en la ecuación (1). Estos programas se han aplicado para cada empresa, sector y período de tiempo, calculando de esta forma las funciones de distancia interanuales como las inversas de las medidas de Farrell (1957), que maximizan los *outputs* para cada sector de forma individualizada.

En este trabajo se opta por las técnicas no paramétricas para el análisis de la eficiencia. Algunas de las justificaciones de esta metodología radican en poder explotar al máximo los datos de los que se disponen y que la técnica de programación lineal puede realizar adecuadamente ese cometido. En particular, se utiliza como ya fue comentado, el análisis de la envolvente de datos (DEA). Si comparamos esta metodología con los análisis paramétricos, el DEA muestra algunas ventajas. Así, permite introducir en los análisis múltiples *inputs* y *outputs* medidos en distintas unidades, explora los orígenes de la ineficiencia cuantificando el sobreuso de *inputs* o las cantidades de *output* necesarias y, además, no requiere realizar ninguna hipótesis inicial sobre la forma específica de la frontera de producción. Estas circunstancias han motivado la elección del DEA en este trabajo. Sin embargo, es preciso advertir que los resultados pueden estar limitados por distintas debilidades de esta metodología, tales como la influencia de los datos atípicos y la imposibilidad de realizar inferencias estadísticas y contrastes de hipótesis<sup>3</sup>.

La formulación DEA del modelo CCR de Charnes *et al.* (1978) bajo rendimientos de escala constantes (en adelante RCE) es la siguiente:

$$\begin{aligned}
 & \text{Max. } \Theta \\
 & \text{s.a} \\
 & Y \lambda - y_r \Theta \geq 0 \\
 & X \lambda - x_i \Theta \leq 0 \\
 & \lambda \geq 0
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

donde  $\Theta$  indica la distancia en *outputs* a la envolvente de datos, es decir, la medida de eficiencia;  $y_r$  representa el número de *outputs*  $(1,2,\dots,r) \in R_+^n$  producidos por la unidad evaluada (DMU);  $x_i$  es el número de *inputs*  $(1,\dots,i) \in R_+^n$ ;  $X$  es la matriz de *inputs* de orden  $m \times n$ ;  $Y$  es la matriz de *outputs* de orden  $s \times n$ ; y  $\lambda$  es el vector  $n \times 1$  de pesos o intensidades.  $x_i$  e  $y_r$  representan los vectores de *inputs* y *outputs*, respectivamente. La técnica DEA puede operar bajo rendimientos de escala variables (en adelante, RVE), modelo BCC (Banker *et al.*, 1984), indicando el valor de la Eficiencia Técnica Pura. En este caso, debe considerarse la restricción  $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ .

---

<sup>3</sup> Con el DEA tradicional como el aplicado en este trabajo. Para remediar en parte estas deficiencias, se ha utilizado la metodología propuesta por Wilson (1993) en la detección de *outliers*. También es importante considerar que esta técnica ha sido empleada en más de 1800 artículos publicados en más de 400 revista científicas (Gattoufi *et al.*, 2008).

El cálculo de la eficiencia sobre las mismas unidades de decisión, considerando RVE y RCE, facilita la determinación de la Eficiencia de Escala (EE) a través del cociente entre RCE y RVE. En este sentido, se considera que la ineficiencia técnica pura procede del consumo excesivo de los recursos del que dispone la entidad para el nivel de producción de *outputs* que realiza. Sin embargo, la ineficiencia de escala se origina cuando la entidad produce por debajo o por encima de su capacidad productiva y tiene lugar cuando el valor de la RCE es menor que el valor de la RVE. Como fue mencionado, suponemos orientación *outputs* dado el interés de la maximización del mismo que los gestores pueden tener y rendimientos variables de escala como consecuencia de la imperfección del mercado o las posibles restricciones financieras (véase Coelli *et al.*, 2002). No obstante, en las estimaciones iniciales se presentarán los resultados con rendimientos constantes de escala, al objeto de completar mejor los resultados al poder proporcionar información sobre la ineficiencia de escala.

Los resultados obtenidos a partir del *software* DEAP (Coelli, 1996) para la eficiencia media anual por medio del programa (1) para cada grupo de sectores se recogen en la Tabla 2. La información se refiere al año inicial, en la medida en que los niveles de partida estarán condicionando las tasas de cambio de los índices de los distintos tipos de eficiencia, y final del período estudiado (en las Figuras 1 y 2, que se muestran más adelante, puede verse la evolución temporal de la eficiencia por sectores). En este sentido, los valores de la tasa de crecimiento bajo el supuesto de RCE indican que tan sólo 5 sectores (19,2%) –Otros sectores agrícolas, Productos de Caucho, Productos de Plástico, Fabricación de productos de cemento y Otras industrias manufactureras– han obtenido incrementos en los valores medios de eficiencia. Bajo el supuesto de RVE se mantienen los mismos sectores que experimentaban crecimientos medios de eficiencia con RCE (Otros sectores agrícolas, Fabricación de productos de cemento y Otras industrias manufactureras) y se incorpora Otras industrias metálicas.

Los sectores mencionados que mejoran su eficiencia se encuentran en el ámbito de la agricultura y con mayor intensidad de capital dentro de la industria. En el caso de los sectores con mayor contenido comercial en sus actividades, ninguno de los seis experimenta mejoras. La interpretación de los índices de eficiencia para cada actividad y sector debe realizarse de forma individualizada. Por ejemplo, en el caso de la actividad agrícola, el sector “Otros sectores agrícolas”, como media del conjunto de empresas del



sector en el año inicial 2005, el índice de eficiencia técnica bajo RCE es del 65,7%, indicando que las empresas que operan en este sector dado su nivel de recursos podrían producir un mayor nivel de *outputs* (34,3%). En relación a las causas de esta ineficiencia, los resultados muestran que el índice de eficiencia técnica pura es del 75,6%; es decir, dado el tamaño de las empresas, su alejamiento respecto a la frontera con RVE explica un consumo adicional de inputs del 21,4%; siendo, en consecuencia, junto con la ineficiencia de escala, responsables de la mayor parte de las ineficiencias técnicas. Los resultados obtenidos para el año 2010 no aportan otras conclusiones relevantes además de las ya apuntadas; en cualquier caso, se observa una cierta mejora en la eficiencia técnica, que es el resultado del progreso de los índices de eficiencia de escala; aunque en el caso de “Otros sectores agrícolas” e “Industrias Metálicas”, el acercamiento a la frontera es la principal causa de la mejora experimentada en 2010. En los sectores “Fabricación de productos de cemento” y “Otras industrias manufactureras”, tanto el acercamiento a la frontera como la escala son los causantes de la mejora con mayor incidencia de este último factor.

**Tabla 2.** Índices de la eficiencia de los sectores analizados en los años inicial y final

Descripción sector	2005			2010			Tasa Cto.	Tasa Cto.
	RCE	RVE	SE	RCE	RVE	SE	RCE	RVE
Agrícola con Predominio Exportador	0,617	0,721	0,856	0,602	0,711	0,847	-0,024	-0,014
Otros Sectores Agrícolas	0,657	0,756	0,869	0,708	0,829	0,854	0,078	0,097
Productos Alimenticios	0,708	0,738	0,959	0,669	0,719	0,930	-0,055	-0,026
Fabricación de Telas y Actividades Relacionad	0,851	0,886	0,960	0,822	0,843	0,975	-0,034	-0,049
Fabricación de Prendas de Vestir	0,759	0,801	0,948	0,718	0,771	0,931	-0,054	-0,037
Curtiembre y Manufacturas De Cuero Diferentes	0,860	0,896	0,960	0,841	0,891	0,944	-0,022	-0,006
Manufactura de Calzado y Productos Relacionad	0,866	0,894	0,969	0,775	0,833	0,930	-0,105	-0,068
Preparación de Madera Y Elaboración De Producto	0,843	0,919	0,917	0,808	0,888	0,910	-0,042	-0,034
Fabricación de Papel, Cartón Y Derivados	0,898	0,921	0,975	0,86	0,899	0,957	-0,042	-0,024
Productos Químicos	0,714	0,764	0,935	0,68	0,733	0,928	-0,048	-0,041
Productos de Caucho	0,878	0,938	0,936	0,911	0,933	0,976	0,038	-0,005
Productos de Plástico	0,731	0,832	0,879	0,78	0,820	0,951	0,067	-0,014
Fabricación de Vidrio Y Productos De Vidrio	0,888	0,941	0,944	0,885	0,936	0,946	-0,003	-0,005
Fabricación de Productos Minerales No Metálico	0,845	0,890	0,949	0,743	0,829	0,896	-0,121	-0,069
Fabricación de Productos de Cemento, Hormigón	0,785	0,901	0,871	0,856	0,904	0,947	0,090	0,003
Industrias Metálicas Básicas	0,888	0,910	0,976	0,884	0,926	0,955	-0,005	0,018
Industria Metalmeccánica Derivada	0,777	0,855	0,909	0,72	0,815	0,883	-0,073	-0,047
Fabricación de Vehículos Automotores	0,835	0,889	0,939	0,814	0,850	0,958	-0,025	-0,044
Otras Industrias Manufactureras	0,670	0,744	0,901	0,688	0,745	0,923	0,027	0,001
Fabricación de Otros Productos con Materiales	0,878	0,909	0,966	0,82	0,887	0,924	-0,066	-0,024
Fabricación de Maquinaria y Equipo	0,817	0,874	0,935	0,748	0,787	0,950	-0,084	-0,100
Comercio de Vehículos Actividades Conexas	0,767	0,805	0,953	0,704	0,740	0,951	-0,082	-0,081
Comercio Al Por Mayor	0,559	0,607	0,921	0,555	0,59	0,941	-0,007	-0,028
Comercio Al Por Menor	0,603	0,646	0,933	0,539	0,610	0,884	-0,106	-0,056
Comercio de Combustibles y Lubricantes	0,828	0,892	0,928	0,801	0,869	0,922	-0,033	-0,026
Actividades de Informática	0,747	0,827	0,903	0,659	0,772	0,854	-0,118	-0,067
Otras Actividades Empresariales	0,744	0,808	0,921	0,711	0,777	0,915	-0,044	-0,038

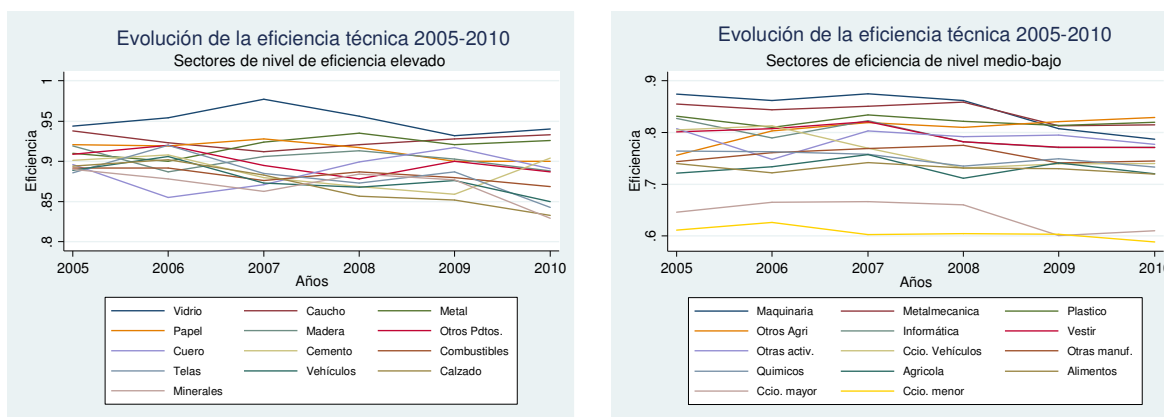
Fuente: elaboración propia.

En términos generales, los sectores que presentan los mayores niveles de eficiencia son “Fabricación de vidrio”, “Productos de Caucho” e “Industrias metálicas básicas” con 93,6%, 93,3% y 92,6% respectivamente; mientras que los sectores con menores niveles son

“Agrícola con predominio exportador”, “Comercio al por menor” y “Comercio al por mayor” con 71,1%, 61% y 59%, respectivamente.

La Figura 1 muestra la evolución de la eficiencia en el periodo analizado en dos grupos de sectores de alto y medio-bajo nivel de eficiencia. En general, no existen tendencias crecientes/decrecientes manteniendo proyecciones asintóticas con el eje temporal.

**Figura 1.** Evolución de la eficiencia por grupos de sectores



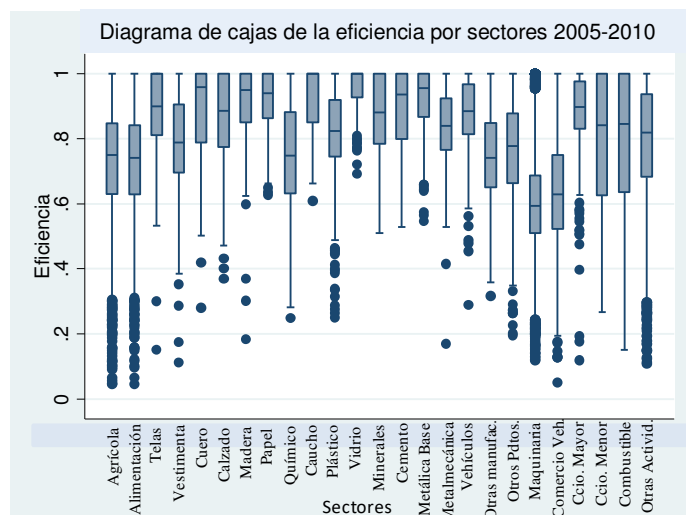
Fuente: elaboración propia.

### 3.2 Análisis de la distribución de la eficiencia y la convergencia

En esta subsección, se llevará a cabo un análisis de la distribución y convergencia de la eficiencia para determinar las mejoras o empeoramientos de la misma de forma global. En primer lugar, se prestará atención al análisis de diagrama de cajas, ya que suministra información sobre los valores mínimo y máximo, los cuartiles, la existencia de valores atípicos y la simetría de la distribución. La Figura 2 muestra, por ejemplo, la presencia de valores que podrían considerarse atípicos en la mayor parte de sectores, con especial mención en los sectores agrícola, alimentación, plástico etc. También muestra cómo el rango intercuartílico que contiene la mediana (línea horizontal dentro del rectángulo) se localiza en diferentes zonas de la distribución y con diferentes dimensiones. Por ejemplo, sectores con alta concentración de los valores de eficiencia, como el vidrio o el químico, frente a sectores, como el comercio al por menor y combustible, con la mayor dispersión. El sector de maquinaria tiene el rango intercuartílico en la zona media-baja e incluso con la consideración de valores atípicos en la parte superior e inferior.

En segundo lugar, se prestará atención a la forma externa de la distribución por medio de las funciones de densidad *kernel* en los años inicial y final, 2005 y 2010. Como ya fue comentado, debido a que las distribuciones de la eficiencia son no normales, la aplicación de estas funciones permite capturar rasgos importantes que podrían presentarse. El enfoque no paramétrico requiere escoger un método para suavizar los datos. El método elegido suele ser el de suavizado *kernel*. Una de las ventajas de las funciones de densidad *kernel* es la no imposición de una forma funcional concreta a la distribución. Con la aplicación del *kernel*, y en particular estimando un *kernel* gaussiano con amplitud de ventana óptima, se obtienen los gráficos que se muestran en la Figura 3. En nuestro caso, como paso previo al análisis de convergencia/divergencia con funciones *kernel*, se ha contrastado la hipótesis de igualdad de funciones de densidad y la existencia de una o más modas en la distribución. Para ello, se ha aplicado el test gráfico y, por medio de técnicas *bootstrap*, la obtención del p-valor a través del paquete *sm* de R (véase Bowman y Azzalini, 1997) y *diptest* (Hartigan y Hartigan, 1985).

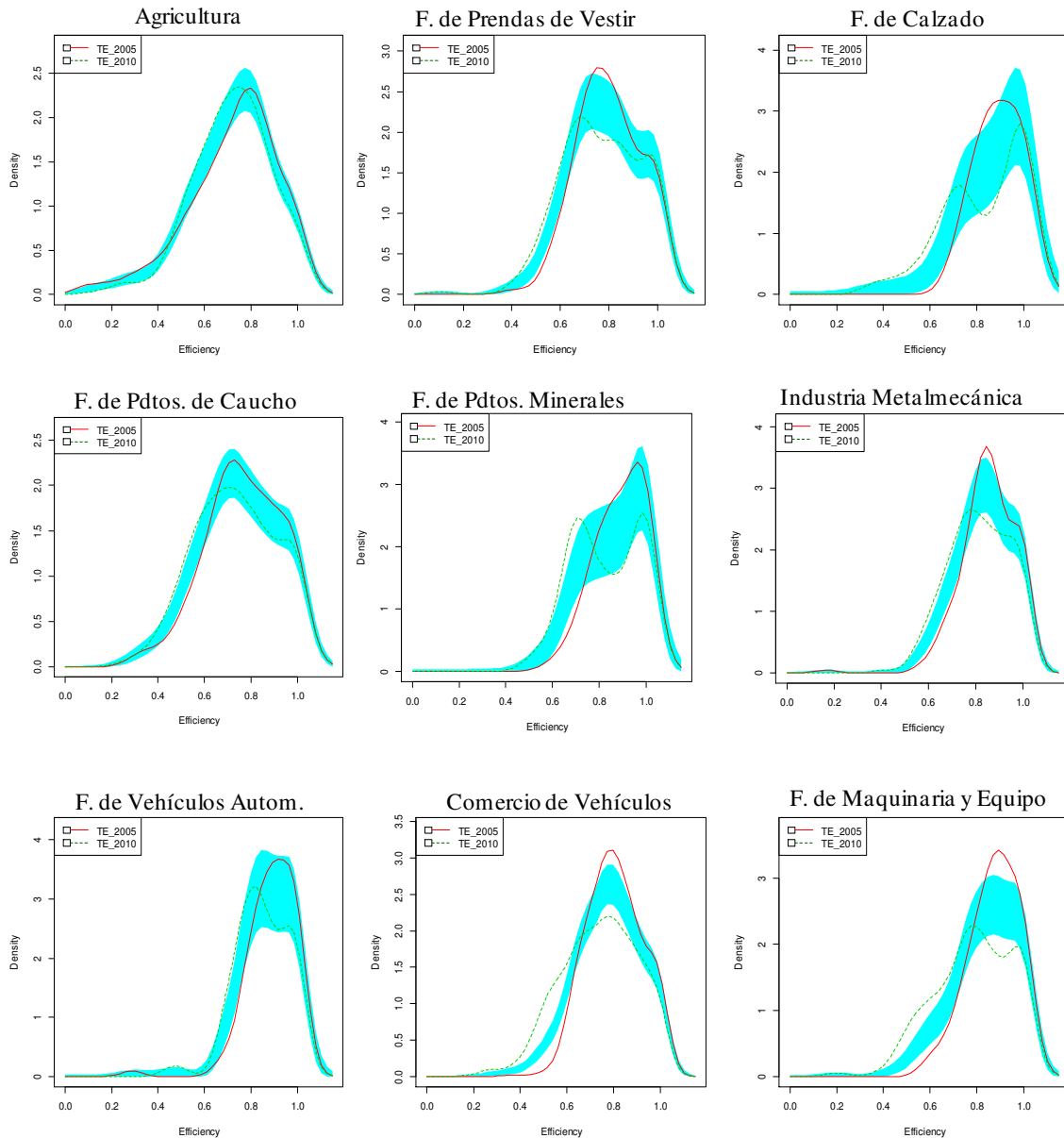
**Figura 2.** Diagrama de cajas de la eficiencia por sectores



Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 3, se muestran los contrastes estadísticos de igualdad de densidades *kernel* en la columna 2 y contraste de la existencia de unimodalidad en las columnas 3 y 4 para los años 2005 y 2010, respectivamente. En relación al contraste de igualdad de densidades, más del 50% de los sectores muestran diferencias estadísticamente significativas.

**Figura 3.** Contraste de funciones de densidad *kernel*



Fuente: elaboración propia.

En la Figura 3, se muestran seis sectores con diferentes patrones de divergencia (la distribución de la eficiencia del año 2010 se desplaza hacia el origen). Los sectores “Fabricación de Calzado” y “Fabricación de Productos Minerales” presentan bimodalidad en el año 2010, frente a la unimodalidad del año 2005. Los otros siete sectores de la Figura 3 presentan unimodalidad. El resto de sectores omitidos presenta patrones similares a los recogidos en la Figura 3 (divergencia y unimodalidad).

**Tabla 3.** Contrastes estadísticos de igualdad de densidades *kernel* (Bowman y Azzalini, 1997)

Sector	Contraste	Contraste Modas	
	Dif. <i>Kernel</i>	2005	2010
	p-valor	p-valor	p-valor
Agrícola con predominio exportador	0,02**	0,00**	0,00**
Otros sectores agrícolas	0,13	0,78	0,53
Productos alimenticios	0,20	0,00**	0,00**
Fabricación de telas y actividades relacionad	0,50	0,35	0,08
Fabricación de prendas de vestir	0,02**	0,00**	0,00**
Curtiembre y manufacturas de cuero diferentes	0,83	0,19	0,99
Manufactura de calzado y productos relacionad	0,00**	0,04**	0,06*
Preparación de madera y elaboración de productos	0,04**	0,78	0,16
Fabricación de papel, cartón y derivados	0,43	0,7	0,23
Productos químicos	0,51	0,00**	0,00**
Productos de caucho	0,01**	0,78	0,42
Productos de plástico	0,03**	0,00**	0,00**
Fabricación de vidrio y productos de vidrio	0,00**	0,77	0,07*
Fabricación de productos minerales no metálicos	0,01**	0,89	0,00**
Fabricación de productos de cemento, hormigón	0,83	0,64	0,71
Industrias metálicas básicas	0,69	0,99	0,92
Industria metalmecánica derivada	0,00**	0,00**	0,00**
Fabricación de vehículos automotores	0,01**	0,00**	0,00**
Otras industrias manufactureras	0,75	0,00**	0,00**
Fabricación de otros productos con materiales	0,23	0,04**	0,00**
Fabricación de maquinaria y equipo	0,00**	0,00**	0,02**
Comercio de vehículos y actividades conexas	0,00**	0,00**	0,00**
Comercio al por mayor	0,00**	0,04**	0,04**
Comercio al por menor	0,00**	0,00**	0,00**
Comercio de combustibles y lubricantes	0,00**	0,00**	0,00**
Actividades de informática	0,15	0,97	0,16
Otras actividades empresariales	0,26	0,26	0,54

\*\* , \* : estadísticamente significativo al 1% y 5%, respectivamente.

Fuente: elaboración propia.

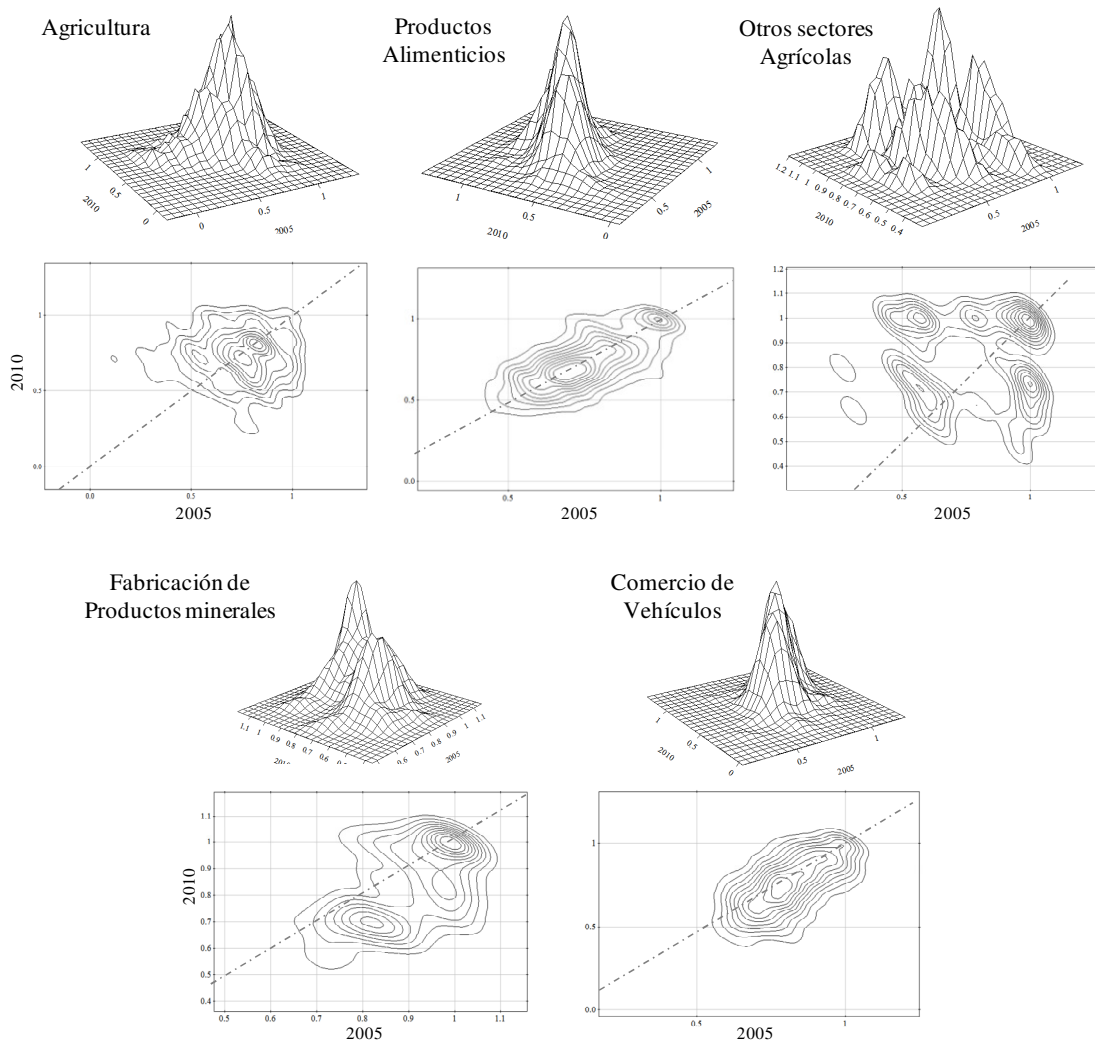
En tercer lugar, se utilizarán los *kernels* estocásticos entre el primer y último año. En el análisis anterior, se han mostrado las formas externas de la distribución. Una manera de poder analizar los movimientos intradistribucionales es mediante el cálculo de las conocidas matrices de transición. Este método implica que los resultados dependen del número y amplitud de los intervalos considerados. Por ello, autores como Quah (1997) y Stokey y Lucas (1989) prefieren analizar la dinámica dentro de la distribución por medio de una aproximación continuada basada en el empleo de *kernels* estocásticos, que no son otra cosa que el equivalente a una matriz de transición con un número de intervalos que tiende a infinito.

La Figura 4 muestra los gráficos tridimensionales y de contorno para cada grupo y sectores seleccionados. El *kernel* estocástico puede aproximarse a partir de la estimación de la función de densidad de la distribución en un período determinado,  $t+k = 2010$ , condicionada a los valores correspondientes a un período anterior,  $t = 2005$ ; para ello, se

lleva a cabo la estimación no paramétrica de la función de densidad conjunta de la distribución en los momentos  $t$  y  $t+k$ . En la parte tridimensional de los gráficos, el eje  $X$  representa los valores de la eficiencia en 2005 y el eje  $Y$  representa los valores de la eficiencia diez años después (es decir 2010), mientras que el eje  $Z$  representa la densidad (o probabilidad condicionada) de cada punto en el espacio  $X$ - $Y$ . Las líneas paralelas al año 2010 muestran la probabilidad de transitar desde el punto que se considere en el eje  $X$  a cualquier otro punto en el eje  $Y$ . En la Figura 2, se presentan los *kernels* estocásticos de cinco sectores que muestran diferentes procesos (el resto de sectores se comportan de forma similar a los de la figura). La masa probabilística se muestra sobre la diagonal y en la parte superior (Agricultura), sólo sobre la diagonal (Productos Alimenticios y Comercio de Vehículos), en la diagonal y por debajo de la misma (Fabricación de Productos Minerales) y sobre la diagonal y zonas inferior y superior de la diagonal (Otros Sectores Agrícolas). Una forma más sencilla de analizar este fenómeno se refleja en el mismo gráfico, por medio de los diagramas de contorno, que representan cortes paralelos a la base del *kernel* (espacio  $X$ - $Y$ ) a alturas equidistantes. Se trata por tanto de puntos de igual altura y densidad. Si las líneas de contorno se sitúan a lo largo de la diagonal positiva, el grado de movilidad es reducido; mientras que, si no se concentran alrededor de la misma, ha existido movilidad, tanto mayor cuanto más se alejen esas líneas de la diagonal.

El sector agrícola muestra un núcleo o polo en la diagonal y otro por encima de la misma; confirman que un grupo de empresas ha mejorado sus niveles de eficiencia (convergen). Lo contrario ocurre en el sector de Productos Minerales, al situarse uno de los núcleos por debajo (divergencia). En el caso de los Productos Alimenticios y Comercio de Vehículos, no existe movilidad (estancamiento). En este último sector, no hay presencia clara del núcleo de empresas de alto nivel de eficiencia. Por último, el sector “Otros Productos Agrícolas” muestra cuatro núcleos, dos por encima y otro por debajo (convergencia y divergencia respectivamente), además de un cuarto núcleo sobre la diagonal. Este último sector presenta un claro proceso de estratificación.

**Figura 4.** Dinámica intradistribucional según sectores seleccionados (2005-2010)



Fuente: elaboración propia.

### 3.3 Análisis del crecimiento de la productividad y sus componentes

La medida de cambio productivo y técnico entre dos períodos de tiempo se obtiene a través del índice de Malmquist. En este trabajo se utiliza este índice basado en el *output*. La ilustración del índice de Malmquist (en adelante MALM), siguiendo a Grosskopf (1993), quedaría recogida en la siguiente ecuación:

$$m_i(y_{t+1}, x_{t+1}, y_t, x_t) = \left[ \frac{d_i^t(x_{t+1}, y_{t+1})}{d_i^t(x_t, y_t)} \times \frac{d_i^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{d_i^{t+1}(x_t, y_t)} \right]^{1/2} \quad (2)$$

que representa la productividad del punto de producción  $(x_{t+1}, y_{t+1})$  relativo al punto de producción  $(x_t, y_t)$ . Un valor de MALM  $> 1$  indicaría un crecimiento positivo de la productividad total de los factores desde el período  $t$  a  $t+1$ . Este índice es la media geométrica de dos índices *input*-base (MALM). Un índice tecnológico utilizado en el período  $t$  y otro en  $t+1$ .

Los cambios en la eficiencia productiva (*catching-up*) ocurridos en dos períodos de tiempo serán atribuibles a cambios en la eficiencia técnica pura y a cambios en la eficiencia de escala. Estos dos componentes tendrán la forma siguiente:

$$C_{EP}(y_{t+1}, x_{t+1}, y_t, x_t) = \frac{ETP^{t+1}}{ETP^t} \times \frac{ETS^{t+1}}{ETS^t} \quad (3)$$

donde el primer término captaría los cambios en la eficiencia técnica ocurridos entre los períodos  $t$  y  $t+1$  debidos exclusivamente a cambios en la eficiencia técnica pura, mientras que el segundo término captaría los cambios en la eficiencia técnica global debidos únicamente a cambios de escala.

Las estimaciones correspondientes al cambio productivo, representado por el índice de Malmquist (MALM), y a su descomposición en cambio en la eficiencia técnica (CEFT) y cambio técnico (CT), se han realizado comparando períodos adyacentes, permitiendo que cambie la tecnología. Los resultados según sectores se resumen en la Tabla 4. En dicha tabla, los sectores han sido ordenados de mayor a menor según el nivel de crecimiento de la productividad.

En relación al crecimiento de la productividad (MALM $>1$ ), sólo siete sectores (26%) experimentan incrementos de la productividad. El resto de los 20 sectores experimenta decrecimientos de la productividad. En relación a las causas que explican los crecimientos/decrecimientos, éstas difieren de unos sectores a otros. Para una mayor comprensión, procederemos a clasificar las causas según la combinación que se ofrece en la Tabla 5. Grupo 1, con MALM $>1$  y CT $>1$  & CEFT $>1$ , es decir, empresas que experimentan incrementos de productividad como consecuencia de progreso tecnológico y acercamiento a la frontera. En este grupo no se encuentra ningún sector. Grupo 2, con MALM $>1$  y CT $>1$  & CEFT $<1$ , crecimientos de productividad explicados por progreso tecnológico y alejamiento de la frontera que, como media del periodo, han alcanzado tasas anuales de 1,2%



(Actividades de informática), 1,1% (Comercio al por mayor), 0,1% (Productos alimenticios) y 0,1% (Industrias metalmecánicas). Grupo 3, con MALM>1 y CT<1 & CEFT>1, crecimientos de productividad por efecto *catching-up* (acercamiento a la frontera) pero en presencia de regreso técnico: 1,6% (Otros sectores agrícolas), 0,4% (Agrícola con predominio exportador) y 0,3% (Productos de caucho).

**Tabla 4.** Crecimiento de la productividad y sus componentes (valores medios 2005-2010)

Descripción sector	Índice	Cambio	Cambio	Cambio	Cambio
	Malmquist MALM	Técnico CT	eficiencia CEFT	ET Pura	ET escala
Otros sectores agrícolas	1,016	0,998	1,019	1,024	0,995
Actividades de informática	1,012	1,043	0,970	0,984	0,987
Agrícola con predominio exportador	1,004	0,989	1,015	1,004	1,011
Productos de caucho	1,003	0,995	1,008	0,999	1,009
Comercio al por mayor	1,002	1,011	0,995	0,971	1,025
Productos alimenticios	1,001	1,014	0,987	0,994	0,993
Industrias metálicas básicas	1,001	1,001	1,000	1,004	0,996
Manufactura de calzado y productos relacionados	0,999	1,026	0,973	0,982	0,991
Fabricación de vidrio y productos de vidrio	0,999	0,999	0,999	0,999	1,000
Fabricación de productos de cemento, hormigón	0,996	0,977	1,019	1,001	1,017
Otras industrias manufactureras	0,996	0,992	1,004	1,000	1,005
otras actividades empresariales	0,995	1,009	0,987	0,990	0,997
Fabricación de papel, cartón y derivados	0,994	1,003	0,991	0,995	0,996
Productos químicos	0,994	1,005	0,989	0,990	0,999
Curtiembre y manufacturas de cuero diferentes	0,993	1,000	0,994	0,998	0,996
Fabricación de maquinaria y equipo	0,993	1,015	0,979	0,976	1,003
Comercio de vehículos y actividades conexas	0,993	1,014	0,979	0,980	0,999
Fabricación de prendas de vestir	0,992	1,005	0,986	0,990	0,996
Productos de plástico	0,992	0,978	1,014	0,997	1,017
Fabricación de otros productos con materiales	0,991	1,004	0,986	0,995	0,992
Comercio de combustibles y lubricantes	0,991	0,999	0,993	0,995	0,998
Industria Metalmecánica derivada	0,990	1,005	0,985	0,990	0,994
Comercio al por menor	0,988	1,014	0,974	0,986	0,989
Preparación de madera y elaboración de produc.	0,987	0,994	0,993	0,996	0,997
Fabricación de telas y actividades relacionadas	0,986	0,997	0,989	0,986	1,003
Fabricación de productos minerales no metálicos	0,984	1,015	0,970	0,984	0,985
Fabricación de vehículos automotores	0,979	0,984	0,995	0,991	1,004

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, los grupos 4 a 6 recogen a los sectores que experimentan disminución de la productividad en el periodo 2005-2010, MALM<1. Esta pérdida puede ser consecuencia del alejamiento de la frontera en presencia de progreso tecnológico (grupo 4), acercamiento a la frontera en presencia de regreso técnico (grupo 5) ó regreso técnico y alejamiento de la frontera simultáneamente (grupo 6).

En la Figura 5, se muestran las tendencias de MALM y sus componentes CT y CEFT a lo largo del tiempo. Se han seleccionado seis sectores (el resto tienen patrones

similares a los que contiene la figura). Como puede apreciarse en general, el comportamiento de CT y CEFT es antagonista, aunque con diferentes patrones de tendencia.

**Tabla 5.** Formación de grupos según las causas cambio técnico o en eficiencia

Grupos	Índice de Malmquist MALM	Cambio técnico CT	Cambio en eficiencia CEFT	Descripción sectores
1	> 1	> 1	> 1	-
2	> 1	> 1	< 1	Actividades de informática (4,3) Comercio al por mayor (1,1) Productos alimenticios (1,4) Industria Metalmecánica (0,1)
3	> 1	< 1	> 1	Otros sectores agrícolas (1,6) Agrícola con predominio exportador (0,4) Productos de caucho (0,3)
4	< 1	≥1	<1	Otras actividades empresariales (-0,5) Fabricación de papel, cartón, derivados (-0,6) Productos Químicos (-0,6) Manufacturas de cuero (-0,7) Fabricación de maquinaria y equipos (-0,7) Comercio de vehículos y actividades conexas (-0,7) Fabricación prendas de vestir (-0,8) Fabricación de otros productos con materiales (-0,9) Industria metalmecánica derivada (-1,0) Comercio al por menor (-1,2) Fabricación de productos minerales (-1,6)
5	< 1	<1	>1	Fabricación de productos de cemento (-0,4) Otras industrias manufactureras (-0,4) Productos de Plástico (-0,8)
6	< 1	< 1	< 1	Comercio de combustibles y lubricantes (-0,9) Preparación de madera y elaboración de prod. (-1,3) Fabricación de telas y actividades relacionadas (-1,4) Fabricación de vehículos automotores (-2,1)

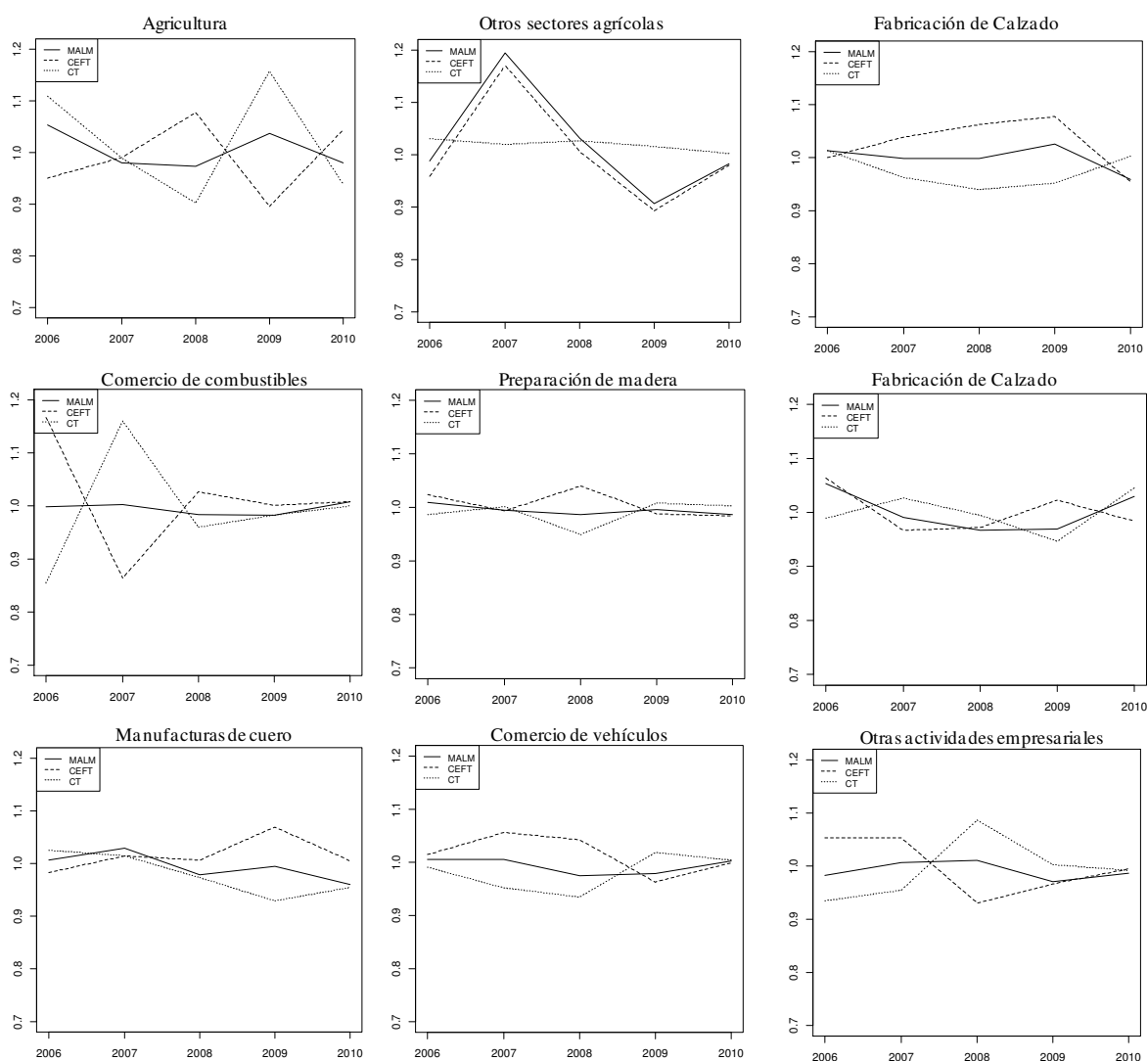
Fuente: elaboración propia.

Debido a la regresión del cambio de la eficiencia media de las empresas analizadas en 20 de los sectores (74%), conviene realizar la descomposición de la misma en cambio en eficiencia técnica pura y cambio en eficiencia de escala; de esta forma, es posible analizar con mayor profundidad las causas de la regresión ocurrida durante el período estudiado. Los valores medios alcanzados en el período analizado se presentan en la misma Tabla 2 (columnas 5 y 6). La condición de presencia de regreso de la eficiencia sería  $CEFT < 1$ .

La consideración realizada se ha efectuado en base a rendimientos de escala variables. Autores como Zoffío (2001) recogen la controversia surgida a la hora de identificar e interpretar convenientemente la contribución que los cambios en la escala tienen sobre las variaciones en la productividad, indicando las distintas interpretaciones que se han dado a cada uno de los distintos términos propuestos en la literatura. En este trabajo

se ha optado por la descomposición inicialmente propuesta por Färe *et al.* (1994), que descompone la variación de la eficiencia técnica en dos términos: en primer lugar, la eficiencia técnica pura establecida como la distancia que separa a la empresa de la frontera, siempre considerando la escala de operaciones en la que opera, de forma que la frontera permite la existencia de rendimientos variables a escala; y en segundo lugar, la eficiencia de escala que evalúa la variación que existe entre la productividad obtenida en la proyección eficiente de la empresa sobre la frontera eficiente para su escala de operaciones y la obtenida por las empresas que operan en la escala más productiva.

**Figura 5.** Evolución de la productividad y sus componentes



Fuente: elaboración propia.

Con objeto de simplificar el análisis, clasificaremos a los sectores en dos subgrupos: el subgrupo A, con aquellos que tienen valores de cambio en eficiencia de pura y de escala

menores a 1, y el subgrupo B, con los que tienen valores de eficiencia técnica pura menor que 1 pero eficiencia de escala mayor que 1. Las empresas que pertenecen a los sectores incluidos en el subgrupo A muestran que el alejamiento de la frontera eficiente se debe tanto al decrecimiento de la eficiencia técnica pura como a la eficiencia de escala; por tanto, las empresas tienden a alejarse de la escala de operaciones de las empresas líderes en las variaciones en la productividad. Esta tendencia decreciente del cambio de eficiencia productiva se vincula, principalmente, a la eficiencia pura en la mayoría de los sectores (16 sectores). Por ejemplo, en el sector “Actividades de Informática” mostrado en la Tabla 2, la tasa media anual en cambio de eficiencia productiva es de -3,0 [0,970-1] por ciento, correspondiente a un -1,6% imputable a la eficiencia técnica pura, y a un -1,3% atribuible a la de escala. Este efecto es observable con otros valores en el resto de sectores con la excepción de “Comercio al por mayor”, “Fabricación de maquinaria y equipos”, “Fabricación de telas y actividades relacionadas” y “Fabricación de vehículos”.

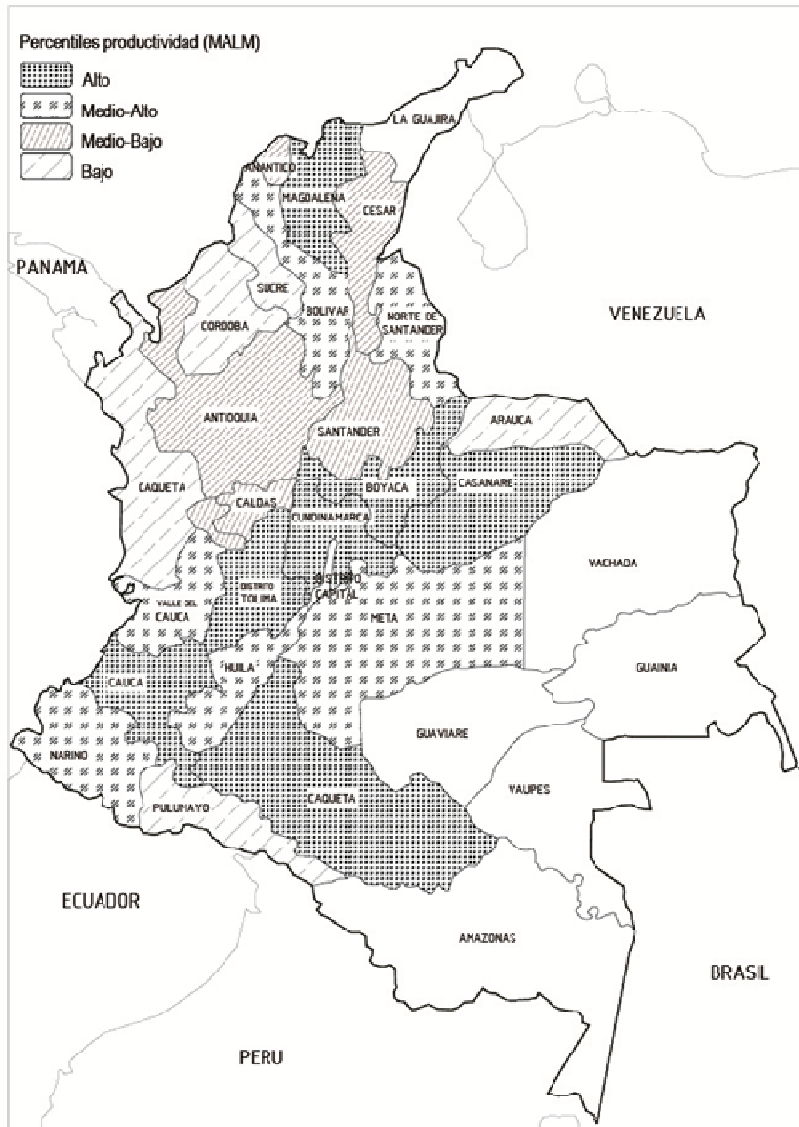
Así, se deduce que las variaciones en la escala de operaciones, de existir, tanto en las empresas que operan en la escala óptima como en el resto de empresas existentes, no difieren. Por ello, toda la pérdida de eficiencia puede adscribirse a cuestiones técnicas y no a las deficiencias en el tamaño (escala) de las empresas.

En el subgrupo B, el planteamiento es similar al subgrupo A, donde la escala de operaciones obtiene valores superiores a la unidad, imputando por completo todos los problemas a la eficiencia técnica pura.

Relacionando la productividad (MALM) con la localización geográfica de las empresas/sectores, la Figura 6 muestra los valores de la productividad por percentiles para el periodo de análisis (test de Kruskal-Wallis  $z=2,05$ ,  $p\text{-valor}=0,041$ ).

El percentil alto recoge a los departamentos de Boyaca, Caqueta, Cundimarca, Magdalena, Cauca, Casanare y Tolima; el percentil medio-alto a Bogota, Bolivar, Meta, Nariño, Norte, Quindío y Valle; el percentil medio-bajo a Atlantico, Caldas, Cesar, Santander y Risalda; y finalmente, el percentil, bajo a Arauca, Córdoba, Putumayo, Sucre y Choco.

**Figura 6.** Niveles de productividad por percentiles según departamentos en Colombia



### 3.4 Análisis de los determinantes de la eficiencia

Una vez determinada la eficiencia ( $\theta_i$ ) de las empresas por sector, en una segunda etapa, se analizarán los factores que la explican (se acercan o alejan de la frontera) a través de un vector de variables  $Z = (z_1, z_2, \dots, z_L)$  como muestra la ecuación (4). En ella,  $\varepsilon$  es un componente de la eficiencia, que representa la eficiencia de cada empresa que no queda explicada por el resto de la función, y se verifica que  $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ . Dadas las características de la variable dependiente al estar truncada en su valor máximo de 1, se suele utilizar un modelo tobit. Investigadores como Simar y Wilson (2007) proponen a través del modelo

semi-paramétrico, como el que se utiliza en este trabajo, una estimación truncada de máxima verosimilitud.

$$\theta_{it} = f(Z_{it}, \beta_{it}) + \varepsilon_i \quad (4)$$

Este modelo semi-paramétrico permite obtener estimadores de  $\beta$  y  $\sigma$  consistentes y estimaciones no sesgadas de  $\theta$  para cada una de las empresas, bajo rendimientos RVE. El procedimiento consiste en aplicar el método *bootstrap* o de simulación de datos para la inferencia estadística, que permite obtener pseudo-muestras usando la muestra original. Mediante este planteamiento, se evita el sesgo de los índices de eficiencia estimados en primera etapa (variable dependiente en la regresión de la segunda etapa), que se construyen a partir de la información de todas empresas que componen la muestra, con lo que se incumpliría el requisito de independencia entre los errores (Xue y Harker, 1999). No obstante, se tienen muy en cuenta las consideraciones de Caves y Barton (1990) y de Caves (1992). De acuerdo a estos autores, las variables que son consideradas en segunda etapa, se encuentran dentro de las siguientes consideraciones:

- Factores externos ajenos al control del gerente como el grado de competición del mercado (concentración, etc.)
- Características propias de las empresas como el tamaño, localización, etc.
- Efectos dinámicos que afectan a la empresa en el largo plazo.
- Titularidad pública o privada. Influencia de la intervención pública en las decisiones del gerente relativa a los medios de producción.

En la ecuación (5) y (6), se muestran las variables o factores explicativos de la eficiencia:

$$\Theta_i = \beta_1 + \beta_2 Conc + \beta_3 CMdo + \beta_4 Tam + \sum_{i=1}^6 \beta_5 T + \sum_{j=1}^{27} \beta_6 Sec + \varepsilon_i \quad (5)$$

$$\Theta_i = \beta_1 + \beta_2 Conc + \beta_3 CMdo + \beta_4 Tam + \sum_{i=1}^2 \beta_5 Crisis + \sum_{j=1}^{27} \beta_6 Sec + \varepsilon_i \quad (6)$$

donde *Conc* es la concentración del mercado medido a través del índice de Herfindahl; *CMdo* mide la cuota del mercado de cada empresa; y *Tam*, captura el efecto del tamaño empresarial medido por el activo total sobre la eficiencia. Se incluyen un conjunto de variables *dummies* que controlan el efecto temporal, *T*, el sector de la empresa, *Sec*, y la crisis económica, *Crisis*.

Como puede apreciarse en la Tabla 6, el coeficiente de la variable concentración (*Conc*) es negativo y estadísticamente significativo, indicando que mayor información entre los agentes en el mercado incrementa la eficiencia. El coeficiente de la cuota de mercado (*CMdo*) es positivo y estadísticamente significativo, lo que implica que mayor poder de mercado se relaciona con mayores niveles de eficiencia. El coeficiente de la variable del tamaño (*Tam*) es positivo y estadísticamente significativo, indicando la relación positiva entre tamaño y eficiencia. Las empresas grandes obtienen economías de escala y alcance frente a las empresas medianas y pequeñas.

**Tabla 6.** Factores explicativos de la eficiencia

Variables	Coef. E.	DE	sig	intervalos 95%	
				inf	sup
Constante ( $\beta_1$ )	0,720	0,004	**	0,712	0,728
Concentración ( $\beta_2$ )	-1,185	0,197	**	-1,571	-0,799
Cuota_Mdo ( $\beta_3$ )	0,011	0,002	**	0,008	0,014
Activo( $\beta_4$ )	3,6E-11	8,5E-12	**	1,9E-11	5,2E-11
2006 ( $\beta_{5,2}$ )	0,090	0,004	**	0,002	0,018
2007 ( $\beta_{5,3}$ )	0,003	0,004		-0,004	0,012
2008 ( $\beta_{5,4}$ )	-0,015	0,004	**	-0,023	-0,007
2009 ( $\beta_{5,5}$ )	-0,027	0,003	**	-0,034	-0,019
2010 ( $\beta_{5,6}$ )	-0,038	0,004	**	-0,045	-0,030
Otros sectores agrícolas( $\beta_{6,2}$ )	0,050	0,059		-0,067	0,166
Productos alimenticios( $\beta_{6,3}$ )	-0,002	0,006		-0,013	0,010
Fabricación de telas y actividades relacionad( $\beta_{6,4}$ )	0,001	0,003		-0,006	0,007
Fabricación de prendas de vestir( $\beta_{6,5}$ )	-0,002	0,009		-0,019	0,015
Curtiembre y manufacturas de cuero diferentes( $\beta_{6,6}$ )	0,015	0,018		-0,020	0,049
Manufactura de calzado y productos relacionad( $\beta_{6,7}$ )	0,007	0,009		-0,012	0,025
Preparación de madera y elaboración de productos( $\beta_{6,8}$ )	-0,104	0,083	**	-0,267	0,059
Fabricación de papel, cartón y derivados( $\beta_{6,9}$ )	-0,096	0,091		-0,275	0,083
Productos químicos( $\beta_{6,10}$ )	0,037	0,015	**	0,007	0,066
Productos de caucho( $\beta_{6,11}$ )	-0,019	0,033		-0,085	0,046
Productos de plástico( $\beta_{6,12}$ )	-0,045	0,094		-0,229	0,138
Fabricación de vidrio y productos de vidrio( $\beta_{6,13}$ )	-0,054	0,020	**	-0,094	-0,015
Fabricación de productos minerales no metálicos( $\beta_{6,14}$ )	0,007	0,008		-0,009	0,023
Fabricación de productos de cemento, hormigón( $\beta_{6,15}$ )	-0,019	0,014		-0,045	0,008
Industrias metálicas básicas( $\beta_{6,16}$ )	-0,018	0,016		-0,048	0,013
Industria metalmeccánica derivada( $\beta_{6,17}$ )	0,006	0,014		-0,022	0,035
Fabricación de vehículos automotores( $\beta_{6,18}$ )	0,014	0,016		-0,019	0,046
Otras industrias manufactureras( $\beta_{6,19}$ )	-0,014	0,011		-0,035	0,006
Fabricación de otros productos con materiales( $\beta_{6,20}$ )	-0,040	0,051		-0,140	0,060
Fabricación de maquinaria y equipo ( $\beta_{6,21}$ )	-0,017	0,016		-0,049	0,015
Comercio de vehículos y actividades conexas( $\beta_{6,22}$ )	0,002	0,009		-0,015	0,019
Comercio al por mayor( $\beta_{6,23}$ )	-0,003	0,040		-0,082	0,076
Comercio al por menor( $\beta_{6,24}$ )	0,005	0,007		-0,008	0,019
Comercio de combustibles y lubricantes( $\beta_{6,25}$ )	-0,016	0,029		-0,073	0,042
Actividades de informática( $\beta_{6,26}$ )	0,011	0,012		-0,013	0,034
Otras actividades de informática( $\beta_{6,27}$ )	-0,007	0,004		-0,015	0,002
Sigma	0,191	0,004	**		
Log likelihood	15465,3				
Numero de observaciones	38158				

\*\*, \*: estadísticamente significativo al 99 y 95% respectivamente.

Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente al modelo representado en (5), se estima un nuevo modelo en (6), donde se introduce una variable *dummy* que captura el periodo de crisis. Se eliminan las *dummies* de año debido a problemas de colinealidad. Como refleja el signo negativo y estadísticamente significativo del parámetro de la *dummy* de crisis, durante este periodo la eficiencia fue menor. El resto de resultados se mantiene constantes respecto al modelo ya comentado (véase Tabla 7).

**Tabla 7.** Factores explicativos de la eficiencia con inclusión de efecto crisis

Variables	Coef. E.	DE	sig	intervalos 95%	
				inf	sup
Constante ( $\beta_1$ )	0,719	0,003	**	0,713	0,725
Concentración ( $\beta_2$ )	-1,198	0,212	**	-1,615	-0,782
Cuota_Mdo ( $\beta_3$ )	0,011	0,001	**	0,007	0,015
Activo( $\beta_4$ )	3,3E-11	1,2E-12	**	9,8E-12	5,7E-11
Dummy_crisis (1=crisis) ( $\beta_5$ )	-0,032	0,002	**	-0,036	-0,027
Sectores (omitidos)	-	-	-	-	-
Sigma	0,192	0,001	**		
Log likelihood	15439,2				
Numero de observaciones	38158				

\*\* , \* : estadísticamente significativo al 99 y 95%, respectivamente.

Fuente: elaboración propia.

#### 4. Conclusiones

Este trabajo se ha planteado como objetivos el análisis de la evolución de la eficiencia y sus factores determinantes en las empresas pertenecientes a 27 sectores de agricultura, servicios y manufactura colombiana en el período 2005-2010. Los resultados obtenidos permiten concluir la posibilidad de mejora de los niveles de eficiencia de forma generalizada con independencia del sector de pertenencia. El análisis del crecimiento o disminución de la eficiencia en términos medios en el periodo estudiado, indica que un grupo reducido de sectores incrementa su nivel en relación al año inicial. Estos sectores pertenecen al grupo de agricultura e industria. El análisis de la distribución de la eficiencia muestra una determinada heterogeneidad distribucional. Agrupamiento de la distribución de los índices de eficiencia por sectores en niveles bajos/altos o presencia de valores atípicos considerados fuera del rango intercuartílico. En el análisis de la convergencia de toda la distribución por medio de funciones de densidad *kernel*, se puede apreciar una clara divergencia y, por tanto, empeoramiento de los niveles de eficiencia; mientras que el análisis de convergencia a nivel dinámico con *kernel* estocástico muestra que, aunque la mayor parte de las empresas empeoran, otras se mantienen en sus niveles altos de inicio.



El análisis de la productividad total de los factores por medio del índice de Malmquist ha permitido analizar tanto el cambio productivo así como su descomposición en el resultado del cambio técnico experimentado por la frontera y a cambios en la eficiencia (*catching-up*). Los resultados del cambio productivo muestran que tan solo seis sectores experimentan ganancias en productividad, cuyos valores oscilan entre un 1,6 y un 0,1%. Los factores explicativos son generalmente consecuencia de progreso tecnológico. Sin embargo, en dos de los tres sectores agrícolas que obtienen incrementos de la productividad, las causas de la misma se deben a las mejoras de la eficiencia (*catching up*).

En relación a los factores explicativos de la eficiencia y las posibles implicaciones para los gerentes, es importante considerar lo siguiente. En primer lugar, el resultado del poder de mercado relativo es pertinente para la elección y aplicación de estrategias desde la perspectiva de gestión. En particular, esto pone de relieve la importancia de la cuota del mercado como un factor relevante para lograr una mayor eficiencia, al igual que los beneficios asociados con el tamaño de la empresa. Es decir, el mayor tamaño de las empresas asociadas con una menor concentración del mercado parece proporcionar un marco de referencia útil en el análisis de la competencia en la búsqueda de las posibles ventajas competitivas. Posiblemente este resultado sería el esperado, dado que se asume que la mayor dimensión empresarial se relaciona con eficiencia de escalas y alcance. Sin embargo, una mayor dimensión puede suponer mayores costes de coordinación y mayor despilfarro de recursos en presencia de niveles bajos de competitividad del mercado. Los efectos de la crisis económica en Colombia han tenido un impacto negativo sobre la eficiencia

Aunque de los resultados alcanzados en este trabajo puedan ayudar a complementar la literatura empírica relativa a los sectores que forman parte de la economía colombiana, es posible llevar a cabo mejoras que permitan nuevas líneas de investigación. Por ejemplo, en primer lugar, intentar ampliar el horizonte temporal más allá del periodo 2005-2010 e igualmente ampliar el número de sectores analizados. En segundo lugar, utilizar la novedosa propuesta de Simar y Zelenyuk (2011), con DEA estocástico para introducir ruido en los modelos de frontera no paramétrica, o la utilización del test de separabilidad de Daraio *et al.* (2015) para determinar la aplicabilidad de la segunda etapa. Tercero, intentar utilizar otras variables que permitan capturar de forma más próxima la combinación de

factores. Por el momento, esta última propuesta es quizás una alternativa poco viable dada la escasez de información existente.

## **Agradecimientos**

Este trabajo fue presentado en el VII Congreso de eficiencia y productividad EFIUCO (Cordoba, mayo de 2016).

## **Bibliografía**

- Acevedo, M. C. y Ramírez, J. (2005). Diferencias regionales en la eficiencia técnica del sector de confecciones en Colombia: un análisis de fronteras estocásticas. *Innovar*, 90, 90-105.
- Almanza-Ramírez, C. (2012). Eficiencia en costos de la banca en Colombia, 1999-2007: una aproximación no paramétrica. *Innovar*, 22, 67-78.
- Álvarez, A. (2001). *La medición de la eficiencia y la productividad*. Madrid: Pirámide.
- Badel, A. (2002). Sistema bancario colombiano ¿Somos eficientes a nivel internacional? *Archivos de Economía*, Documento, 190, 26 pp.
- Banker, R. D.; Charnes, A. y Cooper, W. W. (1984). Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 30 (9), 1078-1092.
- Berrio, D. y Muñoz, A. (2005). Análisis de la eficiencia relativa del sistema bancario en Colombia en el periodo 1993-2003 y propuesta estratégica de fortalecimiento. *Pensamiento y Gestión*, 18, 1-36.
- Bowman, A. y Azzalini, A. (1997). *Applied Smoothing Techniques for Data Analysis: The Kernel Approach with S-Plus Illustrations*. Oxford: Clarendon Press.
- Castro, G. y Salazar, R. (2011). Eficiencia financiera del sector industrial de agroquímicos, Colombia, 2005. *Economía, Gestión y Desarrollo Cali (Colombia)*, 11, 91-119.
- Caves, R. (1992). Determinants of Technical Efficiency in Australia. En: R. Caves (ed.), *Industrial Efficiency in Six Nations* (pp. 241-272). Cambridge: MIT Press.
- Caves, R. y Barton, D. (1990). *Efficiency in US: Manufacturing Industries*. Cambridge: MIT Press.
- Charnes, A.; Cooper, W. W. y Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444.

- Coelli, T.; Rao, D. S.P.; O'Donneell, C.J. y Battese, G.E. (2002). *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. Londres: Kluwer Academic Publishers.
- Coelli, T. J. (1996). A guide to DEAP Version 2.1: A data envelopment analysis (computer) program. *CEPA Working Paper*, 96/08, 49 pp.
- Daraio, C.; Simar, L. y Wilson, P. W. (2015). Testing the Separability Condition in Two-Stage Nonparametric Models of Production. *ISBA Discussion Paper*, 2015/18, 43 pp.
- De Jorge-Moreno, J y Sanz-Triguero, M. (2010). El sector de la distribución en España. Productividad, eficiencia y convergencia. *Cuadernos Económicos del ICE*, 79, 239-269.
- De Jorge-Moreno, J. y Suárez, C. (2010). Efficiency Convergence processes and effects of regulation in the nonspecialized retail sector in Spain. *Annals of Regional Science*, 44, 573-597.
- De Jorge-Moreno, J.; López Robayo, O. y Díaz Castro, J. (2014). Productividad, eficiencia y sus factores explicativos en el sector de la construcción en Colombia 2005-2010. *Cuadernos de Economía*, 33(63), 569-588.
- De Jorge-Moreno, J.; Rojas Carrasco, O. y Díaz Castro, J., (2015). Factores explicativos de la eficiencia en relación con el tamaño empresarial en el sector manufacturero español. *Revista de Economía del Rosario*, 18(1), 61-91.
- Echevarría, J.; Arbeláez, M. y Rosales, M., (2006). La productividad y sus determinantes: el caso de la industria colombiana. *Desarrollo y Sociedad*, 57, 78-122.
- Eslava, M.; Haltiwanger, J.; Kugler, A. y Kugler, M. (2004). The effects of structural reforms on productivity and profitability enhancing reallocation: Evidence from Colombia. *Journal of Development Economics*, 75(2), 333-371.
- Eslava, M.; Helitanker, J.; Kugler, A. y Kugler, M. (2013). Trade Reforms and Market Selection: Evidence from Manufacturing Plants in Colombia. *Review of Economic Dynamics*, 16, 135-158.
- Färe, R.; Grosskopf, S. y Lovel, C. A. K. (1994). *Production Frontiers*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, Serie A (General)*, 120(3), 253-281.
- Fontalvo-Herrera, T. J. (2014). Eficiencia de las entidades del régimen subsidiado en Colombia por medio de análisis envolvente de datos. *Revista de Universidad y Salud*, 16(1), 35-46.
- Gallón, S. (2007). Crecimiento de la productividad total factorial de la industria regional colombiana: una aplicación de modelos de frontera estocástica. En: J. Lotero (ed.), *Industria y región en Colombia: desarrollo espacial, productividad y competitividad*

comercial durante la apertura de los noventa (pp. 103-146), Antioquía: Centro de Investigaciones Económicas de la Universidad de Antioquía.

Gattoufi, S.; Oral, M. y Reisman, A. (2004). Data envelopment analysis literature: A bibliography update, (1951–2001). *Socio-Economic Planning Sciences*, 38, 159-229.

Gómez, L. M., (2015). Diferencias en la evolución de la productividad regional en la industria colombiana: un análisis sectorial a partir de fronteras estocásticas de producción time varying: 1992-2010. *Desarrollo y Sociedad*, 75, 101-152.

Grosskopf, S., (1993). Efficiency and Productivity. En: H. O. Fried, C. K. A. Lovell y S. S. Schmidt (eds.), *The Measurement of Productivity Efficiency: Techniques and Applications* (pp. 160-194), Oxford: Oxford University Press.

Hartigan, J. A. y Hartigan, P. M. (1985). The Dip Test of Unimodality. *Annals of Statistics*, 13(1), 70-84.

Iregui, A.; Melo, L. y Ramírez, M., (2006). Productividad regional y sectorial en Colombia: un análisis utilizando datos panel. *Ensayos sobre Política Económica*, 25(53), 18-65.

Lee, W. y Tyler, W. (1979). On Estimating Stochastic Frontier Production Functions and Average Efficiency: An Empirical Analysis with Columbian Micro Data. *The Review of Economics and Statistics*, 61(3), 436-438.

Loaiza, O. L. y Franco, L. F. (2012). Un estudio acerca de los determinantes de la productividad y la ineficiencia técnica en la industria colombiana 1992-2007. *MPRA Paper*, N° 47735, 38pp. Disponible en <http://mpra.ub.uni-muenchen.de/47736/>.

Navarro, J.; Maza, F. y Viana, R. (2011). La eficiencia de los hospitales colombianos en el contexto latinoamericano. Una aplicación de análisis envolvente de datos (DEA) en un grupo de hospitales de alta complejidad, 2009. *Ecós de Economía*, 33, 71-93.

Peñaloza, M. C. (2003). Evolución de la eficiencia en instituciones hospitalarias públicas y privadas con Data Envelopment Analysis (DEA). *Archivos de Economía*, Documento 244, 39 pp.

Perdomo, J. A. y Mendieta, J. C. (2007). Factores que afectan la eficiencia técnica y asignativa en el sector cafetero colombiano: una aplicación con análisis envolvente de datos. *Desarrollo y Sociedad*, 60, 1-45.

Perdomo, J. A. y Lee, D. (2011). Funciones de producción, análisis de economías a escala y eficiencia técnica en el eje cafetero colombiano: una aproximación con frontera estocástica. *Revista Colombiana de Estadística*, 34, 377-402.

Pinzón, M. J. (2003). Medición de eficiencia técnica relativa en hospitales públicos de baja complejidad mediante la metodología Data Envelopment Analysis (DEA). *Archivos de Economía*, Documento, 245, 80 pp.

- Quintero, J. D.; Prieto, W. O.; Barrios, F. y Leviller, L. (2008). Determinantes de la eficiencia técnica en las empresas colombianas 2001-2004. *Semestre Económico*, 11(22), 11-34.
- Rodríguez, J. L. y Gómez, D. (2012). Crecimiento y eficiencia de la industria editorial de Bogotá. *Apuntes del CENES*, 31(53), 201-223.
- Quah, D. T. (1997). Empirics for Growth and Distribution: Stratification, Polarization and Convergence Clubs. *Journal of Economic Growth*, 2, 27-59.
- Simar, L. y Wilson, P. (2007). Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes. *Journal of Econometrics*, 136(1), 31-64.
- Simar, L. y Zelenyuk, V. (2011). Stochastic FDH/DEA estimators for frontier analysis. *Journal of Productivity Analysis*, 36(1), 1-20.
- Stokey, N. L. y Lucas, R. E. (1989). *Recursive Methods in Economics Dynamics*. Cambridge: Harvard University Press.
- Wilson, P. W. (1993). Detecting outliers in deterministic nonparametric frontier models with multiple outputs. *Journal of Business and Economic Statistics*, 11, 319-323.
- Xue, M. y Harker, P. T. (1999). Extensions of Modified DEA. *Center for Financial Institutions Working Papers*, 99-07.
- Zofío, J. (2001). La evaluación de la productividad con índices de Malmquist. En: A. Álvarez (ed.), *La medición de la eficiencia y la productividad* (p. 167-196), Madrid: Pirámide.

## ANEXO

Tabla 1A. Análisis descriptivo de la muestra (valores medios en 000 millones de pesos y desviación estándar)

Sector	Nº Obs.	Ventas	Consumos	Salarios	Activo
Agrícola con Predominio Exportador	386	7860	6689	806	14300
Otros Sectores Agrícolas	43	21200	16900	1891	43400
Productos Alimenticios	380	5817	4399	819	13800
Fabricación de Telas d Actividades Relacionad	78	11900	9804	1652	25400
Fabricación de Prendas de Vestir	214	58500	45000	3219	51800
Curtiembre y Manufacturas de Cuero Diferentes	29	134000	105000	9988	139000
Manufactura de Calzado y Productos Relacionad	40	30300	25200	1820	49500
Preparación de Madera y Elaboración de Productos.	37	71900	62900	3443	142000
Fabricación de Papel, Cartón y Derivados	53	14900	10600	1074	13800
Productos Químicos	286	35300	25400	2407	37300
Productos de Caucho	31	16000	10800	1599	15300
Productos de Plástico	211	35400	20600	4996	33700
Fabricación de Vidrio Y Productos de Vidrio	19	11200	7713	842	9595
Fabricación de Productos Minerales no Metálicos	64	24600	15100	1990	18700
Fabricación de Productos de Cemento, Hormigón	34	7807	5843	799	13000
Industrias Metálicas Básicas	53	24300	17900	1925	47900
Industria Metalmeccánica Derivada	198	86900	66000	5359	162000
Fabricación de Vehículos Automotores	89	169000	131000	16300	382000
Otras Industrias Manufactureras	216	57500	37800	4606	52300
Fabricación de Otros Productos con Materiales	39	144000	108000	12900	124000
Fabricación de Maquinaria y Equipo	143	31300	25200	1499	31700
Comercio de Vehículos y Actividades Conexas	464	83100	70600	2924	91800
Comercio al por mayor	1743	17300	13300	1273	19600
Comercio al por menor	974	30700	24100	2316	42200
Actividades de Informática	66	58300	40300	4097	77200
Otras Actividades Empresariales	332	119000	81700	7673	185000
		15700	10700	1550	21300
		44100	28400	3402	54900
		94700	59700	9002	407000
		280000	163000	32100	2040000
		74400	55600	6951	118000
		185000	131000	30100	453000
		22300	18100	1297	22000
		65600	56400	2811	64300
		42600	34700	1731	28800
		163000	136000	2937	84100
		20900	14600	1615	17500
		88100	56900	6470	58100
		22600	16900	1234	22600
		77500	60600	2492	80000
		26100	19200	1952	24100
		85600	67000	5308	70000
		31400	25700	1146	16100
		148000	121000	2901	75200
		29200	23300	1763	15700
		196000	175000	12300	88300
		25100	19100	1518	18600
		245000	189000	12000	216000
		17100	14700	886	6897
		51400	45800	2361	18900
		11100	6585	1645	8404
		22000	12700	3113	18400
		15000	11000	1964	12200
		39200	28900	5175	51600

Fuente: Banco de la República-DANE.