

Universidad de los Andes

Facultad de Economía

Evaluación del cambio tecnológico y de eficiencia en la Industria Manufacturera Colombiana

Asesor: Hernando Zuleta.

Presentado Por: Anderson Ospino Rojas

Código: 200812912

Junio de 2014

Resumen

En este documento se utiliza el índice de malmquist junto con la metodología no paramétrica de análisis envolvente de datos para medir el crecimiento de la productividad total factorial (PTF) y desagregarlo en cambio en eficiencia y cambio tecnológico. Esta desagregación permite estudiar los canales por los cuales se afecta la PTF y sus componentes. Los resultados muestran que el signo del efecto de una misma variable puede ser diferente para la tasa de crecimiento en la PTF y las tasas de crecimiento de los componentes individuales.

La desagregación permite observar también a nivel sectorial y para el agregado de la industria cual ha sido el desempeño individual de la PTF, la eficiencia y la frontera de producción. Se demuestra que analizar sólo el crecimiento de la PTF puede no ser suficiente si se desea hacer una evaluación completa y concienzuda del desempeño de un sector.

Adicionalmente se encuentra que el trabajo se ha reasignado hacia los sectores con mayor tasa de cambio tecnológico, y que éste no ha estado acompañado de una profundización del capital. Así mismo se observa que el cambio tecnológico esta asociado con incrementos en la productividad de todos los factores, pero principalmente de capital y trabajo.

Palabras claves: Productividad Total de los Factores, Industria Manufacturera, Cambio Tecnológico, Análisis Envolvente de Datos, Índice de Malmquist.

Códigos JEL: C14, D24, F13, O30, O54

I. Introducción

El objetivo de cualquier economía es alcanzar mayores niveles de desarrollo que garanticen un mayor bienestar para su población. Este objetivo se ha traducido en la práctica en la búsqueda del crecimiento del Producto Interno Bruto de las mismas. Este crecimiento se puede lograr en distintas formas: aumentando los insumos de producción, modificando la asignación de factores productivos al transferirlos de las actividades económicas menos productivas hacia las más productivas o incrementando la Productividad Total Factorial (PTF) al interior de cada una de tales actividades. Este documento se centra en el estudio de esta última, sin embargo a diferencia de otros estudios el crecimiento de la PTF se desagrega en cambio tecnológico y cambio en eficiencia.

El estudio reciente de la PTF se ha hecho con microdatos y se ha centrado en hallar los determinantes de la PTF a nivel de planta y como características del entorno económico pueden afectarla. Usualmente se analiza como el comercio con el exterior, o la política fiscal afectan la PTF. Otros autores se han enfocado en estudiar el crecimiento de la PTF agregada, para ello analizan la salida del mercado de las plantas menos productivas y la reasignación de la producción hacia plantas más productivas. El objetivo de este documento es estudiar el crecimiento de la PTF. Para ello se desagrega éste en dos componentes: cambio tecnológico y cambio en eficiencia y se estudia cuáles son los determinantes de los mismos, con el propósito de tener una mayor comprensión de los canales por los cuales se afecta el crecimiento de la PTF. Así esta propuesta aporta una nueva visión que permite complementar la forma como se estudia actualmente la PTF.

Es un hecho bien conocido que al interior de una industria específica existe una gran heterogeneidad entre las plantas. En este trabajo se aprovecha la misma utilizando una técnica de estimación no paramétrica, el Análisis Envoltante de Datos (DEA), que permite medir la eficiencia técnica de las plantas y hacer un ranking de la mismas en función de que tan cerca se encuentran de la frontera de producción, esta definición de eficiencia contrasta con el significado que usualmente se le asigna en la literatura de PTF, donde el término eficiencia resulta análogo al nivel de productividad total factorial. En este documento el término eficiencia se usa frecuentemente y hace referencia siempre a la definición de DEA. Así mismo se habla de plantas

eficientes, que de acuerdo con DEA son plantas que tienen una eficiencia del 100%, es decir que operan en la frontera de producción y plantas ineficientes que tienen una eficiencia inferior al 100% y operan debajo de la misma. La unidad de estudio en este trabajo es la planta o establecimiento industrial, sin embargo los términos planta o planta se usan indistintamente.

Se explotó la metodología DEA al separar en forma sistemática las plantas que operan en la frontera de producción, de aquellas que no lo hacen y se analizó cuáles son las características de estos dos grupos de plantas. Se encuentra que las plantas que operan en la frontera de producción tienen mayor participación de mercado; Importan un mayor porcentaje de insumos; Tienen mayor tasa de apertura exportadora; Invierten más en investigación y desarrollo en términos absolutos, pero en términos relativos a su tamaño invierten menos; Tienen mayor cantidad de empleados; Poseen más capital por trabajador y mayor productividad del capital.

DEA, consiste en un análisis estático para estimar la eficiencia de una planta. Sin embargo, usado conjuntamente con el índice de Malmquist, que será explicado en detalle en la sección de estrategia empírica, permite hacer un análisis dinámico con el cual se logra desagregar los cambios de la PTF de una planta en tres componentes: Cambio en la eficiencia, medido como el cambio en la distancia entre una planta ineficiente y la frontera de producción de la industria a la que esta pertenece; cambio tecnológico, medido como el desplazamiento de la frontera de producción entre dos periodos de tiempo en la combinación específica de insumos en la que opera la planta bajo análisis y cambio en eficiencia de escala. Este último componente considera que hay combinaciones de insumos más productivas que otras y mide dicho cambio. En este documento no se estudia éste último, sólo se utiliza para lograr la equivalencia del índice de malmquist con el cambio en la PTF.

En la literatura de DEA e índice de Malmquist, los conceptos de crecimiento de la productividad total factorial y cambio tecnológico están relacionados pero son diferentes. Para Cooper, Seiford y Taylor (2007) una planta técnicamente ineficiente puede aumentar su productividad total factorial pero esto no significa que haya habido cambio tecnológico, la situación anterior es conocida como un cambio en eficiencia si la planta opera debajo de la frontera eficiente.

En este documento sólo se hablará de cambio tecnológico en el proceso productivo cuando haya un desplazamiento en la frontera de producción, es decir, un cambio en el proceso de producción que permita generar una mayor cantidad de producto con la misma cantidad de insumos o alternativamente producir una cantidad dada de producto con una menor cantidad de insumos. Estos cambios necesariamente deben producirse en la frontera de producción y por ende los movimientos de plantas al interior de la frontera de producción no serán tenidos en cuenta a la hora de medir el cambio tecnológico, como sí lo hacen las metodologías paramétricas tradicionales, y la metodología de números índices. Ambos enfoques han sido utilizados para estudiar el crecimiento de la PTF en la industria manufacturera Colombiana. Metodologías de tipo paramétrico han sido utilizadas por Arbeláez, Echavarría y Rosales (2006) ; Eslava, Haltiwanger, Kugler y Kugler (2004); Fernández (2002) y Medina, Meléndez y Seim (2003), entre otros. Por su parte números índices fue utilizado por Pombo(1999).

Desde un punto de vista estrictamente teórico la desagregación del crecimiento de la PTF es relevante ya que los componentes de cambio tecnológico y cambio en eficiencia son intrínsecamente diferentes. El incremento en eficiencia, es decir el acercamiento de las plantas ineficientes a la frontera de producción, si bien contribuye a aumentar el producto, tienen un efecto de corto plazo y esta limitado si la frontera de producción no se expande. El cambio tecnológico, en cambio, es en principio ilimitado y determinará el crecimiento de un sector en el largo plazo y a su vez impactará la competitividad de la industria nacional a nivel doméstico y externo.

Desde el punto de vista práctico, la desagregación del crecimiento de la PTF resulta ser una herramienta útil para evaluar el desempeño que ha tenido un sector y para el diseño de política económica. Los resultados para los 57 sectores industriales bajo CIIU revisión 3 A.c. a 4 dígitos muestran casos que tienen tasas de crecimiento en la PTF positivas y simultáneamente tasas de cambio tecnológico negativas. Estos resultados sugieren que mirar sólo cuál ha sido el crecimiento de la PTF para evaluar la evolución de un sector no es suficiente si se desea hacer un análisis detallado del mismo.

Tras desagregar los cambios en la productividad total de los factores (PTF) de la industria manufacturera Colombiana en cambio tecnológico y cambio en eficiencia y analizar su evolución durante 1997-2010, se encuentra que la tasa de cambio tecnológico ha sido de 3.26 %, la PTF ha crecido a una tasa del 3.3% y la eficiencia ha aumentado a una tasa de 3.35% anual. Arbeláez et al. (2006) utilizan frontera estocástica y encuentran que la PTF creció 0.58% anual y 1.16% anual para 1980-1990 y 1991-2002 respectivamente. Esta diferencia puede ser explicada, además de la metodología y el periodo porque en este estudio se considera explícitamente la contribución del capital humano. Puyana (2011) estima una función de producción a nivel de CIU 3 dígitos y encuentran que la PTF ha crecido 2.96% anual en el sector industrial transable para el periodo 1982-2004 y alrededor de 4.25% anual si se considera el periodo 1997-2004. Por su parte Pombo (1999) usando números índices encuentra que la PTF en la industria manufacturera creció 0.9% anual para el periodo 1970-1995.

Más allá, de las ventajas prácticas que tiene la desagregación del crecimiento de la PTF, el objetivo básico de este documento es aprovechar esta desagregación para analizar los efectos de la apertura comercial, concentración industrial y otras características sectoriales sobre el crecimiento de la PTF, por un lado, pero también sobre la eficiencia y cambio tecnológico, por el otro y de esta manera tener una mejor comprensión de los canales por los cuales se afecta el crecimiento de la PTF. Entender que la PTF puede promoverse vía incrementos en eficiencia o vía cambio tecnológico y comprender los canales por los cuales se afecta cada uno de estos es relevante si se quiere promover el crecimiento de la misma.

Al respecto se encuentra que la eficiencia promedio de las plantas del sector y la participación extranjera en el patrimonio afectan positivamente la tasa de cambio tecnológico. La tasa de crecimiento en la eficiencia por su parte se ve afectada positivamente por el nivel de productividad laboral y por la inversión relativa a la producción.

Algunas variables tienen efectos mixtos sobre los componentes del crecimiento de la PTF. El índice de Herfindahl, que mide el grado de competencia en el sector tiene efectos positivos sobre las tasas de crecimiento de la eficiencia y la PTF más no sobre la tasa de cambio tecnológico. El número de plantas en el sector y la participación extranjera en el patrimonio tiene un efecto

positivo sobre la tasa de cambio tecnológico, negativo sobre la tasa de crecimiento en eficiencia y no significativo sobre el crecimiento de la PTF. Algunos resultados requieren más investigación, no son claros los canales por los cuales la edad promedio de las plantas, la concentración industrial y el número de plantas afectan la tasa de crecimiento en la eficiencia.

Por último, aprovechando la medición del cambio tecnológico, bajo la definición presentada en este documento y considerando que no se había aplicado antes en el caso colombiano, se analizó que ha ocurrido con la reasignación intersectorial del factor trabajo, con la intensidad del capital y con la productividad individual de los factores de producción al interior de la industria colombiana. Se encontró que los sectores con mayor tasa de cambio tecnológico han creado más empleo, más aún el empleo se ha reasignado hacia los sectores que han experimentado mayores expansiones en su frontera de producción. No existe una relación evidente entre el cambio tecnológico y las variaciones en capital por trabajador. Los resultados muestran también que el cambio tecnológico ha estado acompañado de incrementos en la productividad individual de todos los factores de producción, pero ha incidido principalmente en la productividad de la mano de obra y del capital.

Se trabajó a nivel de microdato con la Encuesta Anual Manufacturera (EAM) y la encuesta de desarrollo e innovación tecnológica (EDIT). Se aplicó la metodología DEA para cada uno de los años del periodo de estudio (1997-2010) para 57 sectores industriales usando los insumos de una función de producción tipo KLEM¹ y posteriormente se midió con el índice de Malmquist el cambio en la PTF, cambio tecnológico y cambio en eficiencia en cada sector analizado y cada año para el periodo 1998-2010.

El documento continua en la segunda sección con una revisión de literatura sobre Productividad Total Factorial (PTF), en particular PTF en la industria manufacturera Colombiana y aplicación de los métodos DEA e índice de Malmquist en economía. En la tercera sección se hace una breve presentación de los datos usados y se explica la construcción de variables requeridas. En la cuarta sección se presenta la estrategia empírica, donde se explica la metodología DEA y el índice de

¹ KLEM: Capital, Trabajo, Energía, Materias Primas.

malmquist, así como el procedimiento para la obtención de las series de PTF, cambio en eficiencia y cambio tecnológico. En la quinta sección se presentan los resultados y en la última sección se presentan las conclusiones.

II. Revisión de Literatura:

Esta sección se divide en dos partes, en la primera de ellas se hace la revisión de literatura de medición de la productividad total factorial en forma tradicional, en la medida en que se utilizan técnicas paramétricas para su medición. En la segunda parte se revisan distintos estudios a nivel internacional que han aplicado las metodologías de DEA e índices de malmquist para medir el cambio en la PTF y desagregarlo en cambio en eficiencia y cambio tecnológico.

En el primer grupo de literatura existe una amplia base de estudios sobre la evolución de la productividad total de los factores en la industria manufacturera colombiana. Eslava et al. (2004) utilizan datos de la EAM para el periodo 1982-1998 y realizan un análisis de regresión a partir de datos panel con el que estiman la PTF a nivel de planta y estudian si en Colombia la reasignación de factores ayuda a mejorar la productividad de la industria. Este trabajo hace avances importantes en la medición de los factores productivos -varios de ellos aplicados en este documento-. Los autores concluyen que las reformas de inicios de la década del 90 están asociadas con un incremento de la productividad agregada causado por la reasignación de la actividad (participación de mercado) desde las plantas menos productivas hacia las más productivas.

En Arbeláez et al.(2006), se estudia la dinámica de la productividad de la industria colombiana durante 1981-2002 y se analizan sus determinantes. La productividad total de los factores (PTF) se estima usando la técnica semiparamétrica de frontera estocástica con datos a nivel de planta. En este estudio se concluye , a diferencia de otros, que la productividad no cayó en Colombia en la década de los 90; Un factor clave en este resultado es que se corrige el stock de capital de la planta por la utilización de la capacidad instalada a nivel de todo el sector industrial – En forma semejante en este documento se corrige por la utilización de la capacidad instalada a 2 dígitos de la clasificación CIIU revisión 3-. Se encuentra que la PTF es mayor en plantas más grandes; que tienen mayor relación de capital por trabajador; plantas con bajos niveles de endeudamiento y que se encuentran en sectores poco concentrados. Respecto a la apertura comercial encuentran

que plantas en sectores mas abiertos a las importaciones son más productivas pero no hay efectos significativos de las exportaciones sobre la PTF, la inversión extranjera tampoco resulta significativa.

Siguiendo la línea de investigación de Arbeláez et al. (2006) al indagar sobre los determinantes de la PTF, Fernández (2002) trabaja también con la EAM y estima la PTF a partir de un modelo de regresión, el estudio de determinantes señala que la mayor exposición de las plantas a competencia extranjera genera incrementos en la productividad. Por su parte Medina et al. (2003) analizan el efecto de las políticas arancelarias y fiscales sobre la productividad en el periodo 1977-1999. Encuentran que se presenta un estancamiento de la productividad en este periodo producto de la sobrevivencia de plantas poco productivas, debido a políticas comerciales proteccionistas y políticas fiscales preferenciales, así mismo encuentra que los mayores niveles de productividad están asociados a una mayor exposición a la competencia extranjera de los sectores.

En este documento se analizan los determinantes del crecimiento de la PTF. Sin embargo dado que se quiere desagregar éste en cambio en eficiencia y cambio tecnológico, para comprender mejor los canales por los que se afecta la PTF y que, como se explicará más adelante, no es correcto utilizar el índice de malmquist para medir el cambio tecnológico a nivel de planta como han hecho otros estudios que utilizan dicho índice, el análisis se realiza a nivel sectorial.

El segundo grupo de literatura consiste en estudios que aplican DEA e índices de Malmquist en economía, esta literatura se ha centrado en medir los cambios en la PTF y desagregarlos en cambios en eficiencia y cambio tecnológico, los distintos trabajos que han utilizado esta metodología destacan, como una de sus ventajas que no se tiene que asumir una forma funcional para la función de producción, y dado que no se hacen regresiones no se necesita hacer supuestos sobre la distribución del error, cómo si ocurre con la metodología semiparamétrica de frontera estocástica o el análisis paramétrico tradicional utilizando regresiones. Así mismo se destaca que no se tiene que asumir que el cambio tecnológico sea Hicks-neutral y naturalmente que no se tiene que suponer eficiencia técnica en la producción. Se señala también que la metodología es sensible a outliers.

Gran parte de los documentos que aplican índices de Malmquist en economía, han aplicado la metodología a bases de datos de países con el objetivo de analizar convergencia. En esta línea se encuentran Maudos, Pastor y Serrano (2000) y Kumar y Russell (2002) quienes utilizan una muestra de 57 países para el periodo 1965-1990 y descomponen los cambios en la productividad del trabajo en cambio tecnológico, cambio en eficiencia y cambio en el nivel de capital por trabajador. El objetivo es determinar si cada uno de estos componentes ha contribuido o no a la convergencia en productividad del trabajo. Los autores encuentran que gran parte del crecimiento en la productividad del trabajo se debe a la profundización del capital. Así mismo ambos estudios encuentran que el cambio en eficiencia no ha afectado positiva o negativamente el proceso de convergencia y que la profundización del capital ha sido mayor en países más pobres, contrario al cambio tecnológico, que ha sido mayor en los países más ricos, luego el cambio tecnológico habría contribuido a la divergencia.

En una línea de trabajo similar Krüger (2003) utiliza una muestra de 87 países en el periodo 1960-1990 y aplica el índice de Malmquist con el objetivo de descomponer el crecimiento de la PTF en cambio tecnológico y cambio en eficiencia y con ello analizar cómo las tasas de crecimiento de los mismos han cambiado a lo largo del periodo de análisis. El autor concluye que sólo ha habido cambio tecnológico positivo en los países de la OECD.

En los tres trabajos citados previamente se atribuye a un país dado cierto cambio tecnológico, utilizando la estimación que resulta de la aplicación del índice de malmquist. Sin embargo, tal cómo este componente se define bajo dicha metodología, hace referencia al desplazamiento de la frontera de producción en la combinación específica de insumos de la observación bajo estudio. En consecuencia sólo se puede afirmar, que en la combinación de insumos en la que opera dicho país se ha desplazado la frontera de producción, pero tal desplazamiento puede haber sido generado por otro país. Este aspecto metodológico, que debilita los resultados hallados por los autores se explicará con mayor detalle en la sección de estrategia empírica. Adicionalmente, la aplicación de DEA requiere del supuesto de homogeneidad de las entidades analizadas, la aplicación de esta metodología en un grupo ampliamente diverso de países es cuestionable, considerando los diferentes niveles de capital humano, condiciones climáticas y geográficas y dotación de recursos naturales que no son controladas en la estimación.

La metodología de DEA e índices de Malmquist fue utilizada con mayor rigor por Chakravorty, Lekprichakul y Umetsu (2003) para medir la eficiencia y el cambio técnico del sector arrocerero en filipinas, estos autores, dividen geográficamente su país en trece unidades, lo cual es un avance frente a otros estudios ya que se está analizando una actividad en particular - la producción de arroz- y todas las unidades de decisión (DMU) se encuentran al interior de un mismo país, por lo que se cumple en mayor medida con el supuesto de homogeneidad de las mismas. Tras la medición del cambio en la PTF y su desagregación en cambio en eficiencia y cambio tecnológico, se analiza cuales han sido los determinantes de cada uno de estos componentes, utilizando variables relacionadas con el sector agrícola. Pese a que los autores fueron más estrictos al utilizar la metodología, se sigue presentando el mismo problema que en los demás estudios respecto a la medición del cambio tecnológico a nivel de DMU.

III. Descripción de los datos

Se utilizaron los datos de la Encuesta Anual Manufacturera (EAM) para el periodo 1997-2010. La EAM es un panel de datos desbalanceado. Basado en una encuesta tipo censo para todas las plantas con 10 o más empleados o ventas por encima de 131.6² millones de pesos para el año 2010 que desarrollen actividades clasificadas como industriales de acuerdo a la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU). La EAM incluye información a nivel de establecimiento industrial respecto al valor de la producción, cantidades producidas y precios de los productos así como de las cantidades y precios de las materias primas usadas en el proceso productivo; consumo de energía en unidades físicas y precios; cantidad de personal de producción y de personal administrativo y de ventas, así como las respectivas nóminas; Incluye también el valor en libros de maquinaria, equipo y estructuras. La base de datos contiene los códigos CIIU a cuatro dígitos, su nivel más desagregado (clase industrial) con los cuales se han definido los sectores para el presente estudio.

La base de datos de la Encuesta de Desarrollo empresarial e Innovación Tecnológica (EDIT)- Industria Manufacturera fue utilizada para el periodo 2003-2010. Es un panel desbalanceado de

² Este valor se ajusta cada año de acuerdo al índice de precios al productor

datos a nivel de empresa, y debe tenerse en cuenta que una empresa puede tener varias plantas. La EDIT es en una encuesta tipo censo, que se realiza cada dos años para todas las empresas contenidas en el directorio industrial del periodo de referencia de acuerdo a las condiciones de inclusión de la EAM, anteriormente descritas. Sin embargo las bases de datos del capítulo 2 de la encuesta, referente a los montos invertidos en actividades de desarrollo e Innovación tecnológica, sólo contienen las plantas innovadoras y potencialmente innovadoras para el periodo 2005-2010. Es decir, el capítulo 2 comprende las plantas que presentan resultados de innovación y todas aquellas plantas que no han obtenido ninguna innovación en el período de referencia pero que reportan tener en proceso o haber abandonado algún proyecto de innovación. La encuesta recopila información sobre actividades de desarrollo e innovación tecnológica y los montos invertidos en las mismas, objetivos, estado y resultados de los procesos de innovación, fuentes y valor de financiación. Contiene también información sobre personal discriminado por nivel educativo y áreas funcionales que participaron en proyectos de investigación tecnológica, capacitaciones y formación especializada.

La estimación de la eficiencia a nivel de planta y del cambio en PTF requiere las variables de producción, capital, trabajo, energía y materias primas. Estas variables se construyen a partir de la información de la EAM, como se describe a continuación.

Medición del insumo capital

La construcción de las series de capital se realizó con el método de inventarios permanentes. El stock de capital agregado se calculó como la suma de los stocks de capital de maquinaria y equipo y edificios y estructuras. Nótese que se excluyen del stock de capital elementos que no están directamente asociados con el proceso de producción.

$$K_{ijlt} = K_{ijlt-1} * (1 - \delta_l) + \frac{I_{ijlt}}{D_l(t, t_0)} \quad \forall \text{ firma } i, \forall \text{ sector } j, \forall \text{ activo } l, \forall t > 1995 \quad (1)$$

Donde δ_{jl} es la tasa de depreciación del activo tipo l, 5% para edificios y estructuras y 10% para maquinaria y equipo. Estas tasas han sido utilizadas ya que el estatuto tributario colombiano establece que las vidas útiles de estos tipos de activos son de 20 y 10 años, asumiendo que no hay valor de salvamento y un método de depreciación por línea recta estas vidas útiles corresponden a

tasas de depreciación del 5% y 10% respectivamente. Existen estudios más elaborados como el de Pombo (1999) en el que se estiman las tasas económicas de depreciación por sector industrial según CIIU revisión 2 a 3 dígitos y por tipo de activo, y se muestra que las tasas son diferentes entre sectores.

$D(t, t_0)$ es un deflactor para la inversión de capital fijo. Este factor se obtiene de la serie de índice de precios al productor con destino a formación bruta de capital. $I_{i l t}$ es una medida de la inversión nominal en el año t, incluye las compras, ingresos por traslados y producción para uso propio.

Para inicializar la serie de capital, $K_{i j l t}$, se tomó para t=1997 el valor reportado por las plantas encuestadas en dicho año y para plantas que entraron en la muestra para $t > 1997$, el capital inicial se calculó como el capital inicialmente reportado en el año de ingreso deflactado a precios del año base.

Dado el objetivo de medir el cambio tecnológico se requiere tener especial cuidado con los cambios en la utilización de los factores. De no ser así estos se verán reflejados en los cambios de la PTF, lo que concuerda con los hallazgos de Bartelsman y Doms (2000), quienes encuentran que el cambio en la utilización de los factores es la principal fuente de prociclicidad en la PTF.

Se calcula el stock de capital como la suma de los stocks de los distintos activos corregida por la utilización de la capacidad instalada, La serie de utilización de la capacidad instalada fue obtenida de la encuesta de opinión empresarial de Fedesarrollo y se trabajó con una desagregación de CIIU revisión 3 a 2 dígitos. Luego:

$$K_{i t} = \% \text{ Utilización capacidad instalada }_{j t} * \sum_l K_{i j l t} \quad (2)$$

En la muestra hay una cantidad considerable de plantas que no tienen capital propio de edificios y estructuras, sino que pagan arriendo. En la medida en que la eliminación de estas plantas reduciría significativamente la muestra y que no se puede comparar el stock de las plantas dueñas del capital con el flujo de pago de arriendo de las plantas que lo rentan, se optó por imputar el stock de capital para las plantas que pagan arriendo, esta imputación se realizó haciendo una

aproximación a la metodología de medición de los servicios de capital de la OECD, según la cual el servicio del capital (arriendo) se estima como el stock de capital multiplicado por una tasa. La cual se compone de una tasa de depreciación y una tasa de rendimiento real del capital. Como tasa de depreciación se usó el 5%, en línea con la vida útil contable que establece el estatuto tributario colombiano para edificios y estructuras, y la tasa de rendimiento se estimó como el promedio de la tasa de interés real para el periodo de estudio, calculada con base en la DTF 90 días.

Se utilizó también una metodología empírica que consistió en estimar la razón entre el pago de arriendo y el stock de capital de edificios y estructuras de plantas, con niveles semejantes de producción. Finalmente se tomó un promedio entre las tasas resultantes de cada metodología y se utilizó este para imputar el stock de capital, partiendo del pago de arriendo de las plantas.

Medición de trabajo, energía, insumos y producto

Dado que el propósito de este trabajo es medir el cambio tecnológico asociado al proceso productivo, se utilizó sólo el personal vinculado a actividades de producción. El insumo energía se obtuvo directamente de la EAM, como el consumo anual de energía eléctrica, reportado en Kwh. Para medir el consumo de materias primas y la producción se construyeron índices de precios a nivel sectorial tanto para la producción como para el consumo de materias primas siguiendo la metodología de Eslava et al. (2004), pero aplicándola a nivel sectorial y no de planta.

Medición de la inversión en investigación y desarrollo

La inversión en investigación y desarrollo a nivel de empresa se tomó del capítulo 2 de la EDIT. Sin embargo teniendo en cuenta que se está trabajando a nivel de planta, para aquellas empresas que tienen más de una planta la inversión por planta se calculó como la razón entre la inversión total y el número de plantas. Adicionalmente, teniendo en cuenta que a partir del año 2005, el capítulo 2 sólo contiene a las plantas innovadoras y potencialmente innovadoras, se imputó un valor de cero para la inversión en I+D en aquellas plantas para las cuales no se tenían datos en dicho capítulo para el periodo 2005-2010. Se construyó una variable de inversión relativa,

definida como la razón entre la inversión a nivel de planta y la producción de la misma para el periodo 2003-2010, en consecuencia la inclusión de esta variable en algunos de los modelos de regresión estimados en la sección de resultados restringirá la muestra de estimación a casi la mitad del periodo de análisis.

IV. Estrategia Empírica

En este documento se utiliza el índice de malmquist para medir la tasa de crecimiento de la PTF y desagregarla en cambio en eficiencia y cambio tecnológico, la utilización de este índice requiere del uso de funciones distancia que serán explicadas más adelante en esta sección. Estas pueden definirse a partir de un modelo paramétrico como lo es la metodología de frontera estocástica o de un modelo no paramétrico como es el análisis envolvente de datos (DEA).

Bajo la metodología de índice de malmquist el significado de las variaciones en la PTF se modifica ya que estas reflejan los rendimientos crecientes a escala, el cambio tecnológico, los cambios en eficiencia y todo tipo de reducciones reales de costo en el sentido de Harberger (1998). Este autor utiliza este rótulo para denominar todo tipo de reestructuraciones al interior de una planta que la lleven a reducir su consumo de insumos sin reducir su nivel de producción o incluso lo aumenten.

En DEA se ve a la planta como una caja negra que recibe m tipos de insumos y de la cual salen n productos distintos. En este sentido una planta constituye en sí la operación conjunta de distintas funciones de producción. En el enfoque de índice de Malmquist a diferencia del enfoque paramétrico no se estima una función de producción agregada del tipo propuesto por Solow (1957). En su trabajo este autor iguala el cambio en la PTF con el desplazamiento de la función de producción, a lo cual denominó cambio tecnológico, sin embargo bajo esta definición está implícito el supuesto de eficiencia técnica. En este documento se elimina este supuesto, de forma tal que el cambio en PTF ya no es equiparable al cambio tecnológico. Adicionalmente, dado que se trabaja con un modelo DEA con rendimientos variables a escala el cambio tecnológico ya no es equiparable al desplazamiento simétrico de la función de producción del que habla Solow.

En DEA existen distintas formulaciones, hay planteamientos orientados a insumos o a productos, ambos explicados en Cooper et al. (2007). La medición de la eficiencia no se ve afectada por la orientación de la formulación si el análisis es estático pero en análisis dinámicos, como los requeridos para calcular el índice de Malmquist, en los que se utiliza el vector de insumos y productos en el tiempo t pero se evalúa respecto a la frontera de producción en el tiempo s , con $t \neq s$, la elección entre la orientación a insumos o productos determinará los problemas de infactibilidad que se tengan al resolver el programa lineal respectivo y la forma de solucionarlo.

Además de la orientación de DEA, se debe seleccionar el tipo de retornos, con la metodología se pueden imponer, entre otros retornos constantes o variables a escala. La elección del tipo de retorno determinará la forma de la frontera de producción, pero siempre será un conjunto convexo. El tipo de retornos afectará también las medidas de eficiencia, en particular si se aplica un modelo DEA con retornos constantes a escala, la frontera de producción estará determinada por una única planta, y la eficiencia de todas las demás plantas será medida respecto a ésta.

En este documento se ha seleccionado un modelo DEA orientado a productos debido a que el problema de infactibilidad, que surge al utilizar un modelo con retornos variables a escala es menos frecuente con esta formulación para el conjunto de datos en particular con el que se trabaja en este estudio. Respecto a los retornos, se debe tener en cuenta que el índice de malmquist sólo es equiparable al cambio en la PTF si se utilizan retornos constantes a escala. Sin embargo se utilizan retornos variables a escala para medir el cambio en eficiencia y el cambio tecnológico y se ajustan estos términos por un tercer componente, el cambio en eficiencia de escala, con el cual se logra que el índice de malmquist siga siendo equiparable al cambio en la PTF.

Con DEA se mide la eficiencia de una unidad de decisión o DMU en particular respecto a un grupo de plantas similares que utilicen los mismos insumos y generen los mismos productos, por lo tanto la homogeneidad de las DMUs es un supuesto fundamental. En búsqueda de esta homogeneidad se han definido sectores de acuerdo con la clasificación CIIU revisión 3 Ac a cuatro dígitos y se han definido las plantas clasificadas en cada uno de estos sectores como las DMUs. Aún así las plantas de un sector dado no producen el conjunto completo de productos asociados al mismo, por lo que fue necesario agregar la producción en términos monetarios a

nivel de planta. Lo mismo ocurre con el consumo de materias primas. De forma tal que la medida de eficiencia incluye los precios relativos de los productos que fabrican las plantas y de las materias primas que utilizan para su producción, y en esta medida la eficiencia que se mide no será sólo técnica sino que hasta cierto punto se está midiendo también eficiencia asignativa.

El que se esté midiendo parcialmente eficiencia asignativa implica que al interior de un sector dado, una planta que se concentre en la fabricación de productos con precios relativos mayores a los demás que se producen en el sector tendrá una medida de eficiencia mayor que otra que use el mismo vector de insumos pero que fabrique productos de menor precio. Esto ocurre aún si las dos plantas son técnicamente igual de eficientes. La eficiencia técnica se define estrictamente respecto a la fabricación de un vector dado de cantidades de productos utilizando un vector dado de cantidades de insumos.

Formulación de un modelo DEA:

El análisis envolvente de datos utiliza los siguientes parámetros:

Tabla 1: Parámetros de un modelo DEA

Parámetros	Descripción
$X_o = [K_o, L_o, E_o, M_o]$	Vector de Capital, trabajo, energía y materias primas consumidas por la planta bajo evaluación en un año dado ³
y_o	Producción de la planta bajo evaluación
$X_i, i = 1 \dots n$	Vector de insumos (Capital, trabajo, energía, materias primas) para todas las plantas en el sector
$y_i, i = 1 \dots n$	Producción de las plantas en el sector

Fuente: Elaboración propia

Bajo un modelo con retornos constantes a escala, la eficiencia θ_o de la planta $i = o$ se obtiene resolviendo el siguiente problema de optimización lineal que corresponde al problema dual de un modelo DEA orientado a productos.

El siguiente programa lineal tiene dos conjuntos: las plantas que están indexadas con el subíndice i y los insumos que están indexados con el subíndice k . Este programa soluciona un problema de optimización estático, es decir todas las variables y parámetros de entrada corresponden a un

³ valores monetarios medidos en pesos constantes de un año base.

único momento en el tiempo. En la siguiente formulación θ_o y λ_i para $i = 1..n$ corresponden a las variables de decisión.

Max θ_o
sujeto a:

$$\theta_o y_o \leq \sum_{i=1}^n \lambda_i y_i \quad [3]$$

$$X_{k o} \geq \sum_{i=1}^n \lambda_i x_{k i} \quad \forall k \in \text{Insumos} \quad [4]$$

$$\lambda_i \geq 0 \quad \forall i \in \text{Plantas} \quad [5]$$

En la formulación anterior cada planta es comparada con una frontera de producción conformada por las combinaciones insumo – producto de las plantas más eficientes de su sector. La maximización incremental θ_o siempre que no se viole la restricción [4], y de esta forma muestra que porcentaje puede incrementarse la producción de la planta $i = o$ (manteniendo fija su combinación de insumos) para alcanzar un punto en la frontera de producción que se construye a partir de la combinación lineal -ponderando por λ - de los vectores insumo-producto de todas las plantas en el periodo t. Sólo a aquellas plantas que son las más similares a $i = o$ tendrán un valor de λ estrictamente positivo. Bajo esta formulación $\theta_o \geq 1$. Una planta estará ubicada en la frontera de producción de su respectivo sector en el periodo t si $\theta_o = 1$.

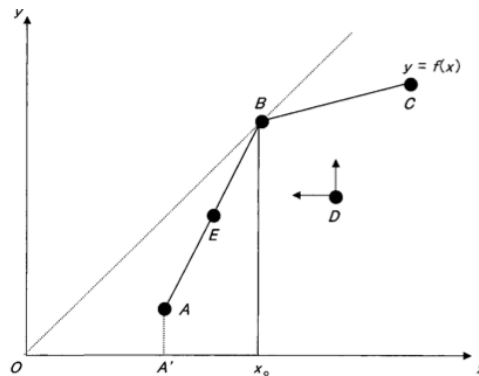
La formulación con retornos variables a escala (VRS) es idéntica a la formulación con retornos constantes a escala (CRS) presentada en [3]-[5] pero incluyendo una restricción adicional:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad [6]$$

θ_o medido bajo una orientación a productos y retornos variables a escala será siempre menor o igual respecto a la medición hecha con orientación a productos y CRS. Gráficamente se puede

apreciar la frontera de producción bajo CRS generada por OB y la generada bajo VRS generada por A'AEBC :

Figura 1 Frontera de producción bajo CRS y VRS



Fuente: Cooper et al.(2007)

En la metodología DEA, la eficiencia de una planta hace referencia a la distancia entre el nivel de producción de una planta y el nivel máximo que podría obtener de acuerdo con la tecnología disponible, esta definición contrasta con el significado usual de la palabra eficiencia en la literatura de PTF, dónde este término es análogo al nivel de productividad total factorial de una planta.

Índice de Malmquist.

Cómo se ha mencionado previamente el índice de malmquist mide el cambio en la PTF entre los periodos t y t+1 a nivel de planta. En su versión más básica el índice se define para la planta $i = o$ como:

$$IM_{o,t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1}, x_o^t, y_o^t) = \sqrt{\frac{D_{crs}^t(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})}{D_{crs}^t(x_o^t, y_o^t)} \frac{D_{crs}^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})}{D_{crs}^{t+1}(x_o^t, y_o^t)}} \quad [7]$$

Donde x_o^q y y_o^q representan el vector de insumos y productos de la planta $i = o$ en el periodo q. $D_{crs}^q(x_o^q, y_o^q)$ es la función distancia producto definida así:

$$D^q(x_o^q, y_o^q) = (\text{Sup}\{\phi_o: (x_o^q, \phi_o y_o^q) \in S^q\})^{-1} = \theta_o^{-1} \quad [8]$$

En la ecuación anterior S^q describe la tecnología disponible en el periodo q. Es decir, corresponde a la combinación lineal de los vectores de insumo y producto de las plantas más

eficientes en el periodo q . Puede verse en la ecuación anterior que $D_{crs}^q(x_o^q, y_o^q)$ corresponde al inverso de θ_o , el cuál está definido como se planteo en el programa de DEA en las ecuaciones [3]-[5]. $D_{crs}^q(x_o^q, y_o^q)$ mide que tan alejada esta la producción, y_o^q , del periodo q de la planta $i = o$ con respecto a la máxima que podría obtener con la tecnología disponible en el periodo q , S^q , cuando usa el vector de insumos, x_o^q . El subíndice crs indica que se utiliza un modelo DEA con retornos constantes a escala. Nótese que $0 < D^q(x_o^q, y_o^q) = \theta_o^{-1} \leq 1$.

Sólo bajo retornos constantes a escala se cumple que el índice sea equiparable a la variación porcentual bruta en la PTF, como se demuestra, para un ejemplo sencillo con un solo insumo y un solo producto en la sección 1 de Anexos. Es decir:

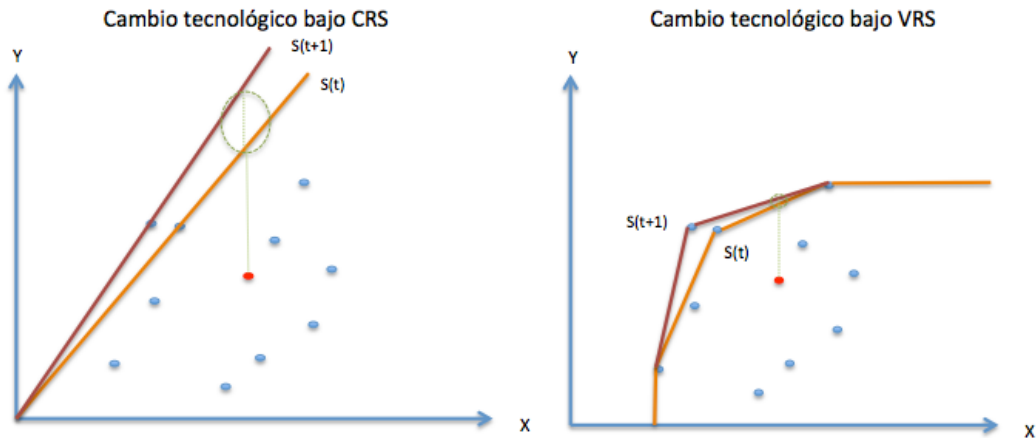
$$IM_{o,t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1}, x_o^t, y_o^t) = \frac{PTF_o^{t+1}}{PTF_o^t} \quad [9]$$

El índice de malmquist puede manipularse algebraicamente para separarlo en dos componentes: cambio en eficiencia y cambio tecnológico como se muestra a continuación. Para cada planta $i = o$ se puede calcular el índice de Malmquist (IM_o) de acuerdo con Färe, Grosskopf, Norris y Zhang (1994) como:

$$IM_{o,t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1}, x_o^t, y_o^t) = \frac{D_{crs}^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})}{D_{crs}^t(x_o^t, y_o^t)} * \sqrt{\frac{D_{crs}^t(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})}{D_{crs}^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})} \frac{D_{crs}^t(x_o^t, y_o^t)}{D_{crs}^{t+1}(x_o^t, y_o^t)}} \quad [10]$$

En la ecuación anterior el primer término de la derecha corresponde al cambio en eficiencia y el segundo al cambio tecnológico. Dado que todas las funciones distancia se calculan con un modelo DEA con retornos constantes a escala, el cambio en eficiencia y el cambio tecnológico resultan también medidos con retornos constantes a escala. Sin embargo asumir retornos constantes a escala para medir el cambio tecnológico es un supuesto fuerte. Bajo CRS el desplazamiento de la frontera de producción en un único punto desplazará completamente la frontera de producción para todas las demás combinaciones de insumos, algo que no ocurre con retornos variables como se puede observar:

Figura 2: Medición del Cambio tecnológico bajo CRS y VRS



Fuente: Elaboración propia

La gráfica anterior es igualmente útil para entender que la medición del cambio tecnológico, tal como está definida en el índice de malmquist, no puede atribuirse directamente a la planta. El cambio tecnológico que se mide para la planta $i = o$, sólo indica que la frontera de producción se ha desplazado en el punto en que dicha planta opera. Es decir, la planta se utiliza sólo como un punto de referencia para indicar una combinación específica de insumos y por lo tanto no se le puede atribuir dicho cambio tecnológico a la planta. Así las cosas, con el índice de malmquist sólo se puede medir el cambio tecnológico a nivel de sector.

Este análisis en la medición del cambio tecnológico es una diferencia relevante con respecto a los demás estudios, presentados en la revisión de literatura, que han utilizado DEA e índices de malmquist para medir el cambio tecnológico y lo han atribuido directamente a las DMUs.

La ecuación [10] es una manipulación algebraica de [7] para separar el cambio en PTF en dos componentes. Manipulaciones adicionales se pueden hacer para lograr medir estos componentes bajo retornos variables a escala y simultáneamente lograr que el índice siga siendo equiparable al cambio en la PTF. Esta modificación consiste en incorporar un tercer componente: el cambio en eficiencia de escala.

Cambio en eficiencia de escala a nivel de planta.

Se define $D_{crs}^{t+1}(x_o^t, y_o^t)$ y $D_{vrs}^{t+1}(x_o^t, y_o^t)$ como los puntajes de eficiencia obtenidos bajo retornos constantes y variables a escala respectivamente de un modelo DEA.

Se define la eficiencia de escala de la planta $i = o$ relativa a la tecnología $(S)^q$ como:

$$\sigma^q(x_o^s, y_o^s) = \frac{D_{crs}^q(x_o^s, y_o^s)}{D_{vrs}^q(x_o^s, y_o^s)} \quad [11]$$

El índice de Malmquist puede describirse, siguiendo a Ray & Desli (1997) como:

$$IM_{o,t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1}, x_o^t, y_o^t) \quad [12]$$

$$= \frac{D_{vrs}^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})}{D_{vrs}^t(x_o^t, y_o^t)} * \sqrt{\frac{D_{vrs}^t(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})}{D_{vrs}^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})} \frac{D_{vrs}^t(x_o^t, y_o^t)}{D_{vrs}^{t+1}(x_o^t, y_o^t)}}} * \sqrt{\frac{\sigma^t(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})}{\sigma^t(x_o^t, y_o^t)} \frac{\sigma^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})}{\sigma^{t+1}(x_o^t, y_o^t)}}$$

Se define el cambio en eficiencia de escala como:

$$\Delta Escala_{o, t+1} = \sqrt{\frac{\sigma^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{\sigma^t(x^t, y^t)} \frac{\sigma^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{\sigma^{t+1}(x^t, y^t)}} \quad [13]$$

Cambio en eficiencia a nivel de planta:

$$\Delta Eff_{o, t+1} = \frac{D_{vrs}^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})}{D_{vrs}^t(x_o^t, y_o^t)} \quad [14]$$

A este componente se le conoce en la literatura como ‘*Catch-Up*’ y evidencia el cambio en los procesos que la planta realiza y que la hacen más o menos cercana a la frontera.

Cambio Tecnológico a nivel de planta:

$$\Delta Tech_{o,t+1} = \sqrt{\frac{D_{vrs}^t(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})}{D_{vrs}^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})} \frac{D_{vrs}^t(x_o^t, y_o^t)}{D_{vrs}^{t+1}(x_o^t, y_o^t)}} \quad [15]$$

Este termino se conoce como ‘*Frontier-Shift*’ y mide la mejora tecnológica asociada a la combinación de insumos con que opera la planta, es decir es un cambio tecnológico localizado en el sentido de Atkinson y Stiglitz (1969). Estos autores se oponen a ver el cambio tecnológico como un desplazamiento en la función de producción, ya que cada combinación de insumos representa una técnica de producción diferente y consideran que el efecto del cambio tecnológico es mejorar una técnica de producción, lo que no implica que se mejoren todas las técnicas de

producción asociadas a diferentes combinaciones de insumos.

La expresión [12] permite medir el cambio en la PTF y simultáneamente medir el cambio en eficiencia y cambio tecnológico sin tener que asumir retornos constantes a escala para estos dos componentes. Sin embargo la incorporación de retornos variables a escala, trae consigo el problema de infactibilidad, al que no se está sometido con la expresión [10]. En la sección 2 de anexos se describe porque surge el problema de infactibilidad y como solucionarlo.

Finalmente, cabe mencionar nuevamente que una desventaja de esta metodología es que es muy sensible a outliers, por lo que se debe tener especial cuidado al estudiar y construir los datos que son utilizados en el programa DEA. En este documento se ha restringido la muestra de DEA a las plantas que tengan producción, capital, trabajo y energía entre los percentiles 1 y 99 de la distribución de cada uno de estas variables dentro de su respectivo sector. Se debe tener cuidado de no ser muy estricto con este criterio para eliminar posibles outliers ya que bajo criterios muy estrictos se puede llegar a obtener una tasa de cambio tecnológico cercana a cero para el agregado de la industria nacional. Esto sugiere que las plantas que generan cambio tecnológico están bastante alejadas de la planta típica de sus respectivos sectores.

Mediciones a nivel de sector o actividad industrial a CIIU 4 dígitos

Cambio tecnológico

Con base en el índice de Malmquist para cada planta i en el periodo t se calcula el cambio tecnológico para cada sector j en dicho periodo como el promedio aritmético simple del cambio tecnológico para el grupo de plantas que pertenecen a dicho sector, descrito por H_{jt} . Se define \mathcal{F} como el conjunto de 57 sectores a CIIU 4 dígitos Analizados, luego:

$$\delta Tcch_{jt} = \left(\frac{1}{n} \sum_{i \in H_{jt}} \Delta Tech_{i,t} \right) - 1 \quad \forall j \in \mathcal{F}, \forall t \geq 1998 \quad [16]$$

Cambio en eficiencia

Se calculan cuatro medidas para el cambio en la eficiencia a nivel sectorial. En primer lugar, el cambio en eficiencia ponderado por la participación de mercado, incluyendo todas las plantas que

pertenecen al sector. A diferencia del cambio tecnológico, el cambio en eficiencia si es atribuible a la planta, por lo que se puede utilizar la participación de mercado para hacer ponderaciones.

$${}_w \delta Eff_{jt} = \left(\sum_{i \in H_{jt}} \Delta Eff_{it} \cdot w_{it-1} \right) - 1, \text{ donde } w_{it-1} = \frac{\text{producción}_{it-1}}{\sum_{i \in H_{jt-1}} \text{Producción}_{it-1}} \quad \forall j \in \mathcal{F}, \quad \forall t \geq 1998 \quad [17]$$

Se calcula también el cambio en eficiencia sin ponderar por la participación de mercado:

$${}_{nw} \delta Eff_{jt} = \left(\frac{1}{n} \sum_{i \in H_{jt}} \Delta Eff_{it} \right) - 1 \quad \forall j \in \mathcal{F}, \quad \forall t \geq 1998 \quad [18]$$

Para las plantas que se encuentren en la frontera en dos periodos consecutivos el cambio neto en eficiencia será de cero, y en esta medida ${}_w \delta Eff_{jt}$ y ${}_{nw} \delta Eff_{jt}$ no son un buen indicador de cómo han evolucionado el grueso de plantas ineficientes del sector respecto a la frontera. Por ello se calculan dos medida del cambio en eficiencia incluyendo sólo las plantas que no se encuentran en la frontera en el periodo t. Se define G_{jt} como el conjunto de plantas que pertenecen al sector j en el periodo t y que no se encuentran en la frontera de producción del mismo. Una primera medida se calcula ponderando por la participación de mercado:

$${}_{w}^{nf} \delta Eff_{jt} = \left(\sum_{i \in G_{jt}} \Delta Eff_{it} \cdot w_{it-1} \right) - 1, \quad \text{donde } w_{it-1} = \frac{\text{Producción}_{it-1}}{\sum_{i \in G_{jt-1}} \text{Producción}_{it-1}} \quad \forall j \in \mathcal{F}, \quad \forall t \geq 1998 \quad [19]$$

Una segunda medida se calcula, sin ponderar por la participación de mercado:

$${}_{nw}^{nf} \delta Eff_{jt} = \left(\frac{1}{n} \sum_{i \in G_{jt}} \Delta Eff_{it} \right) - 1 \quad \forall j \in \mathcal{F}, \quad \forall t \geq 1998 \quad [20]$$

Cambio en productividad total factorial

Para el cambio en la PTF se calculan dos medidas, una ponderando por participación de mercado y otra haciendo un promedio aritmético simple.

$${}_w \delta PTF_{jt} = \left(\sum_{i \in H_{jt-1}} IM_{i,t}(x_o^t, y_o^t, x_o^{t-1}, y_o^{t-1}) \cdot w_{it-1} \right) - 1,$$

$$\text{Donde } w_{it-1} = \frac{\text{producción}_{it-1}}{\sum_{i \in H_{jt-1}} \text{Producción}_{i,t-1}} \quad \forall j \in \mathcal{F}, \quad \forall t \geq 1998 \quad [21]$$

$${}_{nw}\delta PTF_{jt} = \left(\frac{1}{n} \sum_{i \in H_{jt}} IM_{i,t}(x_o^t, y_o^t, x_o^{t-1}, y_o^{t-1}) \right) - 1 \quad \forall j \in \mathcal{F}, \quad \forall t \geq 1998 \quad [22]$$

Índices de PTF, eficiencia y frontera de producción a nivel sectorial

Se construyen índices de variaciones para observar gráficamente la evolución de la productividad total factorial, la frontera de producción y la eficiencia para cada uno de los sectores analizados.

Índice para la Productividad total factorial (PTF)

$$PTF_j^{index} = 1 \quad \forall j \in \mathcal{F}, t = 1997$$

$$PTF_{jt}^{index} = PTF_{jt-1}^{index} \cdot (1 + {}_w\delta PTF_{jt}) \quad \forall j \in \mathcal{F}, \quad t \geq 1998 \quad [23]$$

Índice para la frontera de producción

$$Tcch_j^{index} = 1 \quad \forall j \in \mathcal{F}, t = 1997$$

$$Tcch_{jt}^{index} = Tcch_{jt-1}^{index} \cdot (1 + \delta Tcch_{jt}) \quad \forall j \in \mathcal{F}, \quad t \geq 1998 \quad [24]$$

Índice para la eficiencia

$$Eff_{jt}^{index} = 1 \quad \forall j \in \mathcal{F}, t = 1997$$

$$Eff_{jt}^{index} = Eff_{jt-1}^{index} \cdot \left(1 + \frac{nf}{w} \delta Eff_{jt} \right) \quad \forall j \in \mathcal{F}, t \geq 1998 \quad [25]$$

Por último se generan también medidas para el cambio en PTF, cambio tecnológico y cambio en eficiencia para el agregado de la industria manufacturera (representado por los 57 sectores estudiados, que para el año 2010 representan el 34% de la producción industrial en el país). Para cada año se estima cada uno de estos componentes como el promedio ponderado por la participación en la producción industrial (respecto al total de los 57 sectores analizados) de cada sector. Con base en esta medición se elaboran también índices para la PTF, la frontera de producción y la eficiencia para el agregado de la industria colombiana.

V. Resultados

Dado que el análisis envolvente de datos permite separar en forma sistemática las plantas, que operan en la frontera de producción, de aquellas que operan debajo de ella, se presentan a continuación las características promedio de cada tipo de planta (eficiente y no eficiente en las dos últimas columnas) y adicionalmente se analiza por quintiles de eficiencia entre las plantas no eficientes (columnas 2-6).

La calificación de eficiencia corresponde al recíproco de la variable θ_o de un modelo DEA orientado a productos con retornos variables a escala, como fue definido en la sección de estrategia empírica en las ecuaciones [3]-[6]. Las plantas con $\theta_o = 100\%$ fueron clasificadas como eficientes.

Tabla 2: Comparación plantas Eficientes Vs no eficientes

	Q1-No eff	Q2-No eff	Q3-No eff	Q4-No eff	Q5-No eff	No eficientes	Eficientes
Eficiencia	37.58%	52.80%	64.09%	75.76%	90.23%	64.08%	100%
Eficiencia ponderada ⁴	39.30%	53.19%	64.34%	76.11%	90.75%	64.73%	100%
Participación de mercado ⁵	0.20%	0.39%	0.64%	0.98%	1.50%	0.74%	2.43%
Tasa de apertura exportadora (TAE) ⁶	4.85%	4.85%	5.31%	6.13%	7.19%	5.67%	6.68%
% Insumos importados	3.97%	5.64%	6.54%	7.52%	9.43%	6.62%	9.66%
Cantidad de empleados	29	34	40	47	55	41	57
(K/L) Capital por trabajador (Miles COP)	65,757	66,723	75,224	84,040	97,295	77,803	116,290
(Y/K) Productividad del capital	2.34	3.07	3.73	4.63	5.98	3.95	8.75
Edad de la planta ⁷	18.88	19.93	20.54	21.47	22.45	20.65	22.24
% Patrimonio extranjero	1.92%	2.41%	3.22%	4.42%	6.26%	3.64%	6.71%
Inversión I+D por planta (Miles COP)	94,123	128,438	196,296	328,219	405,801	236,594	643,721
Inversión I+D por planta/Producción	2.84%	2.95%	2.67%	2.69%	2.64%	2.75%	2.40%
Numero de plantas por firma ⁸	1.09	1.16	1.21	1.31	1.45	1.24	1.38
Numero de Ciius por firma	1.01	1.02	1.02	1.03	1.05	1.03	1.06

4 La eficiencia se ponderó por la participación de mercado de las plantas dentro del quintil respectivo, se consideró la participación de cada CIU en el quintil y luego la participación de cada planta dentro de su sector.

5 La participación de mercado se calculó para cada año como la razón entre la producción de la planta y la producción total del sector a CIU 4 dígitos.

6 La tasa de apertura exportadora se calculó como la razón entre las exportaciones de la planta y sus ventas.

7 Para cada año, la edad de la planta se calculó como la diferencia entre el año de referencia y el año de inicio de operaciones de la planta, independientemente de que hayan habido cambios de sector industrial.

8 A excepción de las variables Numero de plantas por firma y Numero de Ciius por firma todas las características se encuentran a nivel de planta. Una firma puede tener varias plantas y cada una de ellas puede ser de un sector industrial a CIU 4 dígitos diferente.

Fuente: Elaboración Propia

De la tabla anterior se pueden observar varios hechos, muchos de ellos esperados, como que las plantas más eficientes tienen mayor participación de mercado; Importan un mayor porcentaje de sus insumos; Son más grandes (si se utiliza el número de empleados como medida de tamaño); Poseen mayor productividad del capital, y tienen más capital por trabajador; El porcentaje de propiedad extranjera es mayor; En términos absolutos invierten más en I+D (Investigación y desarrollo) pero en términos relativos invierten menos que las plantas ineficientes. De hecho en términos relativos las plantas del segundo quintil son las que más invierten en I+D. Estos resultados son semejantes a los que encuentran Crespi y Iacovone (2010) al analizar la correlación entre la PTF de la planta (estimada con una metodología paramétrica) y sus características.

Se observa que en promedio las plantas eficientes tienen una mayor tasa de apertura exportadora que las ineficientes. Respecto a la edad de la planta, medida como el tiempo desde el año de inicio de operaciones, se observa que las plantas eficientes no son las más antiguas, pero en general se observa que las plantas más ineficientes son más jóvenes.

Un segundo resultado, es la medición del cambio en la productividad total factorial, cambio en eficiencia y cambio tecnológico en los distintos sectores estudiados. En la tabla a continuación se presenta para cada sector estudiado y para el agregado de la industria manufacturera el promedio geométrico para el periodo 1998-2010 de cada uno de los componentes del cambio en la PTF a nivel sectorial descritos en las ecuaciones [16]-[21], así como la variación promedio en la producción real.

Tabla 3: Variación anual promedio de la PTF y sus componentes y la producción real

CIU	$\overline{\delta Eff_j}$	$\overline{\delta Eff_j^{nw}}$	$\overline{\delta Eff_j^{nf}}$	$\overline{\delta Eff_j^{nw, nf}}$	$\overline{\delta PTF_j}$	$\overline{\delta PTF_j^{nw}}$	$\overline{\delta Tch_j}$	$\overline{\delta y^{real}_j}$
1511	0.78%	0.76%	0.67%	0.99%	5.15%	4.63%	5.42%	6.57%
1521	3.72%	1.89%	2.23%	5.05%	4.64%	2.74%	1.83%	-6.18%
1522	0.78%	0.82%	0.95%	1.34%	1.86%	1.28%	1.60%	1.91%
1530	0.90%	0.72%	0.83%	1.10%	1.74%	0.08%	1.08%	1.73%
1541	2.39%	2.55%	3.00%	2.86%	3.01%	2.12%	2.15%	5.96%
1543	0.29%	0.34%	0.48%	0.54%	2.13%	1.32%	2.87%	2.78%
1551	-1.56%	-1.82%	-1.91%	-1.78%	2.98%	2.52%	7.69%	3.15%
1561	0.26%	-0.15%	-0.54%	0.00%	4.03%	2.07%	4.88%	0.34%

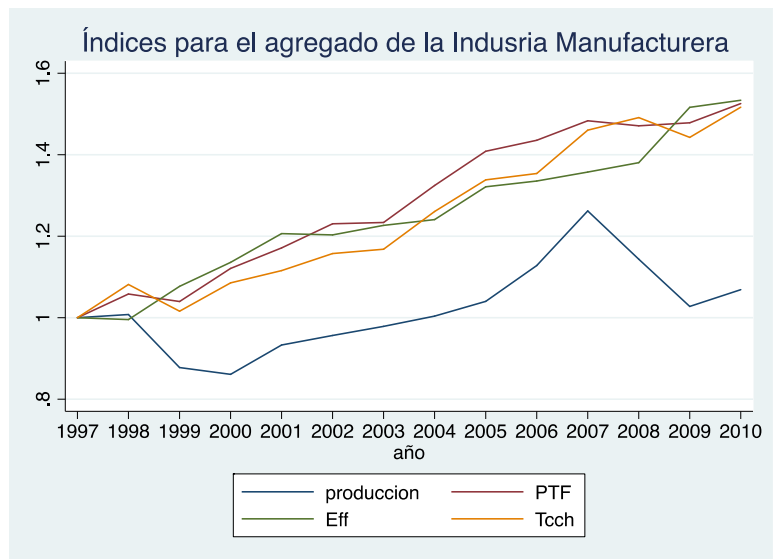
1563	0.59%	0.74%	0.93%	1.39%	-0.52%	-1.34%	0.02%	-0.28%
1581	0.94%	1.49%	2.27%	1.20%	0.62%	1.01%	1.74%	2.77%
1589	4.14%	3.44%	4.41%	6.15%	3.22%	1.81%	4.13%	-0.83%
1594	3.57%	3.97%	4.40%	5.14%	3.24%	0.95%	0.66%	4.26%
1720	0.61%	1.05%	1.59%	0.66%	5.10%	4.42%	6.06%	2.72%
1730	4.40%	2.49%	2.19%	3.51%	7.28%	7.48%	9.45%	0.38%
1741	0.36%	-0.74%	-0.99%	1.32%	4.08%	2.97%	6.48%	0.56%
1749	0.88%	1.06%	1.80%	1.33%	-1.67%	-1.88%	-2.12%	-1.25%
1750	1.03%	2.31%	2.52%	1.50%	0.18%	1.59%	1.30%	6.25%
1810	4.98%	4.27%	4.32%	5.20%	6.11%	4.00%	5.78%	3.45%
1910	2.30%	0.64%	0.98%	3.36%	4.87%	2.18%	2.63%	-2.15%
1921	1.23%	0.94%	1.01%	1.35%	1.01%	0.09%	1.11%	1.77%
1926	1.78%	1.71%	2.49%	1.59%	3.59%	3.66%	2.85%	-4.43%
1931	2.45%	3.25%	4.64%	3.25%	2.50%	0.67%	1.93%	1.55%
2010	3.86%	3.19%	4.35%	6.24%	1.86%	-2.17%	-2.59%	-2.18%
2101	0.45%	2.16%	4.00%	1.13%	8.59%	7.95%	5.28%	6.57%
2102	1.81%	2.47%	3.04%	2.67%	4.62%	2.27%	2.34%	3.82%
2109	2.07%	2.12%	2.80%	3.72%	1.94%	0.77%	0.23%	6.58%
2212	1.86%	2.25%	3.08%	2.70%	-1.13%	-1.74%	-0.78%	-9.58%
2220	2.36%	3.65%	3.55%	2.15%	3.44%	1.44%	4.64%	5.05%
2411	1.77%	2.61%	3.58%	3.19%	5.09%	2.42%	3.81%	4.46%
2422	0.21%	-0.25%	-0.24%	0.13%	2.66%	2.48%	6.20%	-1.64%
2423	5.00%	2.82%	2.99%	5.62%	6.66%	3.96%	4.40%	-2.10%
2424	3.96%	3.48%	4.04%	4.78%	3.83%	2.94%	2.48%	-1.98%
2429	2.02%	2.33%	2.81%	2.74%	1.83%	2.15%	2.42%	-2.84%
2519	-1.03%	-1.49%	-1.29%	-1.53%	0.41%	1.30%	5.41%	1.06%
2521	1.48%	1.35%	1.47%	2.17%	4.04%	3.30%	3.80%	4.31%
2529	3.04%	2.59%	2.73%	3.42%	2.89%	1.90%	2.41%	-1.02%
2610	1.51%	0.62%	1.07%	4.07%	5.02%	2.64%	2.56%	-0.93%
2693	1.19%	1.78%	2.29%	2.65%	6.05%	7.78%	7.59%	5.62%
2694	0.00%	-0.28%	-1.32%	-1.12%	3.17%	3.20%	5.75%	2.03%
2695	3.30%	4.20%	4.53%	4.34%	11.40%	8.19%	6.56%	7.02%
2696	0.72%	2.18%	3.85%	2.80%	6.21%	5.67%	8.51%	5.48%
2710	1.64%	1.00%	0.71%	2.79%	1.98%	-1.07%	0.40%	-12.02%
2811	3.38%	2.88%	3.47%	4.91%	6.04%	3.93%	3.46%	1.79%
2899	2.93%	1.93%	2.07%	3.88%	2.85%	1.40%	2.05%	-4.28%
2919	5.14%	4.56%	5.66%	8.30%	3.74%	3.36%	1.69%	-1.55%
2925	4.10%	1.89%	2.56%	5.21%	8.26%	1.32%	-0.74%	-3.85%
2929	3.82%	2.44%	3.07%	5.47%	11.88%	8.02%	9.36%	5.23%
3110	2.60%	2.08%	3.52%	0.83%	4.54%	-0.07%	1.60%	11.30%
3150	0.19%	0.96%	1.10%	0.40%	4.08%	3.59%	5.37%	1.48%

3190	4.95%	7.17%	7.15%	2.54%	7.43%	2.10%	4.18%	1.22%
3311	0.31%	0.53%	1.11%	1.35%	5.40%	4.34%	5.79%	4.28%
3420	2.67%	2.02%	2.56%	4.27%	4.82%	1.85%	3.45%	0.29%
3430	0.85%	0.93%	1.04%	1.39%	0.71%	0.28%	0.63%	1.14%
3611	4.74%	4.02%	4.74%	5.87%	3.23%	1.13%	0.92%	0.69%
3612	1.03%	0.94%	1.27%	1.23%	2.77%	2.48%	4.01%	7.65%
3613	3.44%	2.26%	3.66%	5.25%	4.92%	1.66%	2.05%	-0.63%
3699	2.10%	3.49%	3.85%	3.44%	0.43%	-0.14%	1.18%	0.47%
Promedio⁹	2.33%	2.21%	2.88%	3.35%	3.30%	1.93%	3.26%	0.51%

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla anterior se observa que para el agregado de la industria manufacturera, la productividad total factorial ha crecido a una tasa promedio anual del 3.3% mientras que la tasa de cambio tecnológico ha sido del 3.26% y la eficiencia, descrita por ${}^{nf}_w \delta Eff_j$, ha crecido a una tasa del 3.35%. Gráficamente se puede observar la evolución de la PTF, la eficiencia y la frontera de producción para la industria manufacturera colombiana:

Figura 3: Índices de producción, PTF, Eficiencia y frontera de producción para la industria manufacturera colombiana



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica anterior se observa el comportamiento agregado de los 57 sectores estudiados. En primer lugar se observa un comportamiento muy poco dinámico del crecimiento de la

⁹ Promedio aritmético ponderado por la participación de cada sector dentro de la producción total de sectores estudiados

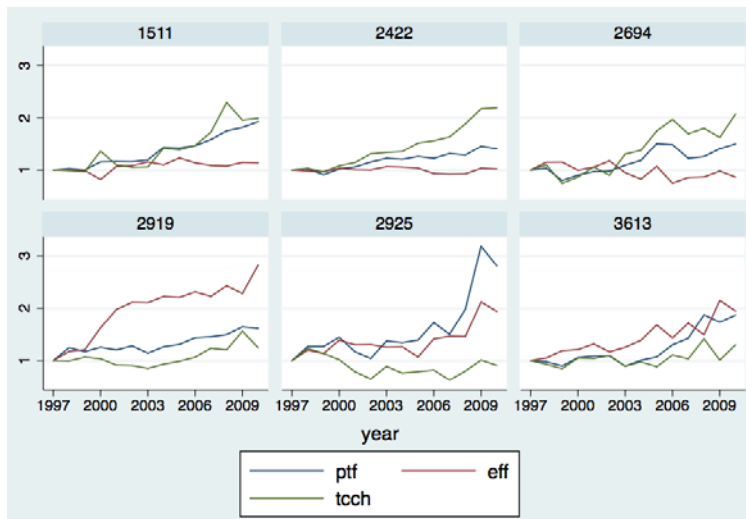
producción. Se observa también la caída en la producción real a partir de 2008, periodo que coincide con el inicio de la crisis financiera en los mercados desarrollados. La PTF cae sólo en el año 2008 y la tasa de cambio tecnológico sólo es negativa en 2009. Al interpretar esta tasa de cambio tecnológica negativa se debe tener en cuenta que la corrección por utilización de la capacidad instalada se hace con datos sectoriales a CIU 2 dígitos y es probable que las plantas que se encuentran en la frontera de producción y tienen una mayor tasa de apertura exportadora, tengan mayores reducciones en la utilización de su capacidad instalada que el promedio de las plantas de su sector.

A nivel individual, se observa que en todos los sectores en los que hay reducciones en la eficiencia, descrita por ${}^n_w \delta Eff_j$, se presenta una alta tasa de cambio tecnológico. Una situación como ésta puede deberse a que las plantas líderes de la industria que operan en la frontera de producción logran optimizar aún más sus procesos productivos, bien sea por la adquisición de nueva maquinaria o por el desarrollo de un producto innovador o alguna otra fuente de mejora de la productividad, pero las plantas ineficientes no logran tener acceso a esta nueva tecnología, en consecuencia la ineficiencia en el sector aumenta.

Existen distintas razones por las cuales las plantas ineficientes no lograrían tener acceso a esta nueva tecnología, una posible razón es que estén restringidas crediticiamente. Los resultados en la tabla 2 muestran una relación positiva entre la eficiencia y el tamaño de la planta, si se considera que, como sugieren Eslava, Galindo, Hofstetter e Izquierdo (2010), las plantas más pequeñas enfrentan mayores restricciones crediticias, entonces las plantas más ineficientes tendrían mayores dificultades para adquirir la financiación que requieren bien sea para invertir en I+D o para adquirir la mejor maquinaria disponible en el mercado. Otra posibilidad es que las plantas que operan en la frontera, efectivamente generen cambio tecnológico endógeno derivado de actividades de I+D y sean muy efectivas en evitar que las demás plantas logren tener acceso a sus innovaciones. Una tercera posibilidad es que las plantas que operan debajo de la frontera de producción no encuentren rentable adquirir esta nueva tecnología, como explican Homes, Levine y Schmitz (2008) , quienes plantean que los costos de adoptar nuevas tecnologías para las plantas podrían ser mayores a los beneficios, en particular si estas tienen poder de mercado.

A continuación se muestran los índices de PTF, eficiencia y frontera de producción, para distintas industrias del sector manufacturero, como fueron descritos en [23]-[25]. En la sección 5 de anexos se presentan las gráficas agregadas para subsectores a dos dígitos, en esta sección se presentan los resultados para algunos de los sectores bajo estudio, que demuestran la relevancia, desde el punto de vista práctico, de desagregar los cambios en la PTF a nivel sectorial.

Figura 4: Evolución de la PTF, eficiencia y frontera de producción a nivel sectorial



Fuente: Elaboración propia

De las gráficas anteriores se pueden observar hechos que deben destacarse. En los sectores 2694 (Fabricación de cemento, cal y yeso) y 2919 (Fabricación de otros tipos de maquinaria de uso general ncp) se observa claramente la principal ventaja de la desagregación de los cambios en la PTF. Estos sectores tuvieron crecimientos en la PTF del 3.17% anual y 3.74% anual según la tabla No 3, por lo que en principio parecen muy semejantes. Sin embargo el sector 2919 experimentó una leve expansión de su frontera de producción y un crecimiento significativo en la eficiencia; Mientras el sector 2694 tuvo una expansión significativa de la frontera de producción y reducciones en eficiencia, luego la evolución de los dos sectores que en principio parece semejante es en realidad muy diferente. El sector 2925 (Fabricación de maquinaria para la elaboración de alimentos, bebidas y tabaco) presenta el caso más extremo de todos: un aumento significativo en la PTF, acompañado de una contracción en la frontera de producción.

Los casos individuales previamente analizados muestran que considerar sólo el cambio en la PTF

para determinar cual ha sido el desempeño de un sector puede no ser suficiente para hacer un dictamen concienzudo del mismo, igualmente la evidente heterogeneidad en la evolución de los componentes del cambio en la PTF al interior de un mismo sector sugiere que la reacción de cada uno de estos a una medida de política puede ser muy distinta. Por ello se llevará a cabo un análisis de regresión, con el objetivo de explorar los determinantes del cambio en la PTF y sus componentes de cambio tecnológico y cambio en eficiencia y de esta forma lograr una mejor comprensión de los canales por los cuales se afecta la PTF a nivel sectorial.

Se propone una categorización donde $\overline{\delta Tcch_j}$ y $\frac{nf}{w} \overline{\delta Eff_j}$ son los promedios simples del cambio tecnológico y en eficiencia para el agregado de la industria manufacturera.

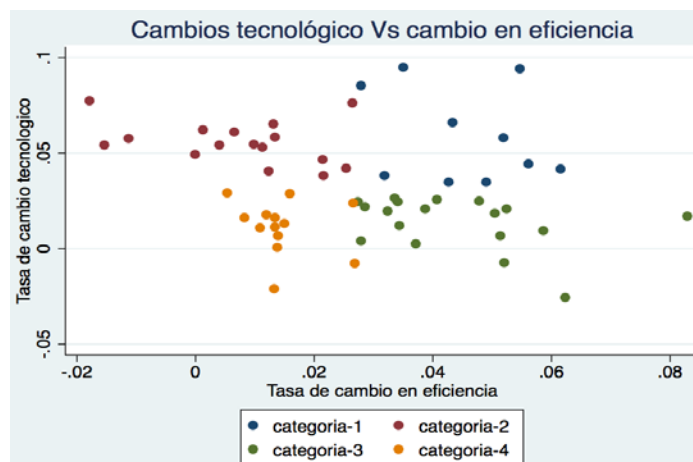
Tabla 4: Definición categorías sectoriales

Cambio Tecnológico	Cambio en Eficiencia	Categoría
$\overline{\delta Tcch_j} > \delta Tcch^*$	$\frac{nf}{w} \overline{\delta Eff_j} > \frac{nf}{w} \delta Eff^*$	1
$\overline{\delta Tcch_j} > \delta Tcch^*$	$\frac{nf}{w} \overline{\delta Eff_j} < \frac{nf}{w} \delta Eff^*$	2
$\overline{\delta Tcch_j} < \delta Tcch^*$	$\frac{nf}{w} \overline{\delta Eff_j} > \frac{nf}{w} \delta Eff^*$	3
$\overline{\delta Tcch_j} < \delta Tcch^*$	$\frac{nf}{w} \overline{\delta Eff_j} < \frac{nf}{w} \delta Eff^*$	4

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 9 de Anexos se puede encontrar la descripción de los sectores en cada categoría. En la gráfica a continuación se presenta el cambio tecnológico promedio, $\overline{\delta Tcch_j}$ y el cambio promedio en la eficiencia, definido según $\frac{nf}{w} \overline{\delta Eff_j}$, para el conjunto de los sectores analizados, discriminando de acuerdo a las categorías previamente descritas.

Figura 5: Cambio tecnológico y de eficiencia por categorías



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5: Variación anual promedio de componentes del cambio en la PTF por categorías

Categoría	$\overline{\frac{nf}{nw} \delta Eff}$	$\overline{\frac{nf}{w} \delta Eff}$	$\overline{w\delta PTF}$	$\overline{nw\delta PTF}$	$\overline{\delta Tcch}$	$\overline{w \delta Eff}$	$\overline{nw \delta Eff}$
1	3.50%	4.55%	6.87%	4.73%	5.89%	3.42%	2.94%
2	1.12%	0.77%	4.34%	3.53%	5.53%	0.72%	0.98%
3	3.13%	4.41%	3.39%	1.36%	1.35%	3.05%	2.54%
4	1.84%	1.45%	1.36%	0.50%	1.10%	1.20%	1.37%

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se observa la variación anual promedio de la PTF y sus componentes por categorías. Se puede concluir que como regla general, los mayores crecimientos en la PTF se alcanzan en sectores que han tenido un buen desempeño en cambio tecnológico, ya que las categorías con mayor crecimiento en la PTF corresponden a las que incluyen los sectores con tasa de cambio tecnológico por encima del promedio nacional. Sin embargo con el análisis de regresión, se verá que la eficiencia del sector resulta determinante para lograr tasas de cambio tecnológico más altas.

A continuación se presentan las regresiones a nivel sectorial para el cambio en la productividad total factorial, de acuerdo con $w\delta PTF$, el cambio en eficiencia, definido de acuerdo a $\frac{nf}{w} \delta Eff$ y el cambio tecnológico, todos medidos como tasas porcentuales de crecimiento. Se incluyen variables típicas de la literatura de determinantes de la PTF como son el índice de Herfindahl, medido en una escala de 0 (competencia perfecta) a 10.000 (poder monopólico); El número de plantas; La tasa de apertura exportadora, que mide que porcentaje de las ventas del sector se hacen al exterior; El porcentaje de insumos importados y el porcentaje de patrimonio extranjero; La productividad del trabajo y el capital por trabajador, medidos en pesos de 2010; La inversión relativa al nivel de producción y la edad promedio de las plantas medida en años.

Se incluyen también otras variables que no son de uso frecuente en la literatura, como la variación porcentual en los precios de los productos e insumos, la eficiencia promedio de las plantas del sector, el número promedio de plantas por empresa y el número de CIIUs en los que, en promedio, opera una empresa que tiene establecimientos industriales en el sector.

Tabla 6: Regresiones a nivel sectorial

Variables	(1) $\delta Tcch$	(2) ${}_w\delta PTF$	(3) ${}_w^{nf}\delta Eff$
	-2.39e-06	4.87e-05*	
<i>Indice Herfindahl_t</i>	(1.08e-05)	(2.51e-05)	
			2.27e-05**
<i>Indice Herfindahl_{t-1}</i>			(1.09e-05)
	-0.0272		0.0279
<i>TAE_{t-1}</i>	(0.0442)		(0.0520)
	-0.0871**		0.0613
<i>% Insumo importado_t</i>	(0.0427)		(0.0382)
	0.125**	0.160***	0.0733
Δ <i>Precio producto_{t-1}</i>	(0.0562)	(0.0380)	(0.0618)
	0.302**	0.301***	0.0506
Δ <i>Precio insumo_t</i>	(0.129)	(0.0809)	(0.0715)
	-7.06e-08***	-9.69e-08*	6.84e-08***
$\left(\frac{y}{l}\right)_{t-1}$	(2.29e-08)	(5.14e-08)	(2.01e-08)
	4.69e-08	2.16e-07**	6.49e-08
$\left(\frac{k}{l}\right)_{t-1}$	(5.27e-08)	(1.07e-07)	(6.51e-08)
$\left(\frac{\text{Inversión } I + D}{\text{Producción}}\right)_{t-1}$			0.869**
			(0.422)
	0.00151	-0.00434	-0.00497***
<i>Edad promedio firmas_t</i>	(0.00169)	(0.00274)	(0.00127)
	0.266**		-0.323***
<i>% Patrimonio Extranjero</i>	(0.133)		(0.121)
	0.000409***	0.000522**	-0.000373***
<i>Cantidad de firmas_t</i>	(9.36e-05)	(0.000199)	(9.45e-05)
	0.535***	0.171	-1.076***
<i>Eficiencia promedio_{t-1}</i>	(0.177)	(0.203)	(0.136)
	0.0246***	-0.0172	-0.0167**
<i>Plantas por empresa_t</i>	(0.00709)	(0.0287)	(0.00674)
	-0.241**	0.0745	0.182**
<i>Numero de CIU's por empresa_t</i>	(0.103)	(0.130)	(0.0802)
	-0.270	-0.180	0.873***
<i>Constante</i>	(0.176)	(0.273)	(0.141)
<i>Observaciones</i>	570	684	399
<i>Numero de CIU's</i>	57	57	57
<i>Periodo</i>	2001-2010	1998-2010	2004-2010
<i>Efectos de tiempo</i>	No	No	No
<i>Tipo de efecto de panel</i>	Aleatorio	Fijo	Aleatorio

Errores estándar robustos en paréntesis, *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

En la sección 7 de anexos pueden encontrarse las distintas especificaciones evaluadas, los resultados previamente presentados fueron los más satisfactorios, por abarcar un mayor periodo de estudio sin ocasionar sesgos en la estimación de los parámetros de interés.

De las regresiones anteriores un primer resultado a destacar es que la tasa anual de cambio tecnológico aumenta 0.53% al aumentar en 1% la eficiencia promedio de las plantas del sector. Un incremento en la participación extranjera del 1% tiene un efecto de 0.27% sobre la tasa anual de cambio tecnológico. Un incremento del 1% en el porcentaje de insumos importados está asociado con una reducción de 0.08% en la tasa de cambio tecnológico, al interpretar este resultado se debe tener en cuenta que la dependencia de un sector de insumos extranjeros posiblemente está correlacionada con que el sector afronte una mayor competencia por importaciones y/o que otros países sean más competitivos en la elaboración de los productos que fabrica el sector, variables que no se están considerando en la regresión y por lo tanto su efecto puede estar siendo capturado por el porcentaje de insumo extranjero. Por otro lado, el efecto podría ser legítimo si se considera el porcentaje de insumo importado como proxy de la inflexibilidad del mercado de insumos, ya que esta inflexibilidad puede a su vez dificultar la reasignación de la actividad económica hacia las plantas más productivas.

Se encuentra que el nivel de productividad laboral incide negativamente en la tasa de cambio tecnológico. Al interpretar este resultado se debe tener en cuenta la canasta de sectores industriales bajo estudio, en la cual los tres sectores con mayor productividad laboral son confección de prendas de vestir, Acabado de productos textiles y Fabricación de otros tipos de maquinaria de uso especial, los cuales no son precisamente sectores de alta tecnología. El índice de Herfindahl no resulta significativo, luego no hay evidencia estadística a favor de la hipótesis según la cual, el cambio tecnológico es mayor entre más intensa sea la competencia en el sector.

En cuanto al cambio en eficiencia se observa que sectores más concentrados tienen mayores incrementos en eficiencia, la magnitud del efecto es pequeña ya que un incremento de una unidad en el índice de Herfindahl aumenta la tasa de cambio en la eficiencia en 2.27×10^{-3} %. Este es un resultado en principio contra intuitivo que amerita más investigación. Así mismo se observa que el aumento de un año en la edad promedio de las plantas de un sector reduce la tasa de crecimiento de la eficiencia en 0.5%, al interpretar este resultado se debe tener en cuenta que

existen diversos canales que podrían explicar que las plantas de un sector tengan en promedio mayor edad, cómo podría ser la estructura de costos del sector u otras barreras de entrada , luego determinar la verdadera causa detrás de esta relación requiere más investigación. Se observa también que incrementos en el número de plantas generan menores incrementos en eficiencia, este hecho podría ser debido a que la mayor competencia entre las plantas ineficientes derivada de una mayor cantidad de plantas evita que en términos agregados las plantas ineficientes logren aumentar su eficiencia. Sin embargo sería útil investigar este resultado junto con el hallazgo sobre concentración del sector.

Los resultados sugieren que sectores más eficientes tienen menores incrementos en la eficiencia y que el nivel de productividad laboral incide positivamente en la tasa de crecimiento de la eficiencia. Un resultado a notar es que un incremento en la inversión relativa del 1% genera un incremento de 0.87% en la tasa de crecimiento de la eficiencia. Es importante destacar que la inversión no resultó significativa en ninguna de las demás especificaciones para las variables de cambio tecnológico y cambio en la PTF, un resultado contrario a lo que sugiere la teoría económica, ya que la inversión en I+D es la fuente del cambio tecnológico y el crecimiento económico Romer (1990).

Respecto a la tasa de crecimiento de la productividad total factorial, se observa que ésta aumenta $4.87 \times 10^{-3} \%$ al incrementarse en una unidad el índice de Herfindahl, así la mayor concentración favorece la tasa de crecimiento de la PTF. Este resultado contradice los hallazgos de múltiples estudios que encuentran evidencia de efectos positivos de la competencia sobre el crecimiento de la PTF, como Foster, Haltiwanger y Krizian (2001) ; Syverson (2004, 2007) y Schmitz(2005) entre otros. Los resultados muestran que esta variable no afecta la tasa de cambio tecnológico pero sí la tasa de crecimiento en la eficiencia, por lo que se sugiere que la competencia en un sector afecta la tasa de crecimiento en la PTF, exclusivamente a través los incrementos en la eficiencia.

El número de plantas tiene un efecto positivo sobre la tasa de cambio tecnológico y negativo sobre la tasa de cambio en la eficiencia y el efecto neto sobre el crecimiento de la PTF es positivo. Los resultados sugieren que sectores más productivos (utilizando la productividad del

trabajo como medida de productividad) tienen ceteris paribus menores incrementos en la PTF. Por último sectores que poseen más capital por trabajador tienen una mayor tasa de crecimiento en la PTF.

El número de plantas por empresa, y el número promedio de CIIUs en los que opera una empresa son dos variables que también tienen efectos mixtos. La primera es una proxy de la magnitud de conglomerados empresariales en un sector y de efectos spillovers, los cuales son importantes para el incremento de la PTF agregada de acuerdo con Grossman and Helpman (1991) y Wölfl (1998). El efecto de la primera es positivo sobre el cambio tecnológico, negativo sobre la tasa de crecimiento en la eficiencia y no significativo sobre la tasa de crecimiento de la PTF. No es claro que mide la segunda variable, teóricamente esta variable puede recoger el tamaño de la empresa, encadenamientos productivos o incluso diversificación por parte de grupos empresariales. Una reconstrucción de esta variable se requiere para identificar correctamente el efecto de cada uno de estos posibles mecanismos.

Tanto para tasa de cambio tecnológico como para tasa de variación en la PTF, resultan significativos los efectos de la variación en el precio de los productos y los insumos, ambas variables con un efecto positivo, no es claro el mecanismo por el cual estas variables nominales tienen efectos reales sobre la PTF y el cambio tecnológico. Una posibilidad es que el incremento en el precio de los insumos estimule a la planta a racionar el consumo de los mismos y en consecuencia se produzca una reducción real de costos en el sentido de Harberger (1969) y por ende aumente la PTF. Se requiere mayor investigación al respecto.

Finalmente se estudia qué implicaciones ha tenido el cambio tecnológico en el sector industrial colombiano. Por ello se analizó qué relación muestran los datos entre el cambio tecnológico a nivel sectorial y el factor trabajo, en particular se quiere analizar si los sectores con mayores tasas de cambio tecnológico han creado más o menos trabajo, si su participación como empleadores de la fuerza laboral del sector industrial ha aumentado y si el cambio tecnológico ha estado asociado a un incremento en la intensidad del capital. Se define la medida de creación de empleo como

$\Delta l_j = \left(\frac{l_j^{2010}}{l_j^{1997}}\right)^{\frac{1}{13}} - 1$, que corresponde a la tasa promedio anual de creación de empleo. La variación en la participación en el empleo industrial como $\Delta w(l)_j = \frac{l_j^{2010}}{\sum_j l_j^{2010}} - \frac{l_j^{1997}}{\sum_j l_j^{1997}}$ y la intensidad del capital se define como el capital promedio por trabajador en el sector.

Tabla 7: Correlación entre cambio tecnológico y variables de empleo

	$\Delta Tech_j$	Δl_j	$\Delta w(l)_j$	$\left(\frac{K}{l}\right)_j$
$\Delta Tech_j$	1			
Δl_j	0.3222*	1		
$\Delta w(l)_j$	0.2079	0.7490*	1	
$\left(\frac{K}{l}\right)_j$	-0.0431	-0.1781	-0.2044	1

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

$\Delta Tech$: Cambio tecnológico, Δl : tasa de creación de empleo,

$\Delta w(l)$: variación en la participación en el empleo industrial, $\left(\frac{K}{l}\right)$: capital por trabajador.

Fuente: Elaboración propia

La tabla anterior muestra que los sectores con mayor tasa de cambio tecnológico tuvieron una mayor tasa anual de creación de empleo. Así mismo, sugiere que los sectores con mayor tasa de cambio tecnológico tuvieron un mayor incremento en su participación como empleadores de la fuerza laboral industrial. Es decir, el trabajo se habría reasignado hacia los sectores con mayor tasa de cambio tecnológico, debe tenerse en cuenta que el análisis realizado se basa en la canasta de los 57 sectores industriales a CIU cuatro dígitos analizados y sólo se considera el empleo vinculado a actividades de producción. Adicionalmente se puede observar que el cambio tecnológico no ha estado acompañado de un proceso de profundización del capital.

Por último se presenta la correlación entre la variación porcentual de la productividad individual de los factores de producción: capital, trabajo, energía y materias primas versus el cambio tecnológico.

Tabla 8: Cambio tecnológico vs variación productividad de insumos

	$\Delta Tech$	$\left(\frac{Y}{K}\right)$	$\left(\frac{Y}{L}\right)$	$\left(\frac{Y}{E}\right)$	$\left(\frac{Y}{M}\right)$
$\Delta Tech$	1				
$\left(\frac{Y}{K}\right)$	0.6024*	1			
$\left(\frac{Y}{L}\right)$	0.6941*	0.7647*	1		
$\left(\frac{Y}{E}\right)$	0.5276*	0.7225*	0.6512*	1	
$\left(\frac{Y}{M}\right)$	0.5693*	0.5802*	0.7012*	0.4505*	1

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran que el cambio tecnológico ha venido acompañado de incrementos en la productividad de todos los factores. Sin embargo, es claro que éste ha incidido principalmente en la productividad del trabajo y del capital.

VI. Conclusiones

En este documento se aplicó el índice de malmquist junto con la metodología no paramétrica de análisis envolvente de datos, para medir la tasa de crecimiento en la productividad total factorial en la industria manufacturera colombiana para el periodo 1997-2010 y analizar los componentes de cambio tecnológico y cambio en eficiencia. Esta desagregación permitió identificar que las tasas de crecimiento de cada componente reaccionan de forma diferente a características sectoriales.

El efecto de la productividad laboral sobre las tasas de crecimiento es positivo para la eficiencia y negativo para el cambio tecnológico y la PTF. La tasa de apertura exportadora no tiene efecto sobre la PTF o los componentes estudiados. La inversión en I+D, medida en términos relativos a la producción sólo afecta la tasa de crecimiento de la eficiencia.

Efectos mixtos se encuentran en el índice de Herfindahl, que mide el grado de competencia en el sector, éste tiene efectos positivos sobre las tasas de crecimiento de la eficiencia y la PTF más no sobre la tasa de cambio tecnológico. El número de plantas en el sector y la participación extranjera en el patrimonio tiene un efecto positivo sobre la tasa de cambio tecnológico, negativo sobre la tasa de crecimiento en eficiencia y no significativo sobre la PTF. Algunos resultados

requieren más investigación, no son claros los canales por los cuales la edad promedio de las plantas, la concentración industrial y el número de plantas afectan la tasa de crecimiento en la eficiencia. El signo estimado para la competencia en el sector es contrario a la teoría económica, y la no significancia de la variable de inversión sobre el crecimiento de la PTF también lo es, se sospecha que estos resultados están relacionados con variables omitidas como son la penetración de importaciones y el grado de competitividad del sector en relación a productores extranjeros. Pese a esta situación, los resultados permiten probar que una misma variable tiene efectos distintos, incluso en el signo, sobre el crecimiento de la PTF y sus componentes individuales de cambio en eficiencia y cambio tecnológico.

Además de comprender mejor los canales por los cuales se afecta la tasa de crecimiento en la PTF, la desagregación del crecimiento de la misma resulta ser útil desde el punto de vista práctico para hacer un análisis completo de cuál ha sido el desempeño de un sector puesto que dos sectores con tasas de crecimiento en la PTF pueden tener tasas muy diferentes de crecimiento en la eficiencia y cambio tecnológico. Más aun un sector con tasas positivas de crecimiento en la PTF puede simultáneamente tener contracciones en su frontera de producción.

Para el agregado de la industria manufacturera, la tasa de cambio tecnológico fue de 3.26%, la tasa de crecimiento en la eficiencia, al considerar sólo las plantas que no se encuentran en la frontera de producción fue de 3.35 % y la tasa de crecimiento en la PTF fue de 3.3% anual. Los resultados sugieren que el cambio tecnológico es el componente clave para lograr mayores tasas de crecimiento en la PTF.

El cambio tecnológico no ha estado acompañado de un proceso de profundización del capital, sin embargo los datos muestran que sectores con mayor tasa de cambio tecnológico tienen tasas más altas de creación de empleo y han aumentado su participación relativa como empleadores de la fuerza laboral del sector industrial, es decir el empleo industrial se ha reasignado hacia los sectores que han experimentado mayores tasas de cambio tecnológico.

El cambio tecnológico ha estado acompañado de incrementos en la productividad de todos los factores pero ha incidido principalmente en capital y trabajo.

Anexos

1. Demostración de igualdad entre el índice de Malmquist y el cambio en la productividad total factorial.

Suponga que se tiene un solo insumo y un solo producto y se ajusta un modelo DEA de retornos constantes a escala.

Partiendo de [7]:

$$IM_o(x_o^{t+1}, y_o^{t+1}, x_o^t, y_o^t) = \sqrt{\frac{D_{crs}^t(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})}{D_{crs}^t(x_o^t, y_o^t)} \cdot \frac{D_{crs}^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})}{D_{crs}^{t+1}(x_o^t, y_o^t)}}$$

Se define $y_*^q(x_o^s)$ como la máxima producción que puede alcanzarse con la tecnología disponible en $t=q$ al utilizar el vector de insumos x_o^s . Al tener un solo insumo y un solo producto se tiene que:

$$D_{crs}^q(x_o^s, y_o^s) = \frac{y_o^s}{y_*^q(x_o^s)}$$

$$IM_o(x_o^{t+1}, y_o^{t+1}, x_o^t, y_o^t) = \sqrt{\frac{\frac{y_o^{t+1}}{y_*^t(x_o^{t+1})}}{\frac{y_o^t}{y_*^t(x_o^t)}} \cdot \frac{\frac{y_o^{t+1}}{y_*^{t+1}(x_o^{t+1})}}{\frac{y_o^t}{y_*^{t+1}(x_o^t)}}}}$$

$$IM_o(x_o^{t+1}, y_o^{t+1}, x_o^t, y_o^t) = \sqrt{\frac{y_o^{t+1} \cdot y_*^t(x_o^t)}{y_o^t \cdot y_*^t(x_o^{t+1})} \cdot \frac{y_o^{t+1} \cdot y_*^{t+1}(x_o^t)}{y_o^t \cdot y_*^{t+1}(x_o^{t+1})}}$$

Al multiplicar la expresión anterior por $\frac{x_o^{t+1} x_o^t}{x_o^{t+1} x_o^t}$ se llega a:

$$IM_o(x_o^{t+1}, y_o^{t+1}, x_o^t, y_o^t) = \sqrt{\frac{\frac{y_o^{t+1} y_*^t(x_o^t)}{x_o^{t+1} x_o^t}}{\frac{y_o^t y_*^t(x_o^{t+1})}{x_o^t x_o^{t+1}}} \cdot \frac{\frac{y_o^{t+1} y_*^{t+1}(x_o^t)}{x_o^{t+1} x_o^t}}{\frac{y_o^t y_*^{t+1}(x_o^{t+1})}{x_o^t x_o^{t+1}}}}$$

Con retornos constantes a escala, la frontera de producción estará descrita por la recta de mayor pendiente entre las distintas combinaciones insumo-producto. Esta pendiente será la misma para cualquier nivel de insumo, luego bajo retornos constantes a escala se cumple:

$$\frac{y_*^t(x_o^t)}{x_o^t} = \frac{y_*^t(x_o^{t+1})}{x_o^{t+1}} \text{ y } \frac{y_*^{t+1}(x_o^t)}{x_o^t} = \frac{y_*^{t+1}(x_o^{t+1})}{x_o^{t+1}}$$

En consecuencia:

$$IM_o(x_o^{t+1}, y_o^{t+1}, x_o^t, y_o^t) = \sqrt{\frac{\frac{y_o^{t+1}}{x_o^{t+1}} \cdot \frac{y_o^{t+1}}{x_o^{t+1}}}{\frac{y_o^t}{x_o^t} \cdot \frac{y_o^t}{x_o^t}}}$$

Con un solo insumo y un solo producto se cumple que $PTF_o^s = \frac{y_o^s}{x_o^s}$, luego:

$$IM_o(x_o^{t+1}, y_o^{t+1}, x_o^t, y_o^t) = \sqrt{\left(\frac{PTF_o^{t+1}}{PTF_o^t}\right)^2} = \frac{PTF_o^{t+1}}{PTF_o^t}$$

La anterior demostración se realizó para un caso con un solo insumo y un solo producto, la demostración de la equivalencia para múltiples insumos y productos puede encontrarse en Cooper et al.(2007).

2. Como solucionar el problema de infactibilidad en modelos de supereficiencia que surge de la utilización de retornos variables a escala, en un modelo DEA orientado a productos.

El cálculo del índice de malmquist requiere de evaluar la eficiencia de la planta $i = o$ en el periodo q , utilizando la tecnología disponible en el periodo s , con $s \neq q$. En una situación como esta podría ocurrir que la DMU bajo evaluación se encuentre contenida en el conjunto de producción del periodo s , en tal caso el modelo de súper eficiencia es equiparable a un modelo típico de eficiencia, como los presentados en la sección de estrategia empírica. Podría ocurrir también que la DMU se encuentre por fuera del conjunto de producción. Este caso se conoce en la literatura como una evaluación de súper eficiencia y en este tipo de evaluaciones el programa lineal puede ser infactible.

Los modelos de súper eficiencia bajo CRS son siempre factibles, independientemente de si son orientados a productos o insumos pero los modelos bajo VRS serán infactibles si se cumplen ciertas condiciones. En el caso de un modelo VRS orientado a productos el modelo será infactible si el vector de insumos de la DMU bajo evaluación (x_o^q) se encuentra por fuera del conjunto de producción del periodo s , es decir:

$$\text{Si para algún insumo } k: x_{ko} < \sum_{i=1}^n \lambda_i x_{ki}^s.$$

Para el caso del programa DEA radial orientado a productos con VRS Lee et al. (2011) propone un procedimiento de dos etapas para calcular la calificación de súper eficiencia para el caso en que el modelo DEA VRS convencional sea infactible.

Etapa I: En esta etapa se busca detectar si el programa DEA VRS es infactible, para esto se identifica la existencia de ahorro de insumos con el siguiente programa lineal.

$$\min \sum_{k=1}^m t_k$$

Sujeto a :

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \lambda_i x_{ki} - t_k x_{ko} &\leq x_{ko} \quad \forall k = 1..m \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i &= 1 \\ \lambda &\geq 0, \quad t \geq 0 \end{aligned}$$

El modelo DEA Radial VRS será factible si y sólo si $t^* = 0$.

Etapa II: En esta etapa se propone un modelo modificado de DEA radial VRS orientado a productos, que usa como parámetros la solución óptima del programa anterior. En términos generales lo que se hace en esta segunda fase es llevar al vector de insumos x_o hacia el conjunto de producción y luego evaluar su eficiencia.

$$\text{Max } \eta_o$$

sujeto a:

$$\begin{aligned} \eta_o y_{oj} &\leq \sum_{i=1}^n \lambda_i y_{ij} \quad \forall j = 1..s \\ x_{ko} &\geq \sum_{i=1}^n \lambda_i x_{ki} - t_k^* x_{ko} \quad \forall k = 1..m \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i &= 1 \\ \lambda &\geq 0 \end{aligned}$$

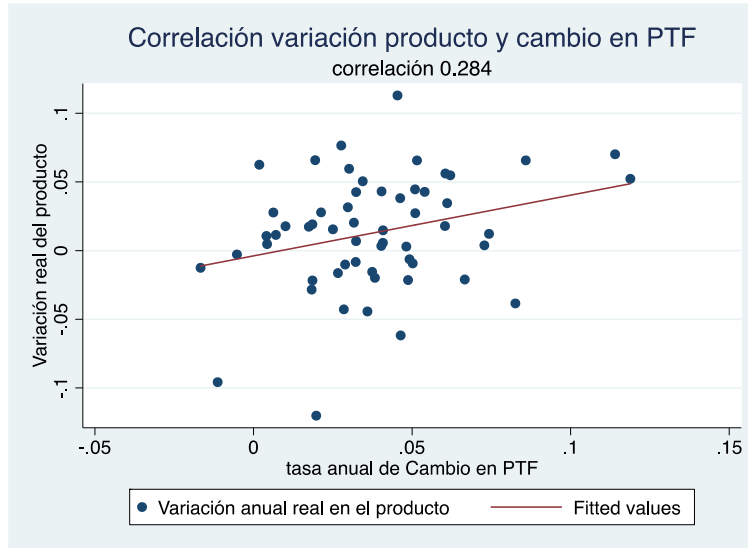
Una vez implementadas las etapas I y II se calcula la súper eficiencia ($\widetilde{\eta}_o$) de la DMU como:

$$\frac{1}{\widetilde{\eta}_o} = \begin{cases} \frac{\sum_{k \in K} \left(\frac{x_{ko} + t_k^* x_{ko}}{x_{ko}} \right)}{|K|} + \frac{1}{\eta_o^*} & \text{si } |K| \neq 0 \\ \frac{1}{\eta_o^*} & \text{si } |K| = 0 \end{cases}$$

Donde se define el conjunto K: $K = \{k | t_k^* > 0\}$. Nótese que este procedimiento de dos etapas, arroja una calificación de eficiencia igual a la del programa DEA estándar si la DMU bajo evaluación se encuentra dentro del conjunto de producción.

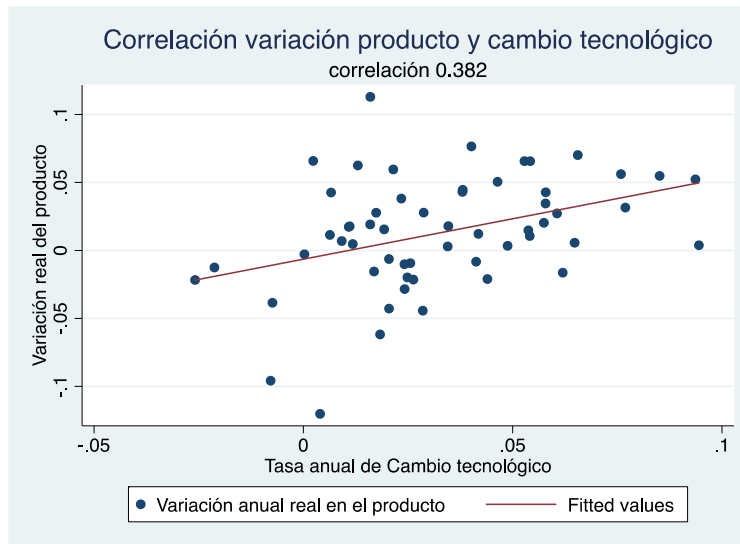
3. Gráficas de correlación entre variación anual en la producción real y los componentes del cambio de la PTF

Figura 6: Variación real en la producción vs variación en PTF



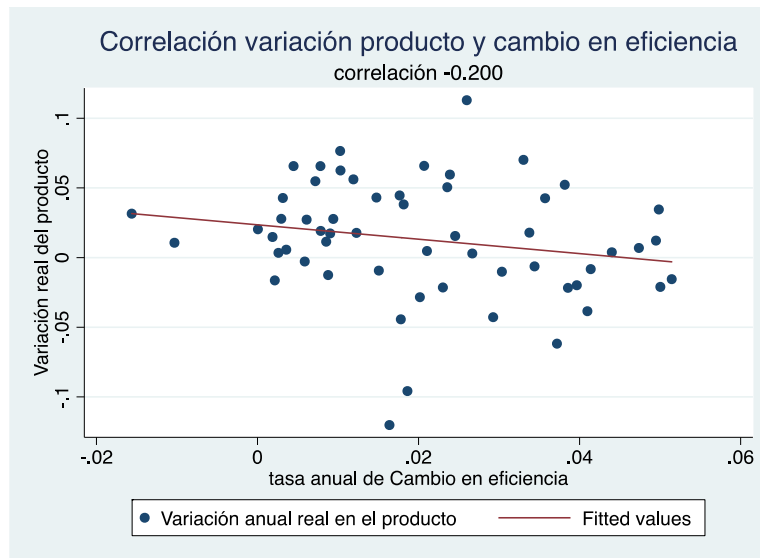
Fuente: Elaboración propia

Figura 7: Variación real en la producción vs variación en cambio tecnológico



Fuente: Elaboración propia

Figura 8: Variación real en la producción vs variación en cambio en eficiencia



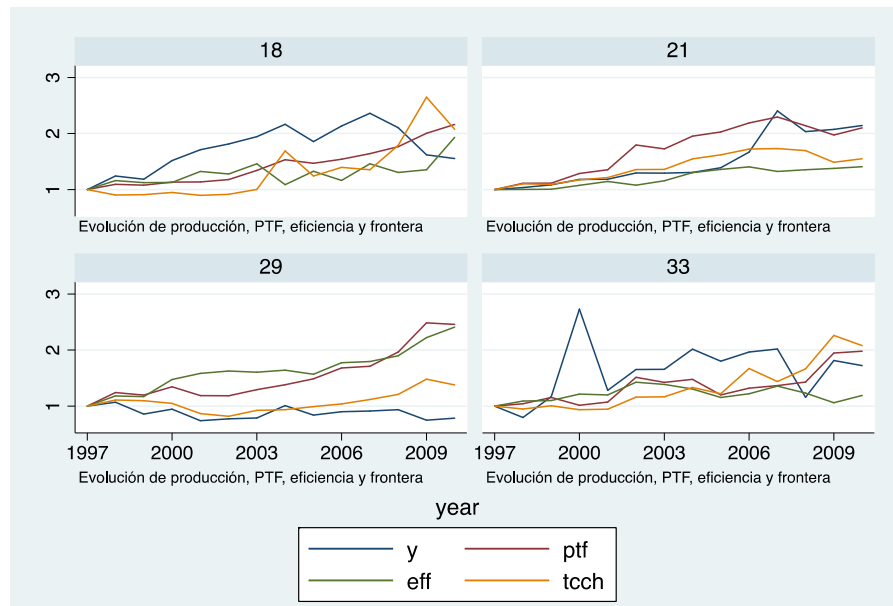
Fuente: Elaboración propia

4. Índices de evolución de producción real, PTF, Eficiencia y frontera de producción para grandes subsectores.

A continuación se presentan los índices de evolución agregados para 17 subsectores a dos dígitos de la clasificación CIU revisión 3.

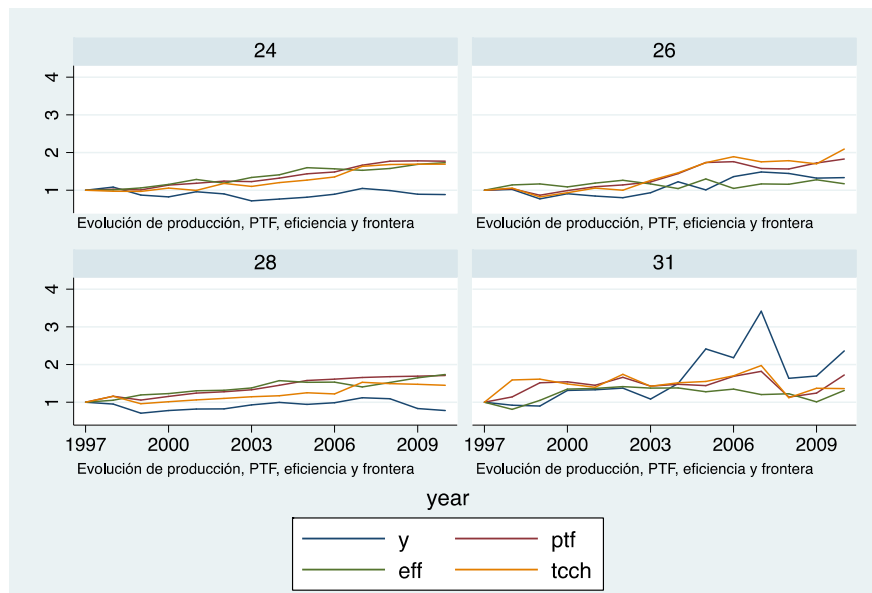
CIU 2 dígitos	Descripción del sector
15	Elaboración de productos alimenticios y bebidas
17	Fabricación de productos textiles
18	Confección de prendas de vestir; adobo y teñido de pieles
19	Curtido y adobo de cueros; fabricación de calzado; fabricación de artículos de viaje, maletas, bolsos de mano y similares; artículos de talabartería y guarnicionería
20	Transformación de la madera y fabricación de productos de madera y de corcho, excepto muebles; fabricación de artículos de cestería y espartería
21	Fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón
22	Actividades de edición e impresión y de reproducción de grabaciones
24	Fabricación de sustancias y productos químicos
25	Fabricación de productos de caucho y de plástico
26	Fabricación de otros productos minerales no metálicos
27	Fabricación de productos metalúrgicos básicos
28	Fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo
29	Fabricación de maquinaria y equipo ncp
31	Fabricación de maquinaria y aparatos eléctricos ncp
33	Fabricación de instrumentos médicos, ópticos y de precisión y fabricación de relojes
34	Fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques
36	Fabricación de muebles; industrias manufactureras ncp

Figura 9: Evolución PTF y componentes para grandes subsectores



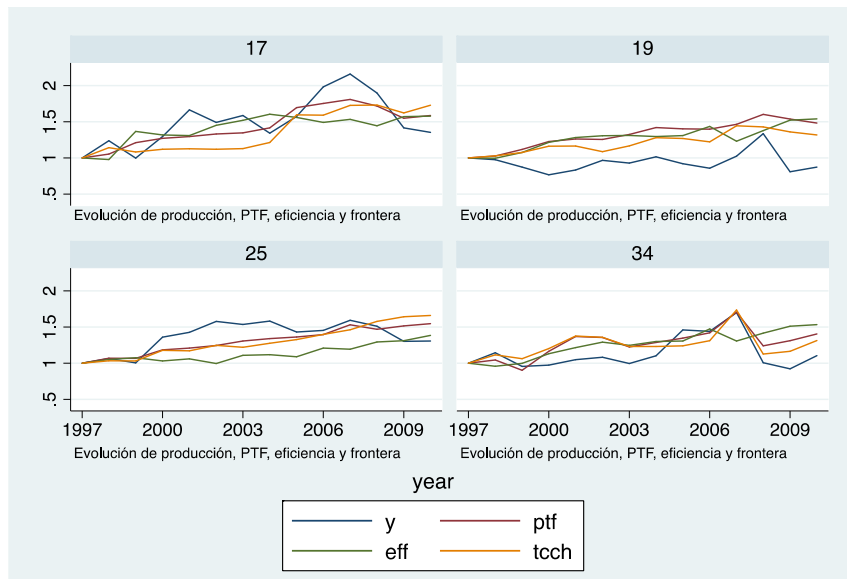
Fuente: Elaboración propia.

Figura 10: Evolución PTF y componentes para grandes subsectores



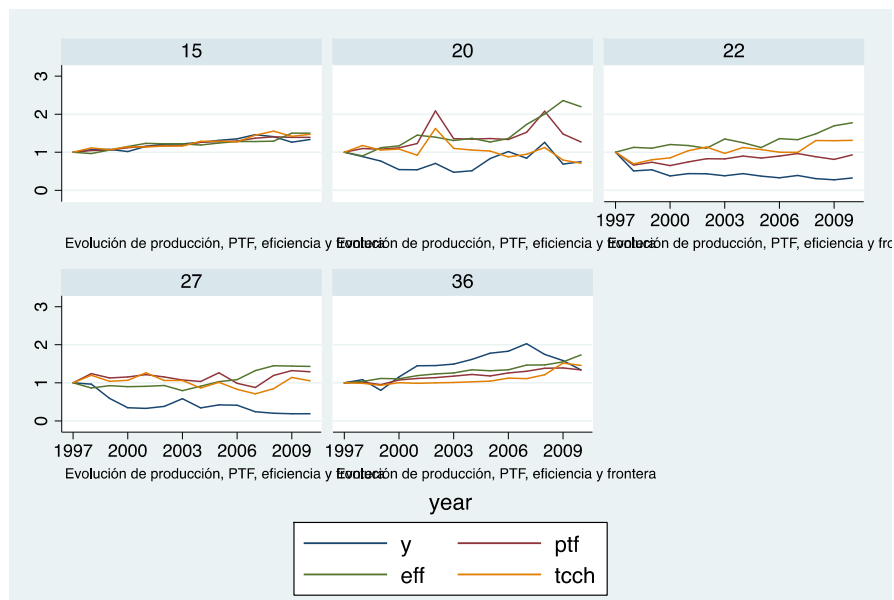
Fuente: Elaboración propia.

Figura 11: Evolución PTF y componentes para grandes subsectores



Fuente: Elaboración propia.

Figura 12: Evolución PTF y componentes para grandes subsectores



Fuente: Elaboración propia.

5. Categorización de sectores

Tabla 9: Asignación de sectores a categorías

CIU	Categoría	CIU	Categoría	CIU	Categoría	CIU	Categoría
1589	1	2101	2	1931	3	1530	4
1730	1	2220	2	2010	3	1543	4
1810	1	2422	2	2109	3	1563	4
2411	1	2519	2	2424	3	1581	4
2423	1	2521	2	2429	3	1749	4
2695	1	2693	2	2529	3	1750	4
2696	1	2694	2	2610	3	1921	4
2811	1	3150	2	2710	3	1926	4
2929	1	3190	2	2899	3	2102	4
3420	1	3311	2	2919	3	2212	4
1511	2	3612	2	2925	3	3110	4
1551	2	1521	3	3611	3	3430	4
1561	2	1541	3	3613	3		
1720	2	1594	3	3699	3		
1741	2	1910	3	1522	4		

Fuente: Elaboración propia

6. Resultados de regresiones a nivel sectorial

Tabla 10: Resultados regresiones Cambio tecnológico

Variables	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Variables	Δ Tecnológico	Δ Tecnológico	Δ Tecnológico	Δ Tecnológico	Δ Tecnológico	Δ Tecnológico
$\bar{Índice\ Herfindahl}_t$	-3.22e-05** (1.63e-05)	-3.18e-05** (1.62e-05)	-2.39e-06 (1.08e-05)	-2.87e-06 (1.26e-05)	-8.38e-06 (9.99e-06)	-7.33e-06 (9.40e-06)
TAE_{t-1}	-0.0242 (0.0557)	-0.0234 (0.0559)	-0.0272 (0.0442)			
% insumo Importado _t	-0.107 (0.0761)	-0.110 (0.0744)	-0.0871** (0.0427)			
Δ Precio producto _{t-1}	0.116* (0.0632)	0.114* (0.0632)	0.125** (0.0562)	0.127** (0.0565)	0.145*** (0.0509)	0.148*** (0.0510)
Δ Precio Insumo _t	0.372*** (0.122)	0.374*** (0.123)	0.302** (0.129)	0.298** (0.124)	0.241** (0.0966)	0.237** (0.0991)
$\left(\frac{y}{l}\right)_{t-1}$	-1.43e-07*** (4.07e-08)	-1.39e-07*** (4.01e-08)	-7.06e-08*** (2.29e-08)	-4.14e-08*** (1.35e-08)	-3.26e-08** (1.33e-08)	-3.81e-08* (2.22e-08)
$\left(\frac{k}{l}\right)_{t-1}$	6.97e-08 (5.03e-08)	6.15e-08 (5.50e-08)	4.69e-08 (5.27e-08)	3.79e-08 (4.95e-08)	2.12e-09 (3.88e-08)	-7.99e-09 (5.16e-08)
$\left(\frac{Inversion}{Producción}\right)_{t-1}$	-0.255 (0.695)					
Edad Promedio firmas _t	0.00287 (0.00270)	0.00302 (0.00267)	0.00151 (0.00169)	0.000190 (0.00147)	0.000526 (0.00119)	0.00158 (0.00157)
% Patrimonio extranjero _t	0.528** (0.231)	0.516** (0.227)	0.266** (0.133)			
Cantidad de firmas _t	0.000497*** (0.000117)	0.000501*** (0.000116)	0.000409*** (9.36e-05)	0.000379*** (8.77e-05)	0.000362*** (7.66e-05)	0.000401*** (8.30e-05)
Eficiencia promedio _{t-1}	0.801*** (0.245)	0.797*** (0.241)	0.535*** (0.177)	0.464*** (0.173)	0.495*** (0.150)	0.538*** (0.164)
Plantas por empresa _t	0.0400*** (0.0102)	0.0398*** (0.00993)	0.0246*** (0.00709)	0.0244*** (0.00709)	0.0204*** (0.00652)	0.0192*** (0.00735)
Numero de CIU's por empresa _t	-0.426*** (0.155)	-0.424*** (0.157)	-0.241** (0.103)	-0.172* (0.0939)	-0.113 (0.0850)	-0.186* (0.0958)
\bar{TAE}						-0.0518 (0.0484)
$\overline{\% insumo Importado}$						-0.0602 (0.0455)
$\overline{\% patrimonio extranjero}$						0.179 (0.134)
$\overline{\left(\frac{Inversion}{Producción}\right)}$						1.018 (0.764)
Constante	-0.311 (0.210)	-0.320 (0.215)	-0.270 (0.176)	-0.264 (0.172)	-0.355** (0.155)	-0.358** (0.153)
Observaciones	399	399	570	570	684	684
Numero de CIU's	57	57	57	57	57	57
Periodo	2004-2010	2004-2010	2001-2010	2001-2010	1998-2010	1998-2010
Efectos de tiempo	No	No	No	No	No	No
Efectos Aleatorios	Si	Si	Si	Si	Si	Si

Errores estándar robustos en paréntesis, *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11: Resultados de regresiones : Cambio en PTF

Variables	(1) ΔPTF	(2) ΔPTF	(3) ΔPTF	(4) ΔPTF	(5) ΔPTF
<i>Índice Herfindahl_t</i>	3.89e-05 (5.65e-05)	4.06e-05 (5.53e-05)	5.34e-05 (3.45e-05)	5.58e-05* (3.17e-05)	4.87e-05* (2.51e-05)
<i>TAE_{t-1}</i>	0.309** (0.131)	0.305** (0.132)	0.170 (0.125)		
<i>% insumo Importado_t</i>	-0.110 (0.121)	-0.115 (0.120)	-0.0235 (0.0635)		
Δ Precio producto _{t-1}	0.174** (0.0654)	0.172** (0.0646)	0.125** (0.0471)	0.124** (0.0472)	0.160*** (0.0380)
Δ Precio Insumo _t	0.363*** (0.107)	0.364*** (0.107)	0.309*** (0.0962)	0.318*** (0.0972)	0.301*** (0.0809)
$\left(\frac{y}{l}\right)_{t-1}$	-2.52e-07 (1.91e-07)	-2.49e-07 (1.90e-07)	-1.60e-07 (1.35e-07)	-1.57e-07 (1.36e-07)	-9.69e-08* (5.14e-08)
$\left(\frac{k}{l}\right)_{t-1}$	4.31e-08 (2.21e-07)	1.64e-08 (2.27e-07)	1.40e-07 (1.52e-07)	1.43e-07 (1.60e-07)	2.16e-07** (1.07e-07)
$\left(\frac{\text{Inversion}}{\text{Producción}}\right)_{t-1}$	-0.233 (0.490)				
<i>Edad Promedio firmas_t</i>	-0.00679 (0.00459)	-0.00653 (0.00465)	-0.00674** (0.00285)	-0.00651** (0.00273)	-0.00434 (0.00274)
<i>% Patrimonio extranjero_t</i>	1.007** (0.418)	0.998** (0.416)	0.316 (0.244)		
<i>Cantidad de firmas_t</i>	-9.48e-05 (0.000315)	-9.85e-05 (0.000314)	0.000452** (0.000207)	0.000425* (0.000213)	0.000522** (0.000199)
<i>Eficiencia promedio_{t-1}</i>	0.434 (0.297)	0.440 (0.294)	0.162 (0.222)	0.181 (0.219)	0.171 (0.203)
<i>Plantas por empresa_t</i>	-0.0757 (0.0894)	-0.0773 (0.0887)	-0.0239 (0.0394)	-0.0259 (0.0372)	-0.0172 (0.0287)
<i>Numero de CIU's por empresa_t</i>	-0.476 (0.293)	-0.450 (0.304)	-0.0615 (0.133)	-0.0598 (0.126)	0.0745 (0.130)
<i>Constante</i>	0.376 (0.370)	0.336 (0.378)	0.0307 (0.262)	0.0501 (0.265)	-0.180 (0.273)
<i>Observaciones</i>	399	399	570	570	684
<i>R²</i>	0.178	0.177	0.104	0.098	0.088
<i>Numero de CIU's</i>	57	57	57	57	57
<i>Período</i>	2004-2010	2004-2010	2001-2010	2001-2010	1998-2010
<i>Efectos de tiempo</i>	No	No	No	No	No
<i>Efectos Fijos</i>	Si	Si	Si	Si	Si

Errores estándar robustos en paréntesis, *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 12: Resultados de regresiones : Cambio en Eficiencia

Variables	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
$\Delta Eficiencia$	$\Delta Eficiencia$	$\Delta Eficiencia$	$\Delta Eficiencia$	$\Delta Eficiencia$	$\Delta Eficiencia$	$\Delta Eficiencia$
Índice Herfindahl _{t-1}	2.27e-05** (1.09e-05)	2.26e-05** (1.09e-05)	1.65e-05** (6.70e-06)	1.62e-05** (6.88e-06)	3.78e-05** (1.92e-05)	3.72e-05* (1.91e-05)
TAE _{t-1}	0.0279 (0.0520)	0.0238 (0.0569)	0.00761 (0.0364)			
% insumo Importado _t	0.0613 (0.0382)	0.0706* (0.0406)	0.0696** (0.0276)			
$\Delta Precio\ producto_{t-1}$	0.0733 (0.0618)	0.0771 (0.0619)	0.0544 (0.0479)	0.0532 (0.0470)	0.0295 (0.0395)	0.0335 (0.0387)
$\Delta Precio\ Insumo_t$	0.0506 (0.0715)	0.0470 (0.0755)	0.0500 (0.0555)	0.0537 (0.0532)	0.0987* (0.0581)	0.0946 (0.0585)
$\left(\frac{y}{l}\right)_{t-1}$	6.84e-08*** (2.01e-08)	5.60e-08*** (1.92e-08)	3.01e-08** (1.41e-08)	1.33e-08* (7.69e-09)	1.07e-08 (1.03e-08)	2.08e-08 (1.97e-08)
$\left(\frac{k}{l}\right)_{t-1}$	6.49e-08 (6.51e-08)	9.22e-08 (7.77e-08)	6.97e-08 (6.37e-08)	7.63e-08 (6.39e-08)	6.61e-08 (6.50e-08)	5.79e-08 (5.72e-08)
$\left(\frac{Inversion}{Producción}\right)_{t-1}$	0.869** (0.422)					
Edad Promedio firmas _t	-0.00497*** (0.00127)	-0.00554*** (0.00132)	-0.00478*** (0.000981)	-0.00370*** (0.000843)	-0.00449*** (0.00116)	-0.00365*** (0.00108)
% Patrimonio extranjero _t	-0.323*** (0.121)	-0.280** (0.124)	-0.131 (0.0862)			
Cantidad de firmas _t	-0.000373*** (9.45e-05)	-0.000385*** (9.85e-05)	-0.000373*** (6.99e-05)	-0.000356*** (6.96e-05)	-0.000393*** (7.56e-05)	-0.000373*** (7.33e-05)
Eficiencia promedio _{t-1}	-1.076*** (0.136)	-1.066*** (0.140)	-0.985*** (0.116)	-0.940*** (0.108)	-1.028*** (0.133)	-1.043*** (0.134)
Plantas por empresa _t	-0.0167** (0.00674)	-0.0160** (0.00676)	-0.00832 (0.00695)	-0.00840 (0.00683)	-0.00265 (0.00682)	-0.00478 (0.00688)
Numero de CIU's por empresa _t	0.182** (0.0802)	0.178** (0.0829)	0.140* (0.0736)	0.0941 (0.0687)	0.0699 (0.0855)	0.0442 (0.0827)
TAE						0.0274 (0.0356)
% insumo Importado						-0.0374 (0.0388)
% patrimonio extranjero						-0.0208 (0.117)
$\left(\frac{Inversion}{Producción}\right)$						1.140** (0.552)
Constante	0.873*** (0.141)	0.904*** (0.149)	0.862*** (0.120)	0.858*** (0.110)	0.962*** (0.127)	0.953*** (0.122)
Observaciones	399	399	570	570	684	684
Número de CIU's	57	57	57	57	57	57
Periodo	2004-2010	2004-2010	2001-2010	2001-2010	1998-2010	1998-2010
Efectos de tiempo	No	No	No	No	No	No
Efectos Aleatorios	Si	Si	Si	Si	Si	Si

Errores estándar robustos en paréntesis, *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Fuente: Elaboración Propia

7. Estadísticas de sectores

Tabla 13: Estadísticas sectoriales, variables promedio 1997-2010

En las tablas a continuación P-Eff corresponde al promedio aritmético simple de la eficiencia de las plantas del sector, P-W-eff corresponde a la eficiencia promedio del sector ponderando por la participación de mercado de las plantas, P-nf_eff corresponde al promedio aritmético simple de la eficiencia de las plantas que no operan en la frontera de producción y P-nf_eff_w corresponde al promedio de la eficiencia de las plantas que no operan en la frontera de producción, ponderando por la participación de mercado.

CIU	P-Eff	P-W-eff	P-nf_eff	P-nf_eff_w	Índice Herfindahl	Plantas	Inflación Producto	Inflación insumos	Inversión I+D/ Producción	Capital por trabajador	Productividad del capital	Productividad del trabajo	Productividad materias primas
	%	%	%	%			%	%	%	COP Miles		COP Miles	
1511	75.7	84.8	68.3	77.4	361	118	5.1	5.3	0.7	62623.82	4.14	259239.9	1.41
1521	84.5	90.4	75.7	78.2	1002	55	4.6	6	1.6	86673.62	1.86	158721.8	1.69
1530	78.6	87	70.9	75.2	597	119	7.3	6.3	0.8	118864.9	4.10	473335.6	1.67
1541	77.2	85.5	71.1	78.3	226	128	6.5	6.4	0.6	128288.6	5.59	717998.1	1.38
1543	86.8	91.7	79.5	85.8	325	59	6	5.9	0.4	136447.6	7.49	1019438	1.26
1551	67.5	78.3	62.5	70.9	887	365	6.2	6.6	0.9	32437.76	3.17	102646.3	2.23
1561	88.2	90.3	82.9	85.1	300	41	6.4	6.4	0	137497.5	23.74	3205613	1.14
1563	87.7	95.4	79.4	83.5	1409	33	8.1	6.8	0.3	122134.7	6.82	808670.8	1.64
1581	86.1	93.6	76.3	83	1356	46	8	7	1.6	100560.3	3.41	339038.5	2.32
1589	75.5	86.6	66.7	74.3	803	76	6	5.3	1.2	95119.39	3.61	340643.9	2.37
1594	77.4	89.5	66.3	77.7	754	70	8.6	7.5	1.3	438942	2.06	887301.4	3.18
1720	79.2	86	68.1	71.2	1461	39	3.3	4.1	1.4	97023.8	1.02	97501.04	2.34
1730	86.3	92.8	74	79	1759	44	1.6	5.4	3.6	51419.54	1.13	52368.34	3.30
1741	81.8	90.7	70.9	77.5	1406	48	7	4.8	0.4	32478.88	3.56	110942.2	2.86
1749	86.5	95.6	74.3	80.9	2231	36	11.7	7.2	0.7	83540.93	3.71	305250.3	4.42
1750	78.9	91.7	70.4	81	1336	78	6.1	3.7	1.1	56030.41	2.06	113621.1	2.71
1810	54	66.7	49.9	59.7	145	528	5.5	4.2	0.6	18451.45	3.56	65099.08	2.65
1910	88.2	94.9	78.3	83.6	1567	37	5.8	5.6	0.7	45550.07	2.99	134559.9	1.93
1921	78.5	87.3	70.5	76.8	645	119	7.6	6.1	0.6	22556.57	3.50	78295.08	2.29

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14: Estadísticas sectoriales, variables promedio 1997-2010

CIU	P-Eff	P-W-eff	P-nf_eff	P-nf_eff_w	Índice Herfindahl	Plantas	Inflación Producto	Inflación insumos	Inversión I+D/Producción	Capital por trabajador	Productividad del capital	Productividad del trabajo	Productividad materias primas
	%	%	%	%			%	%	%	COP Miles		COP Miles	
1926	90.9	95.4	78	83.9	799	31	7.4	7.2	1.71	46466.74	2.15	98008.16	1.89
1931	81.5	87.7	70	73.8	646	39	7.4	5.9	0.27	20024.87	4.20	83449.57	2.70
2010	82.8	88.6	70.5	75.4	3100	44	7.8	-2	0.93	27673.97	2.91	79134.22	5.99
2101	92.6	97.8	79.2	82.9	1089	32	4	7	2.03	456999.3	1.01	458765.9	2.07
2102	81.3	89.7	73.4	82.2	367	81	6.4	4.4	1.22	97135.98	2.80	269869.6	2.16
2109	83.1	90.1	74.1	75.4	988	67	6.4	5.2	2.01	201752.6	2.10	414234.2	2.47
2212	82.3	89.5	69.6	73.9	1604	29	11.9	4.7	0.96	215275.6	2.53	500373.9	6.78
2220	69.3	82.6	63	72.1	481	215	6.1	4.5	1.55	77473.52	1.80	139251.3	2.73
2411	80.2	88.7	68.3	74.4	599	70	9.9	10.1	1.46	221789	2.26	487312.5	2.37
2422	89	94.3	80.2	84.5	2065	42	6.3	7	0.88	107100.2	4.50	476172.8	1.42
2423	63	77.8	54.4	66.9	342	119	8.4	7.7	1.26	151664.4	3.18	470841.2	3.62
2424	68.5	87.7	59.4	73.7	910	111	6.6	6.9	0.78	102063.7	3.56	361683.6	2.49
2429	77.5	85.8	66.2	73.7	534	71	7.9	8.2	1.21	151419.6	3.33	498738.9	1.65
2519	83.8	89.7	71.5	75.5	1069	40	6.1	6.7	1.8	37453.15	2.26	81964.07	2.13
2521	78.6	90.6	70.1	81.8	397	111	6	7.3	1.67	143086.3	1.97	281743.2	1.71
2529	63.9	77	57.8	67.3	175	283	7.4	6.9	1.32	68308.76	2.20	150516.2	2.53
2610	84.7	94.1	74.4	80.4	1846	49	7.6	7	1.79	132701.1	1.62	199944	3.27
2693	77.9	91	66.1	73.4	1046	59	6.4	11.3	1.61	71074.8	1.43	99848.7	6.10
2694	90	93.5	75.2	81.3	1031	26	7	8.7	0.94	793027.9	0.92	722849.3	6.39

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15: Estadísticas sectoriales, variables promedio 1997-2010

CIU	P-Eff	P-W-eff	P-nf_eff_f	P-nf_eff_w	Índice Herfindahl	Plantas	Inflación Producto	Inflación Insumos	Inversión I+D/Producción	Capital por trabajador	Productividad del capital	Productividad del trabajo	Productividad materias primas
	%	%	%	%			%	%	%	COP Miles		COP Miles	
2695	78.3	89.6	70	79.5	359	96	6	6.6	2.06	94471.44	2.48	230375.1	1.87
2696	81.4	89.7	65.1	70.7	1123	27	5.4	9.2	2.51	79149.95	1.39	109200.9	3.29
2710	83.5	94.5	73.7	82.7	1541	72	14.3	10.8	2.33	196559.3	2.75	509366.7	2.50
2811	72.7	85.1	63.4	73.1	433	124	7.7	7.1	0.69	44018.05	3.70	160757.2	2.21
2899	73.1	86	65.7	75.2	276	174	9	8.2	1.1	59058.5	2.93	172184.7	2.16
2919	74.5	84.2	64.6	72.2	420	87	8.7	7.7	0.88	46590.03	2.95	135889.8	2.18
2925	86.6	90.4	74.4	77.9	680	27	13.5	11.9	0.72	38923.64	4.45	171995.9	2.63
2929	81.6	86.9	69.3	74.6	666	60	4.1	9.5	1.06	43832.99	1.57	68640.94	2.16
3110	89.1	95.7	73.5	81.1	2276	28	11.9	8.1	0.82	68500.7	4.48	298094.8	2.17
3150	87.6	96.3	70.4	76.1	1567	28	5.5	8.2	1.1	60236.22	2.16	115396.5	1.78
3190	82.1	91	68.7	71.1	2433	29	9.1	7.2	0.65	42402.12	3.89	158021.3	3.65
3311	86.2	94.4	72.3	78.7	1883	28	8.2	9.8	0.77	37812.39	2.47	90624.02	3.10
3420	81	89.1	69.5	76.4	1113	45	10.3	8.6	0.61	34051.68	4.97	162985.1	2.11
3430	79.6	89.9	69.7	79	589	79	9.3	6.9	0.83	50095.92	2.97	146882.9	2.47
3611	70.8	79.1	62.4	69.1	299	134	9.5	7.9	0.46	30133.24	2.55	75034.45	2.35
3612	84	91	74	80.3	667	50	7.4	9	0.69	37077.91	4.04	145939.5	1.82
3613	81.7	89.3	69.7	73.8	700	44	10	8.6	0.69	29771.23	3.19	91470.7	2.05
3699	74.2	82.4	64.3	70.9	565	89	9.4	7.7	0.72	34553.82	3.78	128131.9	2.88

Fuente: Elaboración propia

Bibliografía

Arbeláez M.A., Echavarría, J.J. & Rosales, M.F. (2006) "La Productividad y sus Determinantes: El Caso de la Industria Colombiana ", Borradores de Economía #374, Banco de la república de Colombia.

Atkinson, A. B. & Stiglitz, J. E. (1969). "A new view of technological change." *The Economic Journal* 79 (315): 573-578.

Bartelsman, E. J. & Doms, M. (2000). "Understanding productivity: Lessons from longitudinal microdata." *Journal of Economic Literature* 38 (3): 569-594.

Chieko Umetsu & Thamana Lekprichakul & Ujjayant Chakravorty, (2003). "Efficiency and Technical Change in the Philippine Rice Sector: A Malmquist Total Factor Productivity Analysis," *American Journal of Agricultural Economics, Agricultural and Applied Economics Association*, vol. 85(4), pages 943-963.

Crespi, G.A. & Iacovone, L. (2010). "Catching up with the technological frontier: Micro-level evidence on growth and convergence," *Industrial and Corporate Change*, Oxford University Press, vol. 19(6), pages 2073-2096, December.

Cooper, W.W., Seiford, L.M. & Taylor, J.Z. (2007) *Data Envelopment Analysis* (2da Ed.). Texas, EE.UU.: Springer Science+Business Media.

Eslava, M., Haltiwanger, J., Kugler, A. & Kugler, M. (2004) "The Effect of Structural Reforms on Productivity and Profitability Enhancing Reallocation: Evidence from Colombia", NBER Working Paper 10367.

Eslava, M., Galindo, A., Hofstetter, M. & Izquierdo A., (2010). "Scarring Recessions and Credit Constraints: Evidence from Colombian Firm Dynamics," *Documentos cede 007711*, Universidad de los Andes-CEDE.

Färe, R., Grosskopf, S., Norris, M. & Zhang, Z. (1994). "Productivity Growth, Technical

Progress and Efficiency Change in Industrialized Countries”. *American Economic Review*. (84). N° 1. 66-83.

Fernández, A. (2002) "Trade Policy, Trade Volumes and Plant-Level Productivity in Colombian Manufacturing Industries", *The World Bank, Policy Research Paper Series*, v.3064, The World Bank.

Foster, L., Haltiwanger, J. & Krizan, C. (2001). "Aggregate Productivity Growth: Lessons from Microeconomic Evidence." In *New Developments in Productivity Analysis*, ed. Charles R. Hulten, Edwin R. Dean, and Michael J. Harper, 303–63. Chicago and London: University of Chicago Press.

Grossman, G. & Helpman, E. (1991) *Innovation and Growth in the Global Economy*, Cambridge, Massachusetts: MIT Press.

Holmes, T., Levine, D. & Schmitz, J. (2008). "Monopoly and the Incentive to Innovate When Adoption Involves Switchover Disruptions." *National Bureau of Economic Research Working Paper* 13864.

Harberger, A. (1998). "A vision of the growth process." *American Economic Review* 88 (1): 1-32

Jerzmanowski, M. (2007). "Total factor productivity differences: Appropriate technology vs. efficiency," *European Economic Review* Vol.51, pp. 2080-2110.

Kumar, S. & Russell, R. (2002). Technological change, technological catch-up, and capital deepening: Relative contributions to growth and convergence. *American Economic Review* 92 (3), 527–548.

Krüger, J. (2003). "The Global Trends of Total Factor Productivity: Evidence from the Nonparametric Malmquist Index Approach." *Oxford Economic Papers* 55(2): 265-286.

Lee, H., Chu, C. & Zhu, J. (2011). "Super-efficiency DEA in the presence of infeasibility", *European Journal of Operational Research* Vol.212, pp. 141-147.

Maudos, J., J.M. Pastor & L. Serrano. (2000), Convergence in OECD countries: Technical change, efficiency and productivity, *Applied Economics*, 32(6), pp. 757-765.

Medina, P., Melendez, M. & Seim, K. (2003), "Productivity Dynamics of the Colombian Manufacturing Sector", CEDE, Universidad de los Andes.

Organization for Economic Cooperation and Development, OECD, (2009), *Measuring Capital: OECD Manual 2009 – Second Edition*

Pombo, C. (1999). *Productividad Industrial en Colombia: Una Aplicación de Números Índices*. Revista de Economía del Rosario.

Puyana, R. (2011). "El efecto Balassa-Samuelson en Colombia". Documentos cede xxxx, Universidad de los Andes–CEDE.

Ray, S. & Desli, E. (1997). "Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries: Comment." *American Economic Review* 87(5): 1033-1039.

Romer, P. (1990) "Endogenous technological change", *Journal of Political Economy*, Part 2, 98,5, 71-102.

Schmitz, J . (2005). "What Determines Productivity? Lessons from the Dramatic Recovery of the U.S. and Canadian Iron Ore Industries following Their Early 1980s Crisis." *Journal of Political Economy*, 113(3): 582–625.

Syversen, C. (2004). "Market Structure and Productivity: A Concrete Example." *Journal of Political Economy*, 112(6): 1181–1222.

Syversen, C. (2007). "Prices, Spatial Competition and Heterogeneous Producers: An Empirical Test." *Journal of Industrial Economics*, 55(2): 197–222.

Solow, R. (1957). "Technical change and the aggregate production function." *Review of Economics and Statistics* 39: 312-20.

Wölfl, A. (1998) "Spillover Effects – an Incentive to Cooperate in R&D?". Discussion Papers No 79. Halle Institute for Economic Research.