

Revista de Economía

ISSN: 0188-266X

[lilian.albornoz@uady.mx](mailto:lilian.albornoz@uady.mx)

Universidad Autónoma de Yucatán

México

Aguirre González, Medardo; Candia Campano, Claudio; Arenas Cornejo, Carolina;  
Espinosa Parada, Claudia

ANÁLISIS DE EFICIENCIA TÉCNICA EN EL SECTOR MANUFACTURERO CHILENO:  
UNA APROXIMACIÓN CON FRONTERAS ESTOCÁSTICAS DE PRODUCCIÓN

Revista de Economía, vol. 32, núm. 84, enero-junio, 2015, pp. 9-49

Universidad Autónoma de Yucatán

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=674070976001>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

# **ANÁLISIS DE EFICIENCIA TÉCNICA EN EL SECTOR MANUFACTURERO CHILENO: UNA APROXIMACIÓN CON FRONTERAS ESTOCÁSTICAS DE PRODUCCIÓN**

**TECHNICAL ANALYSIS OF EFFICIENCY IN THE CHILEAN  
MANUFACTURING: STOCHASTIC FRONTIER PRODUCTION APPROACH**

Medardo Aguirre González  
Universidad de Talca, Chile  
maguirre@utalca.cl

Claudio Candia Campano  
Universidad de Talca, Chile  
clcandia@utalca.cl

Carolina Arenas Cornejo  
Claudia Espinosa Parada  
Universidad de Talca, Chile  
ceoc@utalca.cl

## **RESUMEN**

Esta investigación analiza la eficiencia técnica de la industria manufacturera chilena, con metodología paramétrica de fronteras estocásticas de producción, con el fin de proponer un método complementario al clásico análisis de productividad. Para realizar el estudio se construyó un panel de datos a partir de la información provista por la Encuesta nacional industrial anual (ENIA) relativa a 96 clases productivas definidas según la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU) para el periodo 2000 - 2008. Los principales resultados indican que: 1) la eficiencia técnica disminuye significativamente durante el periodo señalado, con esto prueba la hipótesis general del trabajo, 2) la industria, durante el periodo evaluado, alcanza una eficiencia técnica anual promedio de 48.3% y 3) el trabajo es el factor productivo de mayor elasticidad en la industria seguido por el capital, la energía y los servicios.

**Palabras clave:** eficiencia técnica, manufacturas, fronteras estocásticas de producción.

**Clasificación JEL:** JEL: L6, O33, O40.

## ABSTRACT

This research analyzes the technical efficiency of manufacturing Chilean industry using the parametric methodology of stochastic frontier production functions in order to propose a complementary approach to the classical analysis of the productivity. To conduct this study a panel data was built with information provided by the Annual Industrial National Survey (ENIA, acronym in Spanish) which considers data for 96 productive groups defined according to the International Standard Industrial Classification of All Economic Activities (ISIC) (CIIU, acronym in Spanish) for the period 2000 - 2008. The main results indicate that: (1) the technical efficiency significantly decreases during the mentioned period proving with this the general hypothesis of the work, (2) the industry, during the assessment period, reaches an annual average of technical efficiency of 48.3%, (3) the labor is the productive factor of greater elasticity in the industry followed by the capital, energy and services.

**Keywords:** technical efficiency, manufacturing industry, stochastic frontier production functions

## 1. INTRODUCCIÓN

La industria manufacturera es uno de los sectores más importante de la economía chilena. Sin embargo, a pesar de su importancia actual, se identifica a partir de fines de la década de los noventa un descenso en su aporte relativo a la producción y al empleo, lo que se explica, en parte, por las pérdidas de productividad que ha tenido que enfrentar el sector.

Estas pérdidas de productividad, de acuerdo con diversas investigaciones, han tenido lugar debido a la baja flexibilidad microeconómica que Chile ha presentado desde los años 1998 – 2000, aproximadamente, hasta el día de hoy, para hacer frente a diversos tipos de choques negativos, lo que se ha traducido en un insuficiente ajuste de los factores productivos contratados en un escenario que amerita una capacidad distinta.



Tanto en Chile como en América Latina el análisis de evolución de la productividad se ha realizado principalmente a través del enfoque de la Productividad Total de Factores (PTF) con base en el método paramétrico del residuo de Solow, por lo que consideramos relevante utilizar un enfoque y método distinto. El enfoque propuesto en el presente trabajo es el de la eficiencia técnica y el método es el de fronteras estocásticas de producción, es decir, se propone estimar la evolución de la productividad a través del análisis de la eficiencia técnica a partir de una frontera productiva obtenida estadísticamente.

Es por esto que nuestro objetivo consiste en analizar la evolución de la eficiencia técnica en la industria manufacturera chilena para el periodo de estancamiento de la productividad (2000 - 2008), para así proponer una metodología complementaria al clásico análisis de evolución de la PTF. Es necesario, también, mencionar que el análisis se realiza con la intención de encontrar una disminución de la eficiencia técnica durante el periodo señalado, idea que constituye la hipótesis general del trabajo, ya que si ambos conceptos (PTF y eficiencia técnica) están fuertemente relacionados y se cuenta ya con amplia evidencia de la disminución de la PTF durante el periodo 2000 - 2008, entonces la eficiencia técnica también debería disminuir en esos años.

La primera parte del trabajo caracteriza a la industria manufacturera en términos generales así como a través de la evolución de su aporte a la economía chilena. La segunda parte revisa la forma habitual como, en Chile y en América Latina, se analiza la evolución de la PTF y además describe el análisis de fronteras estocásticas de producción como método de análisis de la eficiencia técnica y, por lo tanto, como alternativa de análisis de la evolución de la productividad. Más adelante se describen aspectos metodológicos para, posteriormente, dar cuenta de los principales resultados, dentro de los cuales se encuentran la evolución de la eficiencia técnica y la comparación de las elasticidades entre clases de mayor y menor eficiencia. Finalmente los resultados se discuten a través de la bibliografía relevante.



## 2. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

La siguiente sección describe la evolución del aporte de la industria manufacturera a la economía en Chile, así como las principales características de este importante sector en el país.

### 2.1. Aporte de la manufactura a la economía chilena

El sector manufacturero comenzó a desarrollarse en Chile aproximadamente a partir del año 1870. Como efecto de la alta capitalización derivada de las grandes riquezas mineras explotadas y al auge de la agricultura, durante años se acumuló conocimiento que permitió el desarrollo de fábricas manufactureras con el fin de crear bienes de capital que la minería y agricultura necesitaban en sus procesos.

Desde entonces el sector manufacturero comenzó a crecer paulatinamente y a representar un aporte cada vez más grande al PIB y al empleo nacional, en comparación a otros sectores económicos, convirtiéndose así en un sector fundamental con una clara identidad relacionada con la agregación de valor a insumos con el fin de transformarlos en productos finales o intermedios.

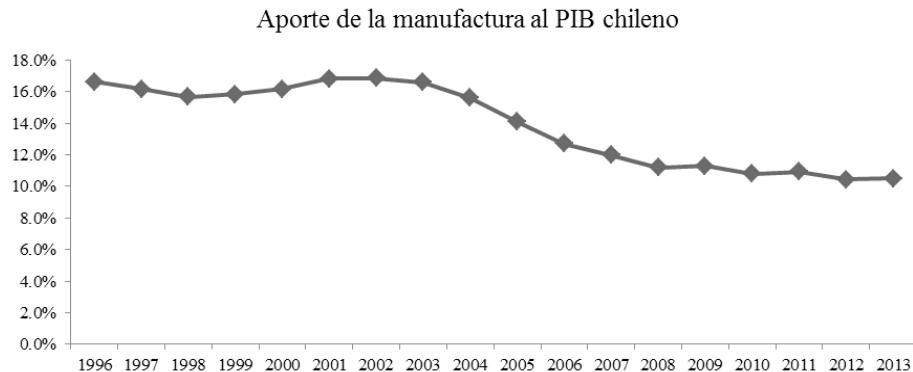
Es así como según la CIIU la industria manufacturera presenta una primera clasificación en clases, una segunda en grupos y una tercera en divisiones, en el entendido de que una división reúne un conjunto de grupos, los que a su vez concentran un conjunto de clases. De esta manera, al agrupar algunas de las divisiones de la industria se pueden identificar los siguientes subsectores: 1) alimentos, 2) bebidas y tabaco, 3) textiles, prendas de vestir, cuero y calzado, 4) maderas y muebles, 5) celulosa, papel e imprentas, 6) refinación de petróleo 7) química, caucho y plástico, 8) minerales no metálicos y metálica básica y 9) productos metálicos, maquinaria, equipo y resto.

Hasta aproximadamente comienzos de la década del 2000 la importancia relativa en términos del aporte al PIB de este sector se mantenía alto y relativamente estable en torno a 17%; sin embargo, luego del periodo señalado la importancia del sector presenta una disminución progresiva, como se observa en la gráfica 1, actualmente representa entre 10% y 11% del PIB, y un



porcentaje muy parecido en términos de empleo, al aportar aproximadamente 12% de las plazas de trabajo en Chile. Su contribución al empleo convierte a la manufactura en el segundo sector más importante en estos términos.

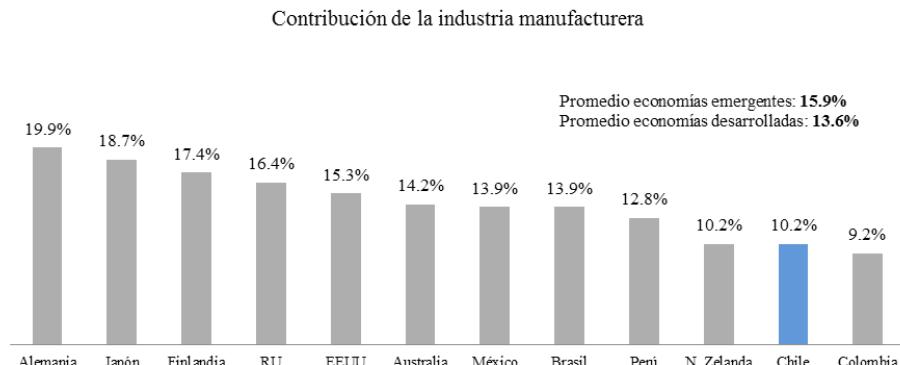
**Gráfica 1.** Evolución de aporte relativo de la industria manufacturera al PIB en Chile



**Fuente:** elaboración propia con datos del Banco Central de Chile.

La disminución de la importancia relativa de la manufactura en Chile la sitúa, respecto con su aportación al PIB, por debajo del promedio de países emergentes (15.9%) y desarrollados (13.6%), como lo muestra la gráfica 2.

**Gráfica 2.** Comparación internacional del aporte relativo de la industria manufacturera



**Fuente:** Asociación de industrias metalúrgicas y metalmecánicas (ASIMET).



A pesar de la fuerte disminución de la contribución, en términos de producción y empleo de la manufactura a la economía nacional, este sector sigue siendo muy importante, de hecho su aportación al PIB nacional transforma actualmente al sector manufacturero en uno de los tres sectores más influyentes en la economía chilena, lo cual genera interés para investigar las causas de la disminución en su contribución.

Si bien el crecimiento de otros sectores de la economía chilena es una causa de la disminución del aporte relativo de las manufacturas, también lo es la pérdida de productividad que enfrenta el sector desde los años cercanos al 2000, misma que coincide con la pérdida de productividad de la economía chilena en su conjunto.

Es por esto que, al conocer a priori la disminución de la productividad de la industria manufacturera durante el periodo 2000 - 2008, la hipótesis general a probar en el presente trabajo es la disminución de la eficiencia técnica de este importante sector de la economía chilena durante el periodo. Esto ante la estrecha relación teórica y empírica entre productividad y eficiencia.

## 2.2. Características generales de la industria

Los siguientes antecedentes representan características generales de la industria manufacturera chilena obtenidas, para años específicos, principalmente a partir de la Encuesta Nacional Industrial Anual (ENIA), del Banco Central de Chile (BCCh) y de la Sociedad de Fomento Fabril (SOFOFA). Los subsectores más importantes lo constituyen la manufactura de alimentos, bebidas y tabaco, representa aproximadamente 38% de la producción del sector, seguido por la producción de químicos, petróleo, caucho y plástico con alrededor de 20% y después por los productos metálicos, maquinarias y equipos con 19 por ciento.

En relación con el tipo de propiedad, las empresas de carácter doméstico (94%) superan ampliamente a las de propiedad extranjera (6%), mientras que respecto a su orientación se tiene un predominio de las empresas no exportadoras (79%) en relación con las exportadoras (21%). Los principales productos exportados por este último sector, dentro de la industria manufacturera, son salmones (22%), celulosa (22%), vinos (13%), refinados y derivados de

petróleo (11%), en tanto que sus principales destinos están representados por Asia (27%), Nafta (19%), Europa (18%), Comunidad Andina (14%), Mercosur (12%), África y Oceanía (6%) y Centro América y el Caribe (3%).

En relación con su tamaño se observa un predominio de las pequeñas empresas con menos de 50 trabajadores (67%), seguidas de las medianas con entre 50 y 149 trabajadores (21%) y al final las grandes con 150 o más trabajadores (12%).

Adicionalmente, en relación con los factores productivos utilizados, se observa en general una mayor intensidad del factor trabajo y menor en capital junto con un alto costo de la energía durante los últimos años.

### **3. REVISIÓN LITERARIA Y MARCO TEÓRICO**

La siguiente sección revisa los enfoques y métodos habituales existentes para el análisis de la productividad, para luego mostrar evidencia relacionada a estos enfoques en Chile y en América Latina, posteriormente explica la relación entre PTF y eficiencia técnica y finalmente describe el método de fronteras estocásticas de producción como método de análisis de la eficiencia técnica.

#### **3.1. Enfoques y métodos para el análisis de la productividad**

Para el análisis de la productividad se identifican dos enfoques, el de productividad parcial (PP) y el de productividad total de factores (PTF). El primero compara los cambios en el producto total vinculado con cambios de factores productivos específicos, como lo puede ser el capital y el trabajo, y observar de esta forma productividades individuales para trabajo y capital; por su parte el enfoque de la PTF compara los cambios en el producto total vinculado con cambios en todos los factores productivos. Dadas las limitantes de los indicadores parciales de productividad los economistas se han concentrado principalmente en la PTF que, matemáticamente, se entiende como el cociente entre alguna función que agrega las salidas y alguna función que agrega las entradas de los procesos productivos.



En relación con los métodos, se identifican dos principales caminos para el análisis de la productividad, el paramétrico y el no paramétrico. Los métodos paramétricos definen una función de producción con parámetros a ser estimados con metodología estadística; los métodos no paramétricos definen, en general, una función de producción cuyos indicadores de productividad son el resultado de la aplicación de programación matemática a un problema de optimización.

Dentro del enfoque de la PTF, los métodos más utilizados son el del residuo de Solow (paramétrico) y el del índice de Malmquist con análisis envolvente de datos (no paramétrico). El método del residuo de Solow considera la PTF como una variable no observable en forma directa, que representa la parte de la producción que no puede ser explicada por los factores productivos utilizados. Por lo tanto, el método establece que para calcular la PTF es necesario hacer un supuesto respecto de la función de producción, es decir, utilizar una aproximación matemática a la forma en que se combinan los factores en la producción de bienes y servicios para, posteriormente, estimar el residuo que representará a la PTF. Es por ello que, de acuerdo con Solow (1957), esta medida residual en realidad representa “una medida de nuestra ignorancia”.

El índice de productividad Malmquist (IPM) fue introducido por Caves, Christensen y Diewert (1982) inspirados en el trabajo de Malmquist (1953), y ha evolucionado a través de propuestas como las de Färe *et al.* (1992) y las de Färe et al. (1994), que han permitido un análisis más detallado de la productividad. El IPM requiere el cálculo de funciones de distancia, lo cual se lleva a cabo, por lo general, con el método de análisis envolvente de datos (DEA, por sus siglas en inglés), mismo que fue propuesto por Charnes, Cooper y Rhodes (1978) y consiste en construir una frontera tecnológica con las unidades productivas que tienen las mejores prácticas en relación con las otras unidades. Esta frontera permite definir medidas de productividad mediante el cálculo de las distancias entre cada unidad productiva y dicha frontera.



### **3.2. Análisis de la productividad en Chile**

De acuerdo con diversos autores existe en la actualidad un preocupante diagnóstico sobre las escasas ganancias de productividad total de los factores (PTF) en la economía chilena, en forma global y en la mayoría de sus sectores, durante los últimos años. Al analizar en el tiempo la evolución de la PTF para la economía chilena diversas investigaciones observan un punto de inflexión en su tasa de crecimiento algunos años antes del 2000. Según Fuentes, Gredig y Larraín (2008) a partir del año 1998 la PTF de la economía chilena sufrió un quiebre estructural que dió fin a los llamados “años de oro” del crecimiento (1986 - 1997) y mostró, a partir de dicho quiebre, una tasa de crecimiento muy baja. Según los autores, para el primer periodo la tasa de crecimiento anual de la PTF era de 3.1% y para el periodo 1998 - 2007 de 0.6%.

Información similar se observa en Magendzo y Villena (2012). Según los autores el comité de expertos del PIB tendencial del Ministerio de Hacienda en el año 2010 estimó una tasa de crecimiento promedio anual de la PTF en el periodo 1991 - 1997 igual a 3.1% y de -0.1% durante 1999 - 2007. Descenso que hubiera sido considerablemente mayor, con una tasa inferior a -2% para el segundo periodo, de haber considerado en el cálculo los años de crisis 1998, 2008 y 2009.

A partir de la reducción en la tasa de crecimiento de la PTF se han realizado múltiples investigaciones, entre las cuales se encuentran: De Gregorio (1997), Rojas, López y Jiménez (1997), Roldós (1997), Coeymans (1999), Chumacero y Fuentes (2002), Bergoeing et al. (2002), Beyer y Vergara (2002), Contreras y García (2002), Gallego y Loayza (2002), Álvarez y Fuentes (2004), Caballero, Engel y Micco (2004), Álvarez y López (2005), Fuentes, Larraín y Schmidt-Hebbel (2006), Vergara y Rivero (2006), Chumacero y Fuentes (2006), Álvarez, García y García (2008), Schwellnus (2010), Álvarez y Fuentes (2011), Fuentes y Morales (2011) y Fuentes (2011).

Al revisar las investigaciones antes mencionados, si bien se observan diferentes matices metodológicos, la forma de cálculo para la PTF es prácticamente la misma siempre, procedimiento que fue propuesto por primera vez en Solow (1957) y que se conoce como el “residuo de Solow”.



Magendzo y Villena (2012) corroboran lo anterior al señalar también que esta es la metodología estándar utilizada por los países desarrollados y por prácticamente todos los estudios aplicados a Chile. De acuerdo con los mismos autores, los estudios más importantes para el caso chileno establecen una función de producción simple del tipo Cobb - Douglas que permite establecer el residuo a estimar como:

$$A = \frac{Y}{K^\alpha L^{1-\alpha}}$$

Donde Y representa la producción agregada del país (el PIB), K representa el stock de capital utilizado, L la cantidad de trabajo empleado y  $\alpha$  permite estimar la participación de cada factor en los ingresos totales. Todas las variables son medidas a precios constantes de un año base.

### 3.3. Análisis de la productividad en América Latina

El análisis de la evolución de la productividad en América Latina durante las últimas décadas tiene un claro enfoque y método. Igual que para el estudio de la productividad en Chile, el enfoque es el de la PTF y el método es el paramétrico del residuo de Solow (Benavente, 2009). También es importante destacar que, para esta región, el estudio de la PTF ocupa actualmente un lugar importante en la investigación económica, ya que, según diversos autores, es la principal causa del bajo crecimiento económico de las últimas décadas (Bosworth y Collins, 2003), especialmente en la década de los ochenta, tal como lo indican Loayza, Fajnzylber y Calderón (2004). Otra causa del importante rol que juega la evolución de la PTF dentro de la investigación es su correlación con otras variables de interés económico en América Latina.

Un ejemplo de lo anterior lo constituye el trabajo de Blyde, Daude y Fernández-Arias (2010), quienes analizan la relación de largo plazo entre fuertes caídas del nivel de producción (colapsos) y la PTF (calculada a través del residuo de Solow en una función Cobb - Douglas) para 71 economías desarrolladas y en vías de desarrollo durante el periodo 1960 - 2003. Los principales resultados indican que los colapsos se asocian sistemáticamente a pérdidas o destrucción de la PTF de largo plazo y se concentran



en países en vías de desarrollo, especialmente de África y América Latina, con especial auge en esta última región durante la década de los ochenta, también llamada década de la crisis de deuda o “década perdida”. Además, muestran que el típico país latinoamericano experimentó, aproximadamente, dos colapsos durante estas cuatro décadas.

En la misma dirección, según el Banco Interamericano del Desarrollo (2010) durante el periodo 1994 - 2008, si bien los países de América Latina y el Caribe registraron avances en algunos indicadores económicos y sociales, el crecimiento económico de la región, desde una perspectiva de largo plazo, ha quedado rezagado en relación con otras economías emergentes y desarrolladas. La causa de ello, más que los impedimentos a la acumulación de factores (capital físico y humano) sería un déficit crónico de crecimiento de la productividad, caracterizado por una PTF (calculada a través del residuo de Solow) baja y estancada. Según las estimaciones obtenidas en la investigación, la productividad de América Latina asciende a cerca de la mitad de su potencial y no se está ubicando a la par de la frontera de productividad, lo que, desde una perspectiva internacional, ha generado un aumento en las brechas de ingresos con el resto del mundo.

En la misma dirección, Lugones, Gutti y Le Clech (2007) analizan los avances en materia de cambio tecnológico logrados por un conjunto de países de América Latina y el Caribe durante los años 1972 - 2003, periodo que en sus últimas dos terceras partes (15 a 20 años) está caracterizado por la expansión del comercio internacional y la atracción de inversión extranjera directa (IED) hacia la región. Como parte de la investigación se llevó a cabo un análisis de la PTF y se construyó un grupo específico de indicadores cuantitativos para medir la evolución de las capacidades tecnológicas de los distintos países. Los resultados indican que, durante las tres décadas consideradas en el estudio, la tasa de crecimiento de la PTF ha sido relativamente reducida con respecto a la economía estadounidense y muy por debajo de algunas economías asiáticas de referencia. Más aún, si se promedian las tasas de crecimiento de los 18 países latinoamericanos para el periodo 1972 - 2003 el resultado es de -0.13 por ciento.

Un análisis similar, aunque para el periodo inmediatamente posterior, se realiza en Coremberg (2012), en él se indica que a pesar del auge de pre-



cios de exportación de productos básicos de comienzos del siglo XXI, que permitió a América Latina una importante recuperación económica respecto de la crisis de fines de la década de 1990, la región presentó un lento avance de la productividad a diferencia de otras regiones dependientes de recursos naturales, con esto cuestiona la sostenibilidad del crecimiento latinoamericano. Los principales resultados muestran que la PTF de la región demostró un dinamismo escaso de 0.6% anual durante la recuperación cíclica 2002 - 2008, aunque si se extendiera el análisis hasta 2011 el crecimiento anual de la PTF sería nulo (0%), muy por debajo de otras regiones en vías de desarrollo como China e India, el resto de Asia, África y Europa del este, incluidos Rusia y otros países anteriormente soviéticos, que, en conjunto, promediaron un crecimiento de la PTF de 1.8% anual. Esto demuestra que el nivel de PTF de la región hacia el año 2011 es aún menor que el nivel del año 1998 (nivel máximo alcanzado durante la década de los noventa) y que durante el periodo 2002 - 2008 creció sólo medio punto porcentual por año, principalmente impulsados por las mejoras de Perú, Venezuela, Bolivia, Ecuador y Uruguay, que, sin embargo, fueron compensadas en parte por el menor crecimiento relativo de Colombia y Argentina y las caídas de países importantes de la región como Brasil, Chile y México.

Por otra parte, en relación con el estudio de la productividad y algunas variables de interés económico para la región, se tiene a González y Delbianco (2011) quienes intentan medir el grado de correlación entre la apertura al comercio internacional y la PTF de largo plazo (calculada a través del residuo de Solow) de 20 economías Latinoamericanas y Caribeñas durante los 46 años comprendidos entre 1960 y 2005. Los resultados muestran que los choques observados en el nivel de la PTF, en general, no serían consecuencia de los cambios abruptos en las políticas comerciales (tanto cierre como apertura), de hecho los casos de quiebre de niveles de la PTF durante el proceso de consolidación de la apertura en la región (1985 - 1995) no resultan significativos. Según los autores, dichos quiebres (tanto potenciales como significativos), coinciden con la crisis del petróleo 1973/1974 y 1979/1980 y la crisis mexicana de 1982.

En esta orientación también se observa a Ramírez y Aquino (2005), quienes analizan empíricamente los efectos de periodos de crisis de infla-



ción (alta inflación y volatilidad de la inflación) comprendidos en el periodo 1961 - 2000 sobre el crecimiento de la PTF (calculada a través del residuo de Solow) para 18 países de Latino América. Los resultados muestran que en la mayoría de los países latinoamericanos la tasa de crecimiento de la PTF alcanzó sus mayores caídas en la década de los ochenta (“la década perdida”), observándose, además, una relación negativa en el largo plazo entre alta inflación y el crecimiento de la productividad, así como también entre la volatilidad de dicha inflación y el crecimiento de la productividad.

Finalmente, dentro del estudio de la PTF, específicamente de la industria manufacturera latinoamericana, destaca la investigación de Ibarrarán, Maffioli y Stucchi (2009), quienes con datos recopilados por la Encuesta a Empresas del Banco Mundial (WBES, por su siglas en inglés) para el año 2006 (y en algunos casos 2003) para 16 países de América Latina y el Caribe analizan los determinantes y la magnitud de la brecha de productividad entre empresas grandes y las medianas y pequeñas. Los resultados muestran, junto con el reconocimiento de la brecha de productividad entre empresas de distinto tamaño, que las políticas para pequeñas y medianas empresas pueden mejorar la PTF (calculada a través del residuo de Solow) en la región, siempre que vayan en la dirección de mejorar aquellos componentes que explican las diferencias de productividad con las empresas grandes.

### **3.4. Eficiencia técnica y PTF**

Por otra parte, de acuerdo con diversos autores, la PTF mide o refleja el progreso tecnológico y las mejoras de eficiencia en los procesos productivos. En esta dirección, por ejemplo, Harberger (1998) y Prescott (1997) relacionan el crecimiento de la PTF con el avance tecnológico y la eliminación de restricciones que permite a las firmas producir más eficientemente.

Como se puede establecer una relación conceptual clara entre PTF y eficiencia, relación que establece la existencia de procesos más productivos ante el uso más eficiente de los factores, el objetivo del presente trabajo consiste en analizar la evolución de la eficiencia técnica en un sector específico de la economía chilena que presente información disponible y un comportamiento parecido a la economía chilena en su conjunto, para el



periodo de estancamiento de la PTF (2000 - 2008), para así proponer una metodología complementaria al clásico análisis de evolución de la PTF anteriormente descrito. Es necesario mencionar que, si bien la metodología que se propone ha sido ampliamente utilizada en Latino América, no hay evidencias de un vínculo empírico con la evolución de la PTF.

### **3.5. Fronteras estocásticas de producción y eficiencia técnica**

Aunque la eficiencia técnica puede ser definida de diferentes maneras (ver, por ejemplo, Färe, Grosskopf y Lovell, 1985), en la mayoría de la literatura económica es considerada, en términos de una unidad para un periodo de tiempo específico, como el cociente entre la producción media (condicionada al nivel de factores productivos) y la producción media que la firma tendría si utilizara estos factores de la manera más eficiente posible (ver Battese y Coelli, 1988). Es por esto que existe la idea de estimar el nivel de eficiencia técnica de una empresa a través de una comparación de su producción media efectiva con la producción media de una frontera productiva que representa la eficiencia técnica óptima.

Igual que en el caso del análisis de productividad, los métodos a utilizar para el análisis de eficiencia técnica se dividen en paramétricos y no paramétricos. De acuerdo con Tybout (2000) la diferencia entre ambos métodos radica en el uso de técnicas econométricas (paramétricos) o técnicas de programación matemática (no paramétricas) en la construcción de la frontera productiva, mientras que Din, Ghani y Mahmood (2007) indican que la diferencia de estos métodos radica en la utilización o no de una forma funcional específica, la metodología paramétrica es la que requiere de una. Para detalles adicionales se puede revisar Greene (1993a), donde se cuenta con un resumen metodológico para el análisis de eficiencia.

Si bien esta función frontera se puede alcanzar de manera paramétrica o no paramétrica, la presente investigación utiliza el primero de dichos métodos, es decir, la estimación paramétrica de una función de producción frontera.

Antes de alcanzar una especificación generalmente aceptada de esta función frontera paramétrica han existido diferentes aproximaciones para llegar a ella, sin embargo, sólo se alcanzó con el modelo de fronteras estocás-



ticas de producción. Este modelo fue propuesto por primera vez, de manera independiente, por Aigner, Lovell y Schmidt (1977) y Meeusen y Van den Broeck (1977), y su especificación considera una función de producción para datos de corte transversal y dos componentes aleatorios, uno asociado con la presencia de ineficiencia técnica y el otro con el error aleatorio tradicional.

Esta especificación se utilizó en un vasto número de aplicaciones empíricas y fue alterada y extendida de distintas maneras, y se corrobora al revisar a Forsund, Lovell y Schmidt (1980), Pitt y Lee (1981), Kalirajan (1981), Schmidt (1986), Bauer (1990), Kumbhakar, Ghosh y McGuckin (1991), Reifschneider y Stevenson (1991), Battese (1992), Greene (1993b), Huang y Liu (1994), Battese y Coelli (1988) y Battese, Coelli y Colby (1989).

Aunque es recomendable revisar las investigaciones recién citadas para conocer determinados aspectos sobre los cuales la especificación original de la frontera estocástica de producción ha sido modificada es necesario conocer en detalle dos investigaciones fundamentales en el campo de la eficiencia técnica, cuya virtud consiste en recolectar, complementar y mejorar las especificaciones generadas a partir de modificaciones a la definición original del modelo propuesta independientemente por Aigner, Lovell y Schmidt (1977) y Meeusen y Van den Broeck (1977).

Estos trabajos son Battese y Coelli (1992,1995). Su similitud radica en que ambas definiciones de la función frontera postulan la existencia de ineficiencia técnica en la producción de unidades productivas, mientras que su diferencia consiste en que sólo la definición de Battese y Coelli (1995) formula explícitamente un modelo complementario para explicar dicha ineficiencia a través de variables exógenas apropiadas. Como la presente investigación no intenta entender las variables que explican la ineficiencia, sino más bien su cambio mediante las diferentes unidades productivas y el tiempo, se utilizará la especificación de Battese y Coelli (1992).

En Battese y Coelli (1992) se propone un procedimiento de dos etapas, primero se especifica y estima una frontera estocástica de producción y luego se estima la eficiencia técnica.

La frontera estocástica de producción se especifica para un panel de datos que presenta a la ineficiencia técnica de las unidades productivas como

una variable aleatoria que se asume distribuida de manera normal truncada, que además varía con el tiempo. El modelo puede ser expresado como:

$$Y_t = x_t \beta + v_t - \mu_t \quad (1)$$

y

$$\mu_t = \eta_i \mu_i = \exp[-\eta(t-T)] \mu_i, t \in g(i) \quad i = 1, 2, \dots, N; \quad (2)$$

Donde  $Y_{it}$  es la producción (o su logaritmo) de la unidad  $i$  en el periodo  $t$ ;  $x_{it}$  es un vector  $k \times 1$  que mide las cantidades de factores productivos de la unidad  $i$  en el periodo  $t$ ;  $\beta$  es un vector de parámetros desconocidos; los errores aleatorios  $v_{it}$  se asumen independientes e idénticamente distribuidos  $N(0, \sigma^2_v)$ , los valores  $\mu_i$  miden la ineficiencia técnica y se asumen distribuidos de manera independiente e idéntica a través del truncamiento no negativo de la distribución  $N(\mu, \sigma^2_\mu)$ ,  $\eta$  es un parámetro a ser estimado y  $g(i)$  representa el set de los períodos  $T_i$  entre los  $T$  períodos considerados, para los cuales se obtienen observaciones para las  $i$  unidades.

Luego, para estimar la frontera estocástica de producción mediante estimadores máximo verosímiles se debe utilizar la reparametrización sugerida por Battese y Corra (1977), la cual consiste en reemplazar  $\sigma^2_v$  y  $\sigma^2_\mu$  con  $\sigma^2 = \sigma^2_v + \sigma^2_\mu$  y  $\gamma = \sigma^2_\mu / (\sigma^2_v + \sigma^2_\mu)$  donde el parámetro  $\eta$  debe estar entre 0 y 1 para así dar un buen valor de partida para usarlo en un proceso iterativo de maximización.

Finalmente, el logaritmo de la función de verosimilitud (presentado en el apéndice en Battese y Coelli, 1992) se expresa en términos de los parámetros  $\beta$ ,  $\sigma^2$ ,  $\gamma$  y  $\eta$  y los estimadores máximo verosímiles se obtienen a través de la derivación parcial de la función con respecto a dichos parámetros.

Con el fin de realizar una estimación de la eficiencia técnica, dadas las ecuaciones (1) y (2), se puede demostrar (ver el anexo de Battese y Coelli, 1992) que el estimador con menor error cuadrático medio de la eficiencia técnica de la unidad  $i$  en el periodo  $t$  es:

$$E[\exp(-\mu_i) | E_i] = \left\{ \frac{1 - \varphi[\eta_i \sigma_i^* - (\mu_i^* / \sigma_i^*)]}{1 - \varphi(-\mu_i^* / \sigma_i^*)} \right\} \exp\left[-\eta_i \mu_i^* + \frac{1}{2} \eta_i^2 \sigma_i^{*2}\right] \quad (3)$$

Donde  $E_i$  representa el vector ( $T \times 1$ ) de los valores  $E_{it}$  asociados con los periodos observados por la unidad  $i$ , donde  $E_{it} = v_{it} - \mu_{it}$ .

$$\mu_i^* = \frac{\mu\sigma_v^2 - \eta'_i E_i \sigma}{\sigma_v^2 + \eta'_i \eta_i \sigma_\mu^2} \quad (4)$$

$$\sigma_i^{*2} = \frac{\sigma_v^2 \sigma_u^2}{\sigma_v^2 + \eta'_i \eta_i \sigma_\mu^2} \quad (5)$$

Donde  $E_i$  representa el vector ( $T \times 1$ ) de los valores  $E_{it}$  asociados con los periodos observados por la unidad  $i$  y  $\varphi$  representa la función de distribución de probabilidad normal estandarizada.

### 3.6. Fronteras estocásticas de producción en América Latina

Al revisar la metodología de investigación económica en América Latina se observa un gran número de aplicaciones (especialmente en Colombia y Chile) de las fronteras estocásticas de producción para la solución de problemas de eficiencia técnica. En un punto vista latinoamericano destaca el trabajo de Pinilla, Jiménez y Montero (2014), que mide la eficiencia del gasto público durante el periodo 1990 - 2009 en 17 países de la región, así como el de Ferro, Covelli y Romero (2010) quienes estudian la eficiencia en el sector sanitario durante el periodo 2003 - 2008 para 13 países de América Latina.

Por otra parte, algunas de las aplicaciones de las fronteras estocásticas en los países donde este método ha tenido un mayor auge (Colombia y Chile) son: 1) Colombia, Melo y Espinoza (2004) con la eficiencia en la distribución de energía eléctrica en 20 empresas; Perdomo y Hueth (2010) con la eficiencia de la producción cafetera en tres regiones del país para 999 fincas; Mutis (2006) con la eficiencia de 113 hospitales de nivel II; Acevedo y Ramírez (2005) con la eficiencia en el sector de confecciones y 2) Chile, Vergara (2003) y Carreño, Loyola y Portilla (2010) con la eficiencia de la banca chilena; Peña, Basch y Vergara (2003) con la eficiencia en la pesca pelágica en Chile para 204 embarcaciones y Santos et al. (2006) con la eficiencia de 118 productores de papa en Chile, entre otros.



A pesar del reiterado uso del método, es necesario reconocer en estas aplicaciones dos aspectos comunes que restringen su potencial: 1) este método nunca ha sido vinculado de forma complementaria al análisis de la evolución de la PTF en un grupo de unidades productivas y 2) el tamaño del grupo de unidades productivas al que se ha aplicado el método, por lo general, es muy reducido (conjuntos de hospitales, bancos, predios agrícolas, empresas sanitarias, embarcaciones, etc.). Por lo tanto, difícilmente han alcanzado el tamaño de un sector económico importante en términos de su aporte al PIB. Es así que la aplicación de las fronteras estocásticas de producción a la industria manufacturera en Chile y la vinculación de los resultados obtenidos (evolución de la eficiencia técnica) con la evolución de la PTF resulta novedoso.

## 4. METODOLOGÍA

La siguiente sección describe las etapas de investigación, la fuente de datos, las variables utilizadas, el tratamiento de datos para lograr un panel de datos balanceados y comparables, el método de estimación y la forma funcional considerada.

### 4.1. Etapas de la investigación

La investigación cuenta con una primera etapa exploratoria, correspondiente a la revisión bibliográfica, luego una segunda descriptiva, en la cual se analiza de manera individual el comportamiento de variables relativas a la producción manufacturera y finalmente una tercera de tipo causal, materializada a través de la especificación y estimación de una frontera eficiente de producción e índices de eficiencia técnica.

### 4.2. Fuente de datos

Para el desarrollo de la investigación se utiliza como fuente de datos secundaria la Encuesta Nacional Industrial Anual (ENIA) del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), la cual recoge anualmente información de alrededor de 4 670 establecimientos manufactureros, clasificados se-



gún tamaño y tipo de actividad de acuerdo con el sistema de Clasificación Internacional Industrial Uniforme (CIIU). Esta fuente permitió construir un panel de datos que considera observaciones anuales (2000 - 2008) para empresas manufactureras agrupadas en 96 clases (según CIIU) en el país.

### 4.3 Descripción de variables

La construcción de una frontera eficiente mediante el modelo especificado anteriormente requiere de una variable endógena explicada a partir de distintas variables exógenas. Como variable endógena (o dependiente) se tiene al nivel de producción ( $Y_{it}$ ), estimado a partir del valor agregado, mientras que como variables exógenas se encuentran diferentes factores productivos como lo el trabajo ( $L_{it}$ ), el capital ( $K_{it}$ ), la energía ( $E_{it}$ ), los servicios ( $S_{it}$ ) y los insumos ( $I_{it}$ ). El cuadro 1 resume la descripción de las variables que incluye símbolo, nombre, forma de medición y unidades de medidas.

**Cuadro 1.** Descripción de variables

Simbolo	Nombre	Forma de medición	Unidades de medida
$Y_{it}$	Producción	Valor agregado de la producción para la clase $i$ en el periodo $t$	Miles de pesos chilenos
$L_{it}$	Trabajo	Remuneración pagada a los trabajadores para la clase $i$ en el periodo $t$	Miles de pesos chilenos
$K_{it}$	Capital	Suma del saldo de los activos fijos al final del periodo para la clase $i$ en el periodo $t$ , lo cual incluye inversiones en terrenos, maquinarias y otro tipo de activos fijos	Miles de pesos chilenos
$E_{it}$	Energía	Valor neto total de combustibles utilizados en la clase $i$ en el periodo $t$	Miles de pesos chilenos
$S_{it}$	Servicios	Total de gastos por servicio de la clase $i$ en el periodo $t$ (considera principalmente servicios de transporte)	Miles de pesos chilenos
$I_{it}$	Insumos	Materias primas traspasadas e importadas por la clase $i$ en el periodo $t$	Miles de pesos chilenos

Fuente: elaboración propia.



#### 4.4. Tratamiento de los datos

Al intentar construir un panel de datos balanceado que permita comparar las variables consideradas, y así poder estimar una frontera eficiente, se identifican dos problemas que es necesario soslayar. La primera dificultad consiste en la falta de información para algunas unidades transversales (clases según CIIU) para algunos de los años del periodo considerado, mientras que la segunda es que la medición de las variables está en unidades monetarias corrientes (miles de pesos de cada año). Para resolver esto, al pensar en un panel de datos balanceado, se identifican y seleccionan sólo las clases comunes para las que existe información para cada año del periodo 2000–2008, y luego, para obtener valores comparables, se utilizan deflactores específicos para cada variable que permitan expresar los valores en unidades monetarias de un año base (año 2008), para mayor detalle ver cuadro 2.

**Cuadro 2.** Deflactores por variable

Variable	Deflactor
Valor Agregado (VA)	Índice de precios al por mayor (IPM) general
Trabajo (L)	Índice de remuneración (IR) pagadas
Capital (K)	Índice de precios al por mayor (IPM) capital
Energía (E)	Índice de precios al consumidor (IPC) de combustibles
Servicios (S)	Índice de precios al consumidor (IPC)
Insumos (I)	Índice de precios al por mayor (IMP) intermedio

**Fuente:** elaboración propia.

El cuadro 3 muestra el nivel de representatividad de las clases comunes como parte de la división a la cual pertenecen, nivel que fluctúa entre 64 y 100 %, de acuerdo con la división, al entender que el conjunto de las clases utilizadas considera 96,3% del valor agregado de la industria manufacturera.

**Cuadro 3.** Representatividad de las clases comunes

<b>Divisiones</b>	<b>VA aportado por cada división</b>	<b>VA aportado por las clases utilizadas de cada división</b>	<b>Porcentaje representado</b>
	(miles de pesos chilenos)	(miles de pesos chilenos)	
15	5137362634	4872362117	94.84
17	216527524.6	205581596	94.94
18	193531406.5	193531407	100
19	179392685.6	172745191	96.29
20	1010294689	998196484	98.8
21	1526800832	1487887894	97.45
22	216617874.1	215633341	99.55
24	4697112045	4684437265	99.73
25	646795690.1	645890937	99.86
26	471302862.9	438192660	92.97
27	21977503790	21977503790	100
28	554971668.9	543444752	97.92
29	485030717.2	422092131	87.02
31	93273246.01	59817617	64.13
33	14283042.83	14283043	100
34	64059787.26	62303201	97.26
35	103536592.6	103536593	100
36	172566806.4	163317664	94.64
Total	38759593469	37260757680	96.13

Fuente: elaboración propia.

#### **4.5. Frontera estocástica de producción como método de análisis**

Como el error total del modelo no se distribuye en forma normal, ya que el componente asociado a la ineficiencia  $\mu_i$  no se distribuye de esta manera, no se puede utilizar el método de los mínimos cuadrados ordinarios (MMCO). Por lo tanto, como alternativa a la estimación de la función frontera, dentro de los posibles métodos de estimación identificados en la literatura, surgen la metodología clásica para estimar modelos con datos de panel (efectos fijos y aleatorios), el método de los mínimos cuadrados ordinarios modificados (MCOM) y el método de máxima verosimilitud (MV).

Por una parte, Peña, Basch y Vergara (2003) señalan que existe una ventaja al estimar una función de frontera a través del método de máxima verosimilitud ya que, en relación con los métodos clásicos utilizados para datos de panel, las unidades más eficientes adquieren mayor influencia en los resultados de estimación que las menos eficientes.

Por otra parte, Olson, Schmidt y Waldman (1980) realizaron un estudio con simulación de Monte Carlo y concluyen que el estimador obtenido por MCOM es más eficiente en muestras pequeñas (menos de 200 datos), mientras que el estimador por MV lo es en muestras grandes. De manera similar, Coelli (1995) también realizó un estudio con simulación de Monte Carlo y encontró que el estimador obtenido por MV es siempre mejor que el estimador MCOM, cuando la proporción de la varianza de la ineficiencia sobre el total de la varianza es alta, por lo que siempre recomienda el uso del método de MV.

Para finalizar, también es necesario mencionar que Polacheck y Yoon (1995) confirmaron la consistencia de los estimadores de máxima verosimilitud para modelos de fronteras estocásticas de producción cuando se utilizan datos de panel. Para realizar la estimación de la frontera y la estimación de la eficiencia técnica se utiliza el software Frontier 4.1, mismo que fue creado con estos propósitos.



#### 4.6. Forma funcional e interpretación de los parámetros

Según Coelli *et al.* (2005) las formas funcionales translogarítmica y Cobb-Douglas son dos de las formas más comunes encontradas en la literatura económica aplicada al momento de representar funciones de producción. Los autores recomiendan una serie de criterios que permiten discriminar entre las distintas formas funcionales a utilizar, observan que, mientras ambas son similares en términos de linealidad en los parámetros y regularidad, la translogarítmica es superior en flexibilidad y la Cobb-Douglas puede presentar una mayor parsimonia.

Lo anterior se debe a que la translogarítmica, a diferencia de la Cobb-Douglas, no incorpora restricciones sobre las elasticidades de los factores productivos, ni sobre las elasticidades de sustitución y tampoco sobre el tipo de rendimientos a escala. Aunque, por otra parte considera una mayor cantidad de parámetros a estimar ya que contempla la incorporación del cuadrado de los factores y los productos cruzados, lo que se puede traducir en un problema de multicolinealidad grave (Coelli *et al.*, 2005).

Existe cierta evidencia en la literatura que permite identificar un mayor uso de la forma translogarítmica por encima de la Cobb-Douglas. Un ejemplo lo representa el trabajo de Chávez y Fonseca (2012), quienes al analizar la eficiencia técnica y estructural de la manufactura mexicana indican, basándose en pruebas de hipótesis, que la forma translogarítmica representa de mejor manera la frontera productiva del sector. En la misma dirección, en los trabajos de Kumbhakar y Wang (2005) y Kneller y Stevens (2003) se puede observar que la forma Cobb - Douglas ha sido rechazada en otros estudios en el contexto del análisis de eficiencia.

A pesar de las ventajas que muestra la forma translogarítmica en términos de flexibilidad, la desventaja que para el presente trabajo presenta en términos de parsimonia, impide que pueda ser utilizada, por lo que se deberá optar por la forma Cobb-Douglas. Esta falta de parsimonia, tal como lo indica Coelli *et al.* (2005), se manifiesta a través de la presencia de multicolinealidad grave, que se expresa en un ajuste inadecuado en términos de la significancia de las variables y el signo equivocado que presentan los estimadores.

Dado que la forma funcional utilizada para estimar la frontera de producción corresponde a una Cobb - Douglas (linealizada por medio del uso de logaritmos) los parámetros pueden ser interpretados como elasticidades parciales del factor productivo respecto al valor agregado.

## 5. RESULTADOS

Esta sección muestra los principales resultados obtenidos respecto a la bondad de ajuste y la significancia individual de parámetros estimados, las estimaciones de la ineficiencia técnica, la intensidad en el uso de factores y su relación con la eficiencia y, finalmente, el tipo de rendimientos del sector.

### 5.1. Bondad del ajuste y significancia individual de parámetros

Con el fin probar la capacidad global del modelo para pronosticar los niveles de producción a través de las distintas unidades productivas (clases de la industria manufacturera) y los años del periodo considerado (2000 - 2008) se utilizó la prueba de razón de verosimilitud, la cual indicó finalmente que el modelo es globalmente significativo para estos propósitos (para mayores detalles ver cuadro 4).

Cuadro 4. Test de razón de verosimilitud

Ho	Estadístico de prueba	Valor estadístico de prueba	Decisión
$\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5$	$\chi^2_c = -2\loglikelihood \sim \chi^2(K;\alpha)$	$\chi^2_c = -2(-355.11927) \sim \chi^2(5);5\%$	$710.24 > 11.07$ Se rechaza Ho

Fuente: elaboración propia.

Para observar la significancia individual de los parámetros estimados se recurre al procedimiento de pruebas de hipótesis estadísticas, las que funcionan a través de la estimación de un estadístico de prueba, el cual, en este caso, presenta una distribución de probabilidad t student con 90 grados de libertad ( $n-k-1$ ). Al realizar las respectivas pruebas con un nivel de significancia de 5%, como muestra el cuadro 5, los parámetros

correspondientes a los factores productivos de trabajo, capital, energía y servicios resultan significativos, sin embargo, no ocurre lo mismo con el parámetro relativo al factor insumos, que obtiene una prueba t en región de aceptación. Las estimaciones indican que la variable más significativa al momento de explicar la producción es el trabajo, ya que este factor es el que presenta una mayor elasticidad parcial en la producción. Después se encuentra el capital, seguido de la energía y los servicios.

**Cuadro 5.** Estimación del modelo

<b><math>\beta</math> (término asociado)</b>	<b>Coeficiente</b>	<b>Error Estándar</b>	<b>T-ratio</b>	<b><math>H_0</math></b>	<b>Decisión</b>
$\beta_0$ (constante)	2.415	0.459	5.268	$\beta_0 = 0$	rechaza
$\beta_1$ (L)	0.447	0.047	9.559	$\beta_1 = 0$	rechaza
$\beta_2$ (K)	0.215	0.039	5.530	$\beta_2 = 0$	rechaza
$\beta_3$ (I)	0.003	0.005	0.564	$\beta_3 = 0$	no rechaza
$\beta_4$ (E)	0.213	0.038	5.550	$\beta_4 = 0$	rechaza
$\beta_5$ (S)	0.126	0.024	5.245	$\beta_5 = 0$	rechaza
Gamma (g)	0.611	0.039	15.692	$g = 0$	rechaza
Eta (h)	-0.023	0.007	-3.486	$h = 0$	rechaza
Mu ( $\mu$ )	0.778	0.165	4.702	$\mu = 0$	rechaza

Nota: Las pruebas se realizan con 90 grados de libertad ( $n-k-1$ ) para un nivel de significancia de 5%

Fuente: elaboración propia.

## 5.2. Ineficiencia técnica

Para evaluar la significancia de la ineficiencia técnica, como causa de las desviaciones entre producción efectiva y producción eficiente, así como también su evolución a través del tiempo, se realizan pruebas de hipótesis específicas sobre los parámetros  $g$  (gamma) y  $h$  (eta). Adicionalmente, se realiza una prueba de hipótesis para el parámetro  $m$  (mu) con el fin de probar los supuestos en torno a la función de distribución de probabilidad del componente relacionado con dicha ineficiencia.

Los resultados de estas pruebas indican que las desviaciones respecto a la frontera eficiente son en su mayoría (61% según estimación de gamma) debido a la ineficiencia técnica y no al error aleatorio del modelo, y que dicha ineficiencia técnica aumenta significativamente a través del tiempo, lo que es



equivalente a señalar que la eficiencia disminuye al pasar los años ( $h < 0$ ). Al inicio del periodo en evaluación (año 2000) se observa una eficiencia técnica promedio de 51.36 %, que decrece hasta llegar al final de dicho periodo (año 2008) a 45.28 %, registra un promedio anual para toda la industria de 48.3% (ver cuadro 6). La clase de mayor eficiencia resultó ser la 1549 relativa a la elaboración de otros productos alimenticios (96.9%), en tanto que la de menor eficiencia fue la clase 1911 dedicada al curtido y adobo de cueros (25.6%).

**Cuadro 6.** Estimación de la eficiencia técnica promedio anual

Año	Eficiencia técnica promedio anual (%)
2000	51.36
2001	50.61
2002	49.86
2003	49.11
2004	48.35
2005	47.58
2006	46.82
2007	46.05
2008	45.28
Promedio	48.34%

Fuente: elaboración propia.

Se observa una clara correlación entre la pérdida de eficiencia durante el periodo en evaluación y el aumento de costos de algunos factores productivos. Por ejemplo, el costo conjunto en energía e insumos al iniciar el periodo de evaluación representaba 38% del valor agregado total y para el final 50 por ciento. Al revisar el incremento promedio anual en costos de cada uno de estos factores se tiene que fue de 12.6% para insumos y de 8% para energía.

### 5.3. Intensidad relativa en el uso de factores y eficiencia

El cuadro 7 muestra una clasificación de acuerdo con la eficiencia técnica anual promedio alcanzada por cada una de las clases durante el periodo en estudio (2000 - 2008).

**Cuadro 7.** Clasificación de eficiencia según clase

Clasifi-cación	CIU	Eficien-cia	Clasifi-cación	CIU	Eficien-cia	Clasifi-cación	CIU	Eficien-cia
1	1549	96.93	33	2930	49.58	65	2029	40.54
2	1554	90.48	34	2699	49.55	66	2511	40.20
3	2411	87.81	35	3694	49.51	67	2102	40.10
4	2720	86.97	36	1511	48.44	68	1730	39.58
5	1544	85.24	37	2695	48.33	69	2811	39.36
6	2412	76.88	38	2919	47.93	70	2610	38.84
7	2421	72.66	39	2923	45.93	71	2710	38.71
8	1912	71.19	40	3320	45.54	72	2211	38.35
9	2423	69.87	41	1810	45.54	73	2922	38.29
10	1552	69.20	42	2915	45.03	74	2696	38.16
11	3410	68.59	43	1533	44.89	75	2924	38.15
12	3693	68.35	44	2010	44.82	76	3691	38.05
13	1543	68.34	45	1721	44.57	77	2520	37.98
14	2914	67.56	46	3120	44.54	78	2913	37.87
15	2424	67.13	47	3190	44.51	79	3530	37.74
16	2429	63.28	48	2021	44.40	80	2899	37.74
17	3110	59.40	49	1541	44.35	81	3312	37.48
18	3592	57.83	50	2893	44.29	82	2691	36.29
19	2101	56.83	51	2222	44.25	83	2023	36.08
20	1551	56.78	52	2925	44.17	84	3130	34.06
21	2109	56.61	53	3599	44.15	85	3511	33.79
22	3311	56.18	54	3610	43.38	86	2812	33.60
23	2413	54.03	55	2519	43.34	87	2929	33.05
24	1920	53.66	56	1531	43.19	88	3430	32.75
25	1520	53.21	57	2221	43.09	89	2912	32.73
26	2891	53.10	58	1512	42.77	90	2921	32.63
27	3699	52.48	59	1513	42.77	91	1729	31.88
28	2813	52.43	60	3150	42.58	92	2692	30.63
29	2422	52.03	61	2892	41.80	93	2212	29.73
30	3420	51.43	62	1722	41.57	94	1711	26.15
31	1514	50.91	63	2694	41.10	95	1723	26.12
32	2219	49.83	64	2022	40.89	96	1911	25.64
		64.91						35.38

Fuente: elaboración propia.

Al comparar los niveles de eficiencia de las 32 clases menos eficientes con las 32 clases más eficientes se observa una diferencia significativa a favor de este último grupo. Después, con el fin de comparar las elasticidades parciales para clases con distinto nivel de eficiencia, se estiman dos funciones frontera, una para cada grupo de 32 clases (las más eficientes y las menos eficientes), ver cuadro 8.

**Cuadro 8.** Comparación elasticidades entre clases

<b>Coeficientes</b>	<b>32 clases menos eficientes</b>		<b>32 clases más eficientes</b>	
	$\beta$ Estimados	T-ratio	$\beta$ Estimados	T-ratio
$\beta_0$ (constante)	0.938	2.885	2.142	3.766
$\beta_1(L)$	0.527	10.219	0.447	6.440
$\beta_2(K)$	0.183	4.923	0.3408	5.972
$\beta_3(I)$	0.007	0.727	0.001	0.154
$\beta_4(E)$	0.119	3.645	0.186	3.509
$\beta_5(S)$	0.205	4.745	0.0319	0.967

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con las estimaciones, el factor productivo más relevante para ambos tipos de clases es el trabajo, la elasticidad parcial del trabajo, al comparar entre clases de distinta eficiencia, es mayor para el caso de las clases menos eficientes. Al revisar las elasticidades parciales de otros factores productivos significativos (para ambos grupos), se observa que respecto al capital y la energía las clases más eficientes muestran una elasticidad parcial mayor.

De lo anterior se infiere que, si bien el factor trabajo en ambos casos es el factor con mayor influencia en la producción, las diferencias de este factor con el aporte de los factores capital y energía es bastante mayor en las clases menos eficientes. Es decir, las clases menos eficientes presentan una intensidad relativa mayor en el uso del factor trabajo, pero menor en capital y energía, obviamente lo contrario ocurre para las clases más eficientes.

#### 5.4. Prueba de rendimientos a escala

La prueba de hipótesis respectiva indica que el sector manufacturero chileno posee rendimientos constantes a escala, esto quiere decir que un aumento en todos los factores productivos simultáneamente trae como resultado

un aumento proporcional en el nivel de producción. Es necesario mencionar que dicho resultado está influenciado por las restricciones que incorpora la forma funcional Cobb - Douglass al tipo de rendimientos de la industria.

El procedimiento de la prueba de hipótesis y sus resultados se pueden observar con detalle en el cuadro 9.

**Cuadro 9.** Prueba de hipótesis para tipo de rendimientos

Etapa	Especificación
Modelo inicial	$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \ln L + \beta_2 \ln K + \beta_3 \ln I + \beta_4 \ln E + \beta_5 \ln S + e$
$H_0$	$\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 + \beta_5 = 1$
$H_0$	$\beta_5 = 1 - (\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4)$
Modelo de prueba (1)	$\ln Y = \beta_0 + \ln S + \beta_1 (\ln L - \ln S) + \beta_2 (\ln K - \ln S) + \beta_3 (\ln I - \ln S) + \beta_4 (\ln E - \ln S) + e$
Modelo de prueba (2)	$\ln Y = \beta'_0 + \beta_1 (\ln L - \ln S) + \beta_2 (\ln K - \ln S) + \beta_3 (\ln I - \ln S) + \beta_4 (\ln E - \ln S) + e$
Estadístico de prueba	$\chi^2_c = -2(\text{loglikelihood1} - \text{loglikelihood2}) \sim \chi^2(k_1 - k_2); \alpha$
Valor estadístico	$\chi^2_c = -2[-355.11927 - (-818.95183)] \sim \chi^2(5 - 4); 5\%$ $\chi^2_c = -927.66512 \sim \chi^2(1); 5\%$
Decisión	Como $-927.66512 < 3.84$ no se rechaza $H_0$

Fuente: elaboración propia.

## 6. DISCUSIÓN

La discusión de los resultados se centra en la disminución de la eficiencia técnica y su relación con la PTF, en la eficiencia y su relación con la intensidad relativa en el uso de factores y finalmente en el tipo de rendimientos de las manufacturas en Chile.

### 6.1. Disminución de la eficiencia técnica en el tiempo y PTF

Como se mencionó anteriormente, en distintas investigaciones se ha intentado explicar la evolución de la PTF de la economía chilena. Estas investigaciones concluyen, en general, que las políticas macroeconómicas y re-



formas microeconómicas habrían contribuido al alto crecimiento de la PTF agregada en los “años dorados” del crecimiento de la economía chilena.

En lo que se refiere a las causas de la disminución de la tasa de crecimiento de la PTF, varios autores enfatizan en distintos aspectos y agrupan dichas causas de manera diversa. Por ejemplo, Magendzo y Villena (2012) señalan que las posibles causas pueden clasificarse entre aquellas producidas por factores externos y exógenos a la economía chilena y entre aquellas producidas por factores internos y de carácter más permanente, representados por la falta de políticas públicas adecuadas. Dentro del primer grupo de causas se encuentran el encarecimiento de la energía, la crisis asiática, el boom del cobre y el tipo de cambio real y los rendimientos marginales de la PTF. Dentro del segundo grupo están la inflexibilidad microeconómica, la escasez de capital humano adecuado, el encarecimiento de los costos logísticos, la falta de competencia, la escasez de capital social y poca inversión en investigación y desarrollo y la volatilidad del tipo de cambio.

Por otra parte, de manera distinta, pero similar a lo explicado anteriormente, Fuentes (2011) considera que la disminución de la tasa de crecimiento de la PTF agregada se debe, principalmente, a la baja flexibilidad microeconómica en Chile para enfrentar choques negativos. Es decir, la economía chilena a partir del final de la década de los noventa ante choques negativos y debido a sus restricciones para ajustar sus factores productivos, se ajusta menos que el óptimo, lo que disminuye la PTF y eleva sus costos de producción.

Según el autor, esta baja flexibilidad se manifiesta a través de las altas restricciones y costos asociados para ajustar eficientemente los factores productivos (principalmente el factor trabajo), mientras que los choques negativos se asocian al aumento del salario mínimo (1998), el choque internacional negativo de la llamada crisis asiática (1998) y al aumento en los costos de energía (2004). Algunas de las investigaciones que confirman lo señalado tanto por Magendzo y Villena (2012) como por Fuentes (2011) son: Caballero, Engel y Micco (2004), Beyer y Vergara (2002), Álvarez, García y García (2008) y Álvarez y Fuentes (2011).

Al hablar específicamente de la PTF de la manufactura chilena, de acuerdo con autores como Vergara y Rivero (2006), Fuentes (2011) y Álvarez y Fuentes (2011), esta ha seguido un patrón muy parecido al de la

PTF agregada y ha sido afectada, en general, por los mismos factores, lo que evidencia signos de desaceleración en su tasa de crecimiento a partir del año 2000 y muestra así algún rezago en la desaceleración, en relación con el crecimiento de la PTF de la economía chilena en su conjunto.

En esta dirección, la disminución de la eficiencia técnica señalada por los resultados de la presente investigación coincide con la desaceleración en el crecimiento de la PTF que ha enfrentado esta industria durante igual periodo, lo cual define una relación que, si bien teóricamente es justificada, no hay evidencia empírica en Latino América que muestre con claridad dicha relación.

Por otra parte, un aspecto importante a discutir es la alta elasticidad de la energía en la industria manufacturera chilena y el eventual efecto en la disminución de la PTF en el sector. Para el caso chileno hay trabajos como los de Álvarez, García y García (2008), Echavarría, Jervis y Soto (2008) y Blümel, Domper y Espinoza (2010), que relacionan variaciones de la PTF con cambios en los precios de la energía. De hecho, Álvarez, García y García (2008) con datos a nivel de planta del sector industrial, para analizar la relación entre precio de la energía y productividad laboral en la industria manufacturera chilena, estima que el choque energético que enfrentó el país durante los primeros años de la década del 2000 (debido al aumento en el precio del petróleo y a la disminución de agua para la generación de energía eléctrica) explicaría una caída de, por lo menos, 20% (hasta 60% de acuerdo con la metodología de cálculo) en la productividad del sector manufacturero chileno en el período 2000 – 2005, lo que implicaría una pérdida de 0.5% de PTF en esos años, a nivel agregado de la economía. Es más, el mismo trabajo estima que los sectores más intensivos en energía son los que han experimentado la mayor reducción en la tasa de crecimiento de la productividad.

En relación con lo anterior, hay autores como Magendzo y Villena (2012) que no encuentran una relación clara entre las fluctuaciones en el costo de la energía y la productividad de la economía, ellos establecen independencia entre cambios transitorios en los costos de la energía y la eficiencia de los procesos. De hecho, para estos autores cuando el precio de la energía sube, durante el periodo 1996 - 2011, el valor agregado de la industria cae, en parte por una menor utilización de capital y no por disminuciones de PTF.

## 6.2 Intensidad relativa en el uso de factores y eficiencia

Por otra parte, a pesar de la disminución general de la eficiencia técnica en la manufactura chilena durante el periodo señalado, la presente investigación identifica diferencias entre clases. En relación con el uso de factores, las clases más eficientes son relativamente más intensivas en el uso de capital y relativamente menos intensivas en el uso del trabajo.

Evidencia similar ha sido encontrada en Álvarez y García (2008), quienes asocian las clases más eficientes de la industria manufacturera chilena (debido a diferencias en PTF) con un perfil exportador.

Para Meller y Repetto (1996) la mayor PTF, y por lo tanto la mayor eficiencia de algunas clases de la industria manufacturera, podría explicarse por la incorporación de factores productivos de mayor nivel tecnológico o bien por diferencias en la intensidad relativa de uso de estos factores, al mostrar las empresas más eficientes un uso relativamente más intensivo en capital y relativamente menos intensivos en trabajo.

En relación con esto último, de acuerdo con Fuentes (2011) las diferencias de eficiencia entre empresas de la industria manufacturera durante los años 2000 - 2008 (periodo de menor crecimiento de la PTF), puede explicarse por la intensidad en el uso de factores productivos. Así, debido a la poca flexibilidad para ajustar el trabajo y al aumento en el salario mínimo las empresas que presenten un uso relativamente más intensivo en capital y menos en trabajo resultan ser las menos propensas a experimentar disminución de la PTF y de la eficiencia de sus procesos. Estos resultados se corresponden con los encontrados en la presente investigación.

## 6.3 Tipo de rendimientos a escala

Con base en los resultados de nuestra investigación, en el sector manufacturero chileno existen rendimientos constantes a escala. Si se comparan estos resultados con los obtenidos para el caso de países con industrias manufactureras exportadoras se observan algunas diferencias. Por ejemplo, según Nadiri y Kim (1996) la industria manufacturera de países como Estados Unidos, Japón y Corea presenta rendimientos crecientes a escala.

El consenso general que explica estas diferencias es la incorporación a los procesos productivos de factores de mayor productividad. Un ejemplo de ello es lo señalado por Rasiah (1995) y Asid (2010). Ambos autores, al analizar la industria malaya observan que el éxito mostrado durante los últimos años se debe principalmente a la utilización de factores productivos de mayor sofisticación, especialmente capital y trabajo, lo cual ha sido posible debido al desarrollo de estrategias de inversión y reformas al mercado laboral.

Una explicación distinta es la expuesta por autores como Keat y Young (2004). Ellos señalan que países con mayor demanda por sus productos presentan una mayor probabilidad de producir con rendimientos crecientes a escala. Esto debido a que una mayor demanda justifica una mayor producción, lo que, a su vez, permite una mayor especialización y, en consecuencia, una mayor productividad de los factores contratados (trabajo y capital), hecho que finalmente se traduce en rendimientos crecientes a escala.

## 7. CONCLUSIONES

El presente artículo analiza la eficiencia técnica de la industria manufacturera chilena, con base en una metodología de fronteras estocásticas de producción, con la finalidad de proponer una metodología complementaria al clásico análisis de productividad total de factores (PTF). Durante el periodo de análisis (2000 - 2008) los principales resultados indican que: 1) la eficiencia técnica disminuye significativamente durante el periodo señalado, lo que prueba la hipótesis general del trabajo; 2) la industria en los años considerados alcanza una eficiencia técnica anual promedio de 48.3%; 3) la clase 1549, correspondiente a la elaboración de otros productos alimenticios, resultó ser la más eficiente y la clase 1911, dedicada al curtido y adobo de cueros, la de menor eficiencia; 4) el trabajo es el factor productivo de mayor elasticidad en la industria, seguido por el capital, la energía y los servicios; 5) las clases más eficientes presentan una mayor razón elasticidad capital - elasticidad trabajo y 6) la industria presenta rendimientos constantes a escala.

El estudio logra probar la hipótesis general planteada y, con esto, demostrar que el análisis de eficiencia técnica con metodología paramétrica puede ser utilizado de forma complementaria al análisis clásico de productividad total de factores (PTF). En esta dirección, pensamos que un tema de interés para futuras investigaciones lo representa el análisis de la evolución de la PTF en la industria manufacturera chilena con metodología no paramétrica, como los es el índice de Malmquist con análisis envolvente de datos.

## REFERENCIAS

- Acevedo, M.C. y J. Ramírez. 2005. “Diferencias regionales en la eficiencia técnica del sector confecciones en Colombia: un análisis de fronteras estocásticas”, *Innovar*, 15(26): 90-105.
- Aigner, D.J., C.A.K. Lovell y P. Schmidt. 1977. “Formulation and estimation of stochastic frontier production function models”, *Journal of Econometrics*, 6: 21-37.
- Álvarez, R. y R. Fuentes. 2004. Patrones de especialización y crecimiento sectorial en Chile, Banco Central de Chile, documento de trabajo, núm. 288.
- \_\_\_\_\_. 2011. Labor Market Regulations and Productivity: Evidence from Chilean manufacturing plants, Instituto de Economía, Pontificia Universidad Católica de Chile, documento de trabajo, núm. 396.
- Álvarez, R., A. García y P. García. 2008. Shocks de energía y productividad en la industria manufacturera chilena, Banco Central de Chile, documento de trabajo, núm. 482.
- Álvarez, R. y A. García. 2008. Productividad, innovación y exportaciones en la industria manufacturera chilena, Banco Central de Chile, documento de trabajo, núm. 476.
- Álvarez, R. y R.A. Lopez. 2005. “Exporting and performance: evidence from chilean plants”, *Canadian Journal of Economics*, 38(4): 1384-1400.
- Asid, R. 2010. “The technical efficiency analyses of manufacturing sector in Malaysia: Evidence from the first industrial master plan (1986 - 1995)”, *Asian Social Science*, 6(2): 99-107.

- Banco Interamericano de Desarrollo. 2010. La era de la productividad: cómo transformar las economías desde sus cimientos, Carmen Pagés (editora), Pórtico Bookstore, New York.
- Battese, G.E. 1992. "Frontier production functions and technical efficiency: A survey of empirical applications in agricultural economics", Agricultural Economics, 7: 185-208.
- \_\_\_\_\_. y T.J. Coelli. 1988. "Prediction of firm-level technical efficiencies with a generalised frontier production function and panel data", Journal of Econometrics, 38: 387-399.
- \_\_\_\_\_. 1992. "Frontier production functions, technical efficiency and panel data: With application to paddy farmers in India", Journal of Productivity Analysis, 3: 153-169.
- \_\_\_\_\_. 1995. "A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data", Empirical Economics, 20: 325-332.
- Battese, G.E. y G.S. Corra. 1977. "Estimation of a production frontier model: With application to the pastoral zone of Eastern Australia", Australian Journal of Agricultural Economics, 21: 169-179.
- Battese, G.E., T.J. Coelli y T.C. Colby. 1989. "Estimation of frontier production functions and the efficiencies of Indian farms using panel data from ICRISAT's Village level studies", Journal of Quantitative Economics, 5: 327-348.
- Bauer, P.W. 1990. "Recent developments in the econometric estimation of frontiers", Journal of Econometrics, 46: 39-56.
- Benavente, J.M. 2009. El desafío de la innovación para la América Latina de hoy, Corporación de Estudios para Latinoamérica (CIEPLAN), Serie de estudios socio económicos, núm. 52.
- Bergoeing, R., P. Kehoe, T. Kehoe y R. Soto. 2002. "Policy-Driven productivity in Chile and Mexico in the 1980s and 1990s", American Economic Review, Papers and Proceedings, 92(2): 16-21.
- Beyer, H. y R. Vergara. 2002. Productivity and economic growth: The case of Chile, Banco Central de Chile, documentos de trabajo, núm. 174.

- Blümel, G., M. Domper y R. Espinoza. 2010. Crecimiento económico, precios de la energía e innovación tecnológica, Libertad y Desarrollo, Serie Informe Económico, núm. 206.
- Blyde, J., Ch. Daude y E. Fernández-Arias. 2010. “Output collapses and productivity destruction”, *Review of World Economics*, 146(2): 359-387.
- Bosworth, B. y S. Collins. 2003. *The Empirics of Growth: An Update*, The Brookings Institution, Brookings Papers on Economic Activity, Economic Studies Program, núm. 34.
- Caballero, R., E. Engel y A. Micco. 2004. “Flexibilidad microeconómica en América Latina”, *Revista Economía Chilena*, 7(2): 5-26.
- Carreño, J. L., G. Loyola y Y. Portilla. 2010. “Eficiencia bancaria en Chile: un enfoque de frontera de beneficios”, *Economía Chilena*, 13(3): 33-65.
- Caves, D., L. Christensen y W. E. Diewert. 1982. “The economic theory of index numbers and the measurement of input, output and productivity”, *Econometrica*, 50(6): 1393-1414.
- Charnes, A., W.W. Cooper y E. Rhodes. 1978. “Measuring the efficiency of decision making units”, *European Journal of Operations Research*, 2(6): 429-444.
- Chávez, J.C. y F. Fonseca. 2012. Technical and structural efficiency in Mexican manufacturing: A regional approach, Banco de México, documentos de investigación, núm. 2012-03.
- Chumacero, R. y R. Fuentes. 2002. On the determinants of the Chilean economic growth, Banco Central de Chile, documentos de trabajo, núm. 134.
- \_\_\_\_\_. “Chilean growth dynamics”, *Economic Modelling*, 23(2): 197-214.
- Coelli, T.J., D.S.P. Rao, C.J. O’ Donnel y G.E. Battese. 2005. *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. 2a. edición. Springer.
- Coelli, T. 1995. “Estimators and hypothesis test for a stochastic frontier function: A Monte Carlo analysis”, *Journal of Productivity Analysis*, 6(4): 247-268.
- Coeymans, J.E. 1999. “Determinantes de la productividad en Chile”, *Cuadernos de Economía*, 107: 597-637.



- Contreras, G. y P. García. 2002. "Estimating gaps and trends for the Chilean economy", Revista de Economía Chilena, 5(2): 37-55.
- Coremberg, A. 2012. "La productividad de América Latina ante el auge de precios de productos básicos", Cuadernos Económicos de ICE, 84: 123-153.
- De Gregorio, J. 1997. "Crecimiento potencial en Chile: una síntesis", en F. Morandé y R. Vergara (comps.). Análisis empírico del crecimiento económico en Chile, Santiago, Chile, Centro de Estudios Públicos, ILADES/Georgetown.
- Echavarría, G., P. Jervis y C. Soto. 2008. Impacto del costo de la energía en la medición del PIB potencial en el escenario central de proyecciones, Banco Central de Chile, mimeo.
- Färe, R., S. Grosskopf, M. Norris y Z. Zhang. 1994. "Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries", American Economic Review, 84(1): 66-83.
- Färe, R., S. Grosskopf, B. Lindgren y P. Roos. 1992. "Productivity change in Swedish pharmacies 1980- 1989: A nonparametric Malmquist approach", Journal of Productivity Analysis, 3: 85-102.
- Färe, R., S. Grosskopf y C.A.K. Lovell. 1985. The Measurement of Efficiency of Production, Kluwer-Nijhoff Publishing, Dordrecht.
- Ferro, G., P. Covelli y C. Romero. 2010. Estimación de frontera de producción para el sector de agua y saneamiento en América Latina, HAL, archives ouvertes, núm. 468068.
- Forsund, F.R., C.A.K. Lovell y P. Schmidt. 1980. "A survey of frontier production functions and of their relationship to efficiency measurement", Journal of Econometrics, 13: 5-25.
- Fuentes, R. 2011. Una mirada desagregada del deterioro de la productividad en Chile: ¿existe un cambio estructural?, Instituto de Economía, Pontificia Universidad Católica de Chile, documento de trabajo, núm. 401.
- \_\_\_\_\_. F. Gredic y M. Larraín. 2008. "La brecha del producto en Chile: medición y evaluación", Economía Chilena, 11(2): 7-30.

- Fuentes, R., M. Larraín y K. Schmidt-Hebbel. 2006. “Measuring and explaining total factor productivity in Chile”, Cuadernos de Economía, 43: 113-142.
- Fuentes, R. y M. Morales. 2011. “On the measurement of TFP: A latent variable approach”, Macroeconomic Dynamics, 15(2): 145-159.
- Gallego, F. y N. Loayza. 2002. “The golden period for growth in Chile, explanations and forecasts”, en N. Loayza y R. Soto (comps.), Economic Growth: Sources, Trends and Cycles, Santiago, Banco Central de Chile.
- González, G.H. y F.A. Delbianco, F.A. 2011. “Apertura y productividad total de factores: análisis de la contemporaneidad en los quiebres estructurales para América Latina y el Caribe”, Revista de Análisis Económico, 26(1): 53-81.
- Greene, W.H. 1993(a). “The econometric approach to efficiency analysis”, en H.O. Fried, C.A.K. Lovell, y S.S. Schmidt (comps.), The Measurement of Productive Efficiency, NY, Oxford University Press, pp: 68-119. Definirlo en el texto
- Greene, W.H. 1993(b). Frontier production functions, Stern School of Business, NYU, Working Paper EC, núm. 93-20. Definirlo en el texto
- Harberger, A.C. 1998. “A vision of the growth process”, American Economic Review, 88(1): 1-32.
- Huang, C.J. y J.T. Liu. 1994. “Estimation of a non-neutral stochastic frontier production function”, Journal of Productivity Analysis, 5: 171-180.
- Ibarrarán, P., A. Maffioli y R. Stucchi. 2009. SME policy and firms’ productivity in Latin America, Institute for the Study of Labor in Bonn (IZA), Discussion Paper, núm. 4486.
- Infante, R. y O. Sunkel. 2009. “Chile: hacia un desarrollo inclusivo”, Revista Cepal, 97.
- Kalirajan K. 1981. “An econometric analysis of yield variability in paddy production”, Canadian Journal of Agricultural Economics, 29: 283-294.
- Keat, P.G. P.K. Young. 2004. Economía de empresa, Pearson Educación, México.

- Kneller, R. y P. Stevens. 2003. "The specification of the aggregate production function in the presence of inefficiency", *Economics Letters*, 81(2): 223-226.
- Kumbhakar, S. y H. Wang. 2005. "Estimation of growth convergence using a stochastic production frontier approach", *Economics Letters*, 88(3): 300-305.
- Kumbhakar, S.C., S. Ghosh y J.T. McGuckin. 1991. "A generalized production frontier approach for estimating determinants of inefficiency in US dairy farms", *Journal of Business and Economic Statistics*, 9: 279-286.
- Loayza, N., P. Fajnzylber y C. Calderón. 2004. Economic growth in Latin American and the Caribbean, Banco Central de Chile, documentos de trabajo, núm. 265.
- Lugones, G.E., P. Gutti y N. le Clech. 2007. Indicadores de capacidades tecnológicas en América Latina, CEPAL México, Serie estudios y perspectivas, núm. 89.
- Magendzo, I. y M. Villena. 2012. Evolución de la productividad total de factores, Universidad Adolfo Ibáñez, informe técnico.
- Malmquist, S. 1953. "Index numbers and indifference curves", *Trabajos de Estadística*, 4(1): 209-242.
- Meeusen, W. y J. Van den Broeck. 1977. "Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error", *International Economic Review*, 18: 435-444.
- Melo, L. y N. Espinoza. 2004. Ineficiencia en la distribución de energía eléctrica: una aplicación de las funciones de distancia estocástica, Banco de la República, Borradores de Economía, núm. 2843.
- Meller, P. y A. Repetto. 1996. "Empleo y remuneraciones en el sector exportador chileno", en P. Meller (comp.), El modelo exportador chileno: crecimiento y equidad, Chile, CIEPLAN.
- Din, M., E. Ghani y T. Mahmood. 2007. "Technical efficiency of Pakistan's manufacturing sector: A stochastic frontier and data envelopment analysis", *The Pakistan Development Review*, 46(1): 1-18.



- Mutis, H. 2006. "Una aplicación del análisis de frontera estocástica: el caso de hospitales de nivel II en Colombia", *Lecturas Matemáticas*, vol. especial: 259-270.
- Nadiri, I. y S. Kim. 1996. "R&D, production structure and rates of return in the U.S., Japanese and German manufacturing sectors: A non – sector model", *European Economic Review*, 30 (4): 749-772.
- Olson, J., P. Schmidt y D. Waldman. 1980. "A Monte Carlo study of estimators of the stochastic frontier production function", *Journal of Econometrics*, 13: 67-82.
- Parente, S. y E. Prescott. 2000, *Barriers to Riches*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Peña, J., M. Basch y S. Vergara. 2003. "Eficiencia técnica y escala de operación en pesca pelágica: un análisis de fronteras estocásticas", *Cuadernos de Economía*, 40(119): 47-87.
- Perdomo, J.A. y D. Hueth. 2010. Funciones de producción y eficiencia técnica en el eje cafetero colombiano: una aproximación con frontera estocástica, Universidad de los Andes, documentos CEDE, núm. 21.
- Pinilla, D., J. Jiménez y R. Montero. 2014. La descentralización y la eficiencia social del Estado en América Latina. Una evaluación de frontera a partir de resultados recientes, Instituto de Estudios Fiscales, *Papeles de Trabajo*, núm. 3.
- Pitt, M.M. y L.F. Lee. 1981. "Measurement and sources of technical inefficiency in the Indonesian weaving industry", *Journal of Development Economics*, 9: 43-64.
- Polacheck, S.W. y B.J. Yoon. 1995. Consistency of maximum likelihood estimators in stochastic frontier models, State University of New York, Binghamton, N.Y. (mimeo).
- Prescott, E. 1997. Needed: a theory of total factor productivity, Federal Reserve Bank of Minneapolis, Staff Report, núm. 242.
- Ramírez, N. y J.C. Aquino. 2005. Crisis de inflación y productividad total de los factores en Latinoamérica, Banco Central de Reserva del Perú, Serie documentos de trabajo, núm. 2005-005.
- Rasiah, R. 1995. *Foreign Capital and Industrialization in Malaysia*, Macmillan, Londres.

- Reifsneider, D. y R. Stevenson. 1991. "Systematic departures from the frontier: A framework for the analysis of firm inefficiency", International Economic Review, 32: 715-723.
- Rojas, P., E. López y S. Jiménez. 1997. "Determinantes del crecimiento y estimación del producto potencial en Chile: el rol del comercio internacional", en F. Morandé y R. Vergara (comps.) Análisis empírico del crecimiento económico en Chile, Chile, Centro de Estudios Públicos, ILADES/Georgetown.
- Roldós, J. 1997. "El crecimiento del producto potencial en mercados emergentes: El caso de Chile", en F. Morandé y R. Vergara (Eds.). Análisis empírico del crecimiento económico en Chile, Chile, Centro de Estudios Públicos, ILADES/Georgetown.
- Santos, J., W. Foster, J. Ortega y E. Ramírez, E. 2006. "Estudio de la eficiencia técnica de productores de papas en Chile: el rol del programa de transferencia tecnológica de INDAP", Economía Agraria, 10: 119-132.
- Schmidt, P. 1986. "Frontier production functions", Econometric Reviews, 4: 289-328.
- Schwellnus, C. 2010. Chile: Boosting productivity growth by strengthening competition, entrepreneurship and innovation, OECD Economics Department, working paper, núm. 785.
- Solow, R. 1957. "Technical change and the aggregate production function", Review of Economics and Statistics, 39: 312-320.
- Tybout, J. 2000. "Manufacturing firms in developing countries: How well do they do, and why?", Journal of Economic Literature, 38(1): 11-44.
- Vergara, M. 2003. "Nota técnica para estimar fronteras estocásticas: una aplicación a la banca chilena", Estudios de Administración, 13(2): 47-66.
- Vergara, R. y R. Rivero. 2006. "Productividad sectorial en Chile: 1986-2001", Cuadernos de Economía, 43(127): 143-168.