



Universidad de Cantabria  
Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales  
Departamento de Economía

---

EVALUACIÓN ECONÓMICA DE PROYECTOS  
PÚBLICOS Y DEL IMPACTO DE LA  
COMPETENCIA EN LA INDUSTRIA ESPAÑOLA

---

Trabajo presentado para conseguir el grado de doctor por:

**D. Ramón Núñez Sánchez**

Bajo la dirección de:

**Dr. D. Pablo Coto Millán**

**Noviembre de 2005**



*A mi familia*



## Índice

Agradecimientos .....	9
Motivación y Estructura de la Tesis .....	13
Referencias.....	19

### **Ensayo 1: Análisis Coste-Beneficio para el Proyecto de Construcción de una**

Terminal de Contenedores .....	21
1. Introducción .....	23
2. Conceptos teóricos del análisis coste-beneficio.....	25
2.1. Diferencias entre el análisis financiero y el análisis coste-beneficio .....	25
2.2. Etapas de un análisis coste-beneficio .....	28
2.3. Fundamentos microeconómicos del análisis coste-beneficio .....	34
2.4. La función de bienestar social, la función de utilidad y el análisis coste-beneficio .....	36
3. El análisis coste-beneficio para el proyecto de una terminal de contenedores en el puerto de Santander .....	44
3.1. La nueva terminal de contenedores: algunos datos básicos .....	44
3.2. Estimación del tráfico de mercancías contenerizadas (situación con proyecto y situación sin proyecto) .....	47
3.3. Cálculo de los beneficios y los costes .....	49
3.3.1. Beneficios derivados del proyecto de inversión.....	50
3.3.2. Costes derivados del proyecto de inversión .....	64

3.4. <i>La elección de la tasa social de descuento</i> .....	72
3.5. <i>Resultados del análisis coste-beneficio</i> .....	75
3.6. <i>Análisis de sensibilidad mediante la aplicación de simulaciones de Monte Carlo</i> .....	77
4. Conclusiones .....	82
5. Referencias .....	85
Anexos .....	91
<i>Anexo 1. Previsión de la demanda potencial del tráfico (TEUS)</i> .....	91
<i>Anexo 2. Predicción del tráfico sin proyecto y el tráfico con proyecto (TEUS)</i> ....	92
<i>Anexo 3. Beneficios de la creación de la terminal Sur en el Puerto de Santander</i>	93
<i>Anexo 4. Beneficios y costes de la creación de la terminal Sur en el Puerto de Santander</i> .....	94
<i>Anexo 5. Inputs y outputs considerados en las simulaciones de Monte Carlo</i> .....	95
<b>Ensayo 2: Determinantes de la Eficiencia Técnica e Impacto de la Competencia en las Empresas Manufactureras Españolas</b> .....	97
1. Introducción .....	99
2. Estudios previos acerca de la eficiencia técnica en las empresas manufactureras .....	103
3. Análisis descriptivo del grado de innovación y realización de actividades I+D de las empresas manufactureras españolas .....	107
4. Fronteras estocásticas de producción para la medición de la eficiencia técnica ..	115
4.1. <i>El concepto de frontera y las distintas medidas de eficiencia</i> .....	115

4.2. <i>Las fronteras determinísticas y sus diferentes versiones</i> .....	116
4.3. <i>Fronteras estocásticas de producción</i> .....	118
4.4. <i>Estimación con datos de panel: riqueza en la modelización</i> .....	120
4.5. <i>Una frontera de producción incorporando un modelo de efectos de ineficiencia técnica (Battese y Coelli, 1995)</i> .....	124
5. <i>Aplicación empírica</i> .....	127
6. <i>Análisis de la eficiencia técnica de las empresas</i> .....	145
7. <i>Eficiencia técnica de la empresa, competencia y estructura de mercado</i> .....	149
7.1. <i>Modelo teórico</i> .....	149
7.2. <i>Especificación econométrica</i> .....	154
7.3. <i>Resultados</i> .....	157
8. <i>Conclusiones</i> .....	164
Referencias .....	168
Anexos .....	180
<i>Anexo 1. Construcción de variables</i> .....	180
<i>Anexo 2. Función de Máxima-verosimilitud del modelo de Battese y Coelli (1995)</i> .....	184
<i>Anexo 3. Estadísticos descriptivos de la estimación</i> .....	186
<i>Anexo 4A. Eficiencia Técnica. Promedios sectoriales (1990-1999)</i> . ....	187
<i>Anexo 4B. Eficiencia Técnica. Desviaciones típicas sectoriales (1990-1999)</i> ....	188
<i>Anexo 5A. Estimación de la función de producción frontera con Cambio Tecnológico Neutral. Modelo normal truncado.</i> .....	189

<i>Anexo 5B. Estimación de la función de producción frontera con Cambio Tecnológico Neutral. Modelo Semi normal.....</i>	190
<i>Anexo 6. Estimación de la función de producción frontera con Cambio Tecnológico Neutral. Modelo Mínimos Cuadrados Ordinarios. ....</i>	191
<i>Anexo 7. Gráficos Eficiencia Técnica Promedio... ;Error! Marcador no definido.</i>	
<i>Anexo 7. Gráficos Eficiencia Técnica Promedio (cont.) .....;Error! Marcador no definido.</i>	
<i>Anexo 7. Gráficos Eficiencia Técnica Promedio (cont.) .....;Error! Marcador no definido.</i>	
<i>Anexo 7. Gráficos Eficiencia Técnica Promedio (cont.) .....;Error! Marcador no definido.</i>	
<i>Anexo 8. Índices de concentración en ventas, 1993 .....</i>	192



## **Agradecimientos**

Son muchas las personas que, de una manera u otra, han contribuido a que esta tesis pudiera llevarse a cabo. Con estas líneas quisiera mostrar mi agradecimiento a todas ellas.

En primer lugar, al profesor Dr. D. Pablo Coto Millán, director de esta tesis, por la oportunidad que me dio, así como por los consejos que en numerosas ocasiones me ha transmitido a lo largo de este periplo. Su brillante labor de dirección así como sus valiosos comentarios han permitido enriquecer de forma notable este trabajo.

A la profesora Dra. Dña. Aurelia Modrego Rico, directora de mi tesina en el Master de Economía Industrial de la Universidad Carlos III de Madrid, por la confianza que depositó en mí nada más llegar a Madrid y que me permitió iniciarme en la dura, aunque siempre reconfortante, tarea investigadora.

A la Autoridad Portuaria de Santander por la ayuda financiera prestada para la realización del primer ensayo; en particular, a su Director D. Macario Fernández, hoy Presidente de la Autoridad Portuaria de A Coruña, y a su Director de Planificación Estratégica D. Mariano Revestido, hoy Director, por su colaboración para esclarecer numerosas cuestiones de tipo técnico.

A la Dirección General de Investigación del Ministerio de Educación y Ciencia por la adjudicación de un proyecto de investigación que constituye el segundo ensayo de esta tesis doctoral, así como al Programa de Investigaciones Económicas

perteneciente a la Fundación SEPI por la cesión de los datos pertenecientes a la Encuesta de Estrategias Empresariales (ESEE).

También quisiera hacer extensible mi agradecimiento al Departamento de Economía de la Universidad de Cantabria por haberme proporcionado un clima de trabajo favorable y estimulante para realizar esta tesis; especialmente a Rubén Sainz, persona que siempre ha estado pendiente de la evolución del presente trabajo, así como a mis numerosos compañeros de despacho.

A mis compañeros de trabajo en el Laboratorio de Análisis y Evaluación del Cambio Técnico de la Universidad Carlos III de Madrid durante mi etapa madrileña: Andrés, Ana y Alberto; así como a mis compañeros de Master, especialmente a Otto, Megapatri y Minipatri.

A todos mis amigos que me han regalado su tiempo y compañía y me han apoyado moralmente durante estos años dándome ánimos y permitiéndome desconectar en los momentos de ocio.

También como no, a mis padres, Ramón y M<sup>a</sup> José; así como a mi hermana, Paula ya que sin ellos, ni siquiera hubiera podido comenzar esta tesis; y a mis tíos, Paulino, Marian, Fina y Luisen que me han apoyado de forma constante durante todo este tiempo.

Por último, quisiera expresar mi agradecimiento a la persona que más ha sufrido mi mal carácter en numerosos momentos; pero que, sin embargo, siempre ha estado ahí. No cabe duda que, de alguna manera, parte de esta tesis también es tuya. Gracias Paula.

## **Motivación y Estructura de la Tesis**



## **Motivación y Estructura de la Tesis**

Debido a la creciente pérdida de competitividad de los países europeos frente a las economías norteamericana, japonesa o china; en los últimos años dentro de la Unión Europea se ha producido un fenómeno de moderación del gasto público y de reducción del déficit público mitigando posibles peligros inflacionistas. De esta manera, el destino de los recursos para la provisión de bienes públicos está siendo objeto de un mayor control por parte de las autoridades públicas, tratando de disciplinar el gasto y de exigir un mínimo rendimiento social.

Dicho control se materializa en el uso de diferentes técnicas de evaluación económica cuya finalidad es determinar el rendimiento social de proyectos de inversión que aumenten la provisión de bienes públicos para el conjunto de la sociedad.

Dado que, en ocasiones, los beneficios producidos por la construcción de un proyecto público no se traducen directamente en ingresos para el promotor (en este caso, el estado u otro organismo público), sino en beneficios difícilmente valorables en un mercado<sup>1</sup>, las principales técnicas de evaluación de proyectos mediante análisis de rentabilidad financiera no son válidas. Se hace por tanto necesaria una herramienta que permita valorar bienes que aún siendo de gran valor para la sociedad, no tengan un mercado.

---

<sup>1</sup> Piénsese en la construcción de una carretera sin peaje. Los beneficios de dicha carretera son los ahorros de tiempo de los usuarios de la misma gracias a su construcción, los cuales no son directamente observables en ningún mercado. Sin embargo desde el punto de vista social dichos beneficios sí son beneficios para una parte de la sociedad.

Por otra parte, el incremento de la competencia en los mercados, ha provocado que algunas empresas hayan visto recortados sus márgenes de beneficios en un corto periodo de tiempo, estando obligadas a reducir sus costes (p.e. mediante operaciones de subcontratación), y/o a establecer políticas de fomento de la competitividad, a través la realización de actividades de I+D y generación de innovaciones. Este fenómeno hace que la cuenta de resultados de una empresa dependa cada vez más de la habilidad que tenga para gestionar mejor sus factores de producción manteniendo sus niveles de producción. Los factores que permiten explicar la eficiencia de la empresa en la gestión de sus factores productivos son heterogéneos entre sí y van desde su localización geográfica, la naturaleza tecnológica de su sector productivo o su antigüedad; hasta el hecho de que realicen operaciones de exportación o actividades de innovación tecnológica.

En este marco surge el presente trabajo, el cual se estructura bajo la forma de dos ensayos independientes, aunque en esencia ambos tratan de estudiar lo mismo: la evaluación de la eficiencia económica en estructuras productivas.

El primer ensayo titulado *“Análisis Coste-Beneficio para el proyecto de construcción de una terminal de contenedores”* trata de determinar la rentabilidad económica global de un proyecto de inversión pública, en concreto, de la construcción de una terminal de contenedores dentro de unas instalaciones portuarias en las que existe un problema de congestión.

Para obtener la rentabilidad de dicho proyecto se utiliza la metodología de Análisis Coste-Beneficio (también expresada como ACB), la cual está directamente

basada en la teoría microeconómica del bienestar, y que consiste sencillamente en determinar si los beneficios, monetarios y no monetarios debidamente actualizados, que genere el proyecto de inversión van a superar a los costes, monetarios y no monetarios debidamente actualizados, empleados durante la construcción y posterior puesta en marcha del proyecto. En caso afirmativo, se podría concluir que el proyecto es rentable desde el punto de vista económico.

Tradicionalmente el ACB en España ha sido aplicado en proyectos de infraestructuras como la construcción de carreteras (Romero-Hernández, 1999), de trenes de alta velocidad, (De Rus e Inglada, 1998) o ampliaciones de aeropuertos (Jorge y De Rus, 2005).

El ensayo de esta tesis es novedoso dado que en la literatura económica nunca se ha tratado el tema de la congestión en infraestructuras portuarias bajo la perspectiva del ACB evaluándose, por un lado, los diferentes beneficios sociales que aparecen como consecuencia de la construcción del proyecto de inversión; así como los costes sociales en los que incurre el mismo, por otro.

El principal beneficio de la construcción del proyecto es el que se deriva del aumento de la oferta de transporte de mercancías contenerizadas y, por lo tanto, del mantenimiento de similares costes generalizados a los existentes cuando el puerto no tenía restricciones de capacidad. Dicho beneficio junto con otros de menor relevancia, permiten superar a los costes incurridos en el proyecto, principalmente los relativos a la construcción y mantenimiento, obteniéndose por tanto un rendimiento social adecuado.

La estructura de este ensayo es la siguiente. En primer lugar se introduce el ensayo justificando el ACB como herramienta idónea para la racionalización de las inversiones portuarias estatales. En la segunda parte del ensayo se presentan los conceptos teóricos sobre los que se sustenta el ACB: desde las diferencias existentes entre el análisis financiero y el ACB de un proyecto hasta las etapas de un ACB o los fundamentos microeconómicos a partir de los cuales está basada dicha técnica. En la parte tercera se presenta el estudio aplicado del ACB para el proyecto de construcción de una terminal de contenedores en el puerto de Santander. En primer lugar se estima el tráfico de mercancías contenerizadas en el Puerto de Santander en el caso de que la ampliación no se realizase, y en el caso de que se llevase a cabo el proyecto. Más adelante se evalúan los costes y beneficios de la creación de una terminal de contenedores para posteriormente mostrar los resultados del ACB, así como un análisis de sensibilidad mediante simulaciones de Monte Carlo. En la cuarta parte, se establecen una serie de conclusiones de carácter general.

El segundo de los ensayos se titula *“Determinantes de la Eficiencia Técnica e Impacto de la Competencia en las Empresas Manufactureras Españolas”* y trata, en primer lugar, de estudiar los determinantes que afectan a la variabilidad de la eficiencia técnica de las empresas manufactureras españolas durante la década de los años 90, a partir del modelo fronteras estocásticas de Battese y Coelli (1995). En una segunda parte del trabajo, a partir de un modelo simple de oligopolio suponiendo bienes homogéneos, se estudia la relación entre los niveles de eficiencia técnica de las empresas y sus cuotas de mercado, demostrando que en aquellos mercados tradicionalmente concentrados y con comportamientos más cooperativos, el efecto de



la eficiencia técnica sobre las cuotas de mercado de las empresas es más débil que en aquellos sectores más atomizados y con comportamientos más competitivos.

Las aportaciones a la literatura de este trabajo son varias. En primer lugar, es novedoso la inclusión como determinantes de la eficiencia técnica de las empresas manufactureras españolas de variables artificiales tales como los polos de crecimiento en las que se sitúan geográficamente las empresas o la taxonomía de patrones tecnológicos establecida por Pavitt (1984).

Por otra parte, la contrastación empírica de un modelo de oligopolio a través del método de estimación dinámico para datos de panel GMM<sup>2</sup> (Arellano y Bond, 1991) es también un trabajo que no se había realizado, al menos, con datos de empresas industriales españolas.

La estructura de este segundo ensayo es la siguiente. En la primera parte se introduce el ensayo con un breve recorrido relativo al estudio de los determinantes de la rentabilidad en la literatura relativa a la organización industrial empírica. En la segunda parte se realiza una revisión de los principales trabajos que analizan la eficiencia técnica en la industria manufacturera. En la tercera parte se establecen pautas acerca de la innovación y la realización de las actividades I+D en las empresas manufactureras españolas a través de un análisis descriptivo de los datos. En la cuarta parte se introduce la definición de eficiencia técnica así como los diferentes modelos paramétricos, denominados genéricamente fronteras estocásticas de producción. La estimación de la función frontera de producción junto con las

---

<sup>2</sup> GMM son las siglas en inglés del Método Generalizado de Momentos.

variables determinantes de la eficiencia técnica se presenta en la quinta parte. En la parte sexta se presenta un análisis de los resultados de la estimación teniendo en cuenta las características de las empresas. El contraste de la relación entre los niveles de eficiencia técnica y las cuotas de mercado de las empresas se realiza en la parte séptima. Por último, en la parte octava, se establecen una serie de conclusiones de carácter general.

## Referencias

- Arellano, M., y S. Bond (1991), “Some Test of Specification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and an Application to Employment Equations”. *Review of Economic Studies*, 58, 277-297.
- Battese, G.E. y T. J. Coelli (1995), “A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data”, *Empirical Economics*, 20, 325-332.
- De Rus, G. y V. Inglada (1997), “Cost-Benefit Análisis of the High-Speed Train in Spain”, *Annals of Regional Science*, vol. 31, 175-188.
- Jorge, J.-D. y G. De Rus (2004). Cost-Benefit Analysis of Investment in Airport Infrastructure: a Practical Approach. *Journal of Air Transport Management* 10, 311-326.
- Pavitt, K. (1984), “Sectoral patterns of technical change: Towards a taxonomy and theory”. *Research Policy*, 13, 343-373.
- Romero-Hernández, M. (1999), “Análisis Coste-Beneficio de un proyecto de inversión en infraestructura de carreteras”, *Investigaciones Económicas*, vol. 23(2), 251-265.



# **Ensayo 1**

## **Análisis Coste-Beneficio para el Proyecto de Construcción de una Terminal de Contenedores**



## 1. Introducción

Uno de los factores más importantes a la hora de evaluar la competitividad de una determinada región o un país es la calidad y la eficiencia de su sistema de transporte, dado que éste influye en el coste de acceso de sus productos a los distintos mercados. Además, el transporte constituye en sí mismo una actividad económica cuya participación directa en el PIB de cualquier región o país desarrollado es muy importante.

Los puertos forman parte de la cadena de transporte de un país, siendo espacios de interconexión del modo de transporte marítimo con el terrestre, o en operaciones de tránsito y transbordo, nuevamente con el modo marítimo.

En la actualidad, el sistema portuario, a pesar de sus peculiaridades<sup>3</sup> funciona bajo mecanismos de competencia, de ahí que cada uno de los puertos trate de obtener la mayor cantidad de mercancías posibles. Sin embargo, para lograr el desvío de tráfico de un puerto a otro, y la generación de nuevo tráfico, son necesarias cuantiosas inversiones que permitan mejorar la posición competitiva de dicho puerto con respecto a sus competidores. Aún así, no existe evidencia empírica que demuestre que el incremento de la inversión portuaria sea una condición suficiente para

---

<sup>3</sup> Para más detalles acerca de las características de la industria portuaria, ver Nombela y Trujillo (1999). Coto e Inglada (1999), analizan la oferta, la demanda y el funcionamiento del mercado del transporte marítimo mundial además de estudiar la evolución histórica del transporte marítimo en España durante el periodo 1974-1999.

conseguir la atracción y generación de nuevo tráfico para el puerto<sup>4</sup>. Por este motivo es necesario realizar un análisis riguroso de las grandes inversiones deseables de acometer en cada uno de los puertos españoles, por parte de las Autoridades Portuarias, ya que si no existiese cierto control por parte del Ente Público Puertos del Estado<sup>5</sup>, el proceso de competencia por los tráficos podría desembocar en una escalada del gasto de inversión en cada puerto nacional, produciéndose situaciones ineficientes desde el punto de vista técnico y asignativo.

Una de las funciones del Ente Público Puertos del Estado es servir como instrumento de gestión de las inversiones en el sistema portuario. Para cumplir dicha tarea son necesarios criterios objetivos que permitan seleccionar y priorizar aquellas inversiones más rentables desde el punto de vista social, frente a una hipotética excelencia técnica de los proyectos de inversión. Una de las herramientas más populares basada en la teoría microeconómica y la economía del bienestar es el Análisis Coste-Beneficio (ACB).

En este ensayo, se va a evaluar mediante un Análisis Coste-Beneficio, el proyecto de inversión que desarrolle las instalaciones de la Dársena Sur de Raos, que permitirá

---

<sup>4</sup> Los estudios de tipo macroeconómico que estudian el impacto del capital público (por ejemplo, infraestructuras de transporte) sobre la productividad de las regiones o de los países, señalan que si bien el impacto del stock de capital público es positivo, son necesarias técnicas de evaluación microeconómica para proyectos de inversión pública que analicen la rentabilidad de las diferentes alternativas individuales de inversión.

<sup>5</sup> Entidad vinculada al Ministerio de Fomento que coordina las iniciativas de inversión propuestas por las Autoridades Portuarias y cuyas funciones son la planificación y control generales, la elaboración de propuestas técnicas, la coordinación interportuaria y la prestación de servicios centralizados a las Autoridades Portuarias.



al Puerto de Santander ampliar su capacidad para atraer tráfico de mercancías contenerizadas, consideradas las mercancías de mayor valor añadido para los puertos, así como mitigar futuros problemas de congestión en las instalaciones portuarias.

## 2. Conceptos teóricos del análisis coste-beneficio

### 2.1. Diferencias entre el análisis financiero y el análisis coste-beneficio

El análisis financiero consiste básicamente en la comparación de los ingresos y de los costes generados durante la vida del proyecto. La diferencia entre los ingresos totales y los costes totales, en valores actuales, es el valor actual neto, el beneficio que el proyecto reporta al agente económico que lo realiza.

El valor actual neto obtenido en un análisis financiero para un proyecto de inversión, por ejemplo la construcción de una infraestructura de transporte, se define como:

$$VAN_f = -I + \frac{p_1q_1 - c_1q_1}{(1+i)} + \frac{p_2q_2 - c_2q_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{p_Tq_T - c_Tq_T}{(1+i)^T} \quad (2.1.1)$$

donde:

$p_i$  es el precio por el uso de la infraestructura en periodo temporal  $i$ -ésimo.

$q_i$  es el número de usuarios que usan la infraestructura en el periodo temporal  $i$ -ésimo.

$I$  es la inversión de establecimiento que se supone, se va a realizar en el primer año de evaluación.

$c_i$  es el coste unitario de mantenimiento y explotación de la infraestructura en el periodo temporal  $i$ -ésimo.

$T$  es el periodo temporal de estudio de la evaluación financiera.

$i$  es el tipo de interés de mercado que actualiza los flujos monetarios futuros.

Sin embargo, en el ACB la aproximación es diferente. No se comparan ingresos con costes, sino beneficios sociales con costes sociales. El resultado de restar los costes sociales de los beneficios sociales es el beneficio social neto del proyecto.

En un ACB, por tanto, se busca la rentabilidad social del proyecto, en ésta se incluyen los beneficios y costes sociales incluyendo ingresos y costes privados. El VAN social u económico se definiría como:

$$VAN_s = -I + \frac{B_1 - C_1}{(1+r)} + \frac{B_2 - C_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{B_T - C_T}{(1+r)^T} \quad (2.1.2)$$

donde:

$B_i$  son los beneficios sociales obtenidos por la construcción de la infraestructura en el periodo temporal  $i$ -ésimo.

$C_i$  son los costes sociales obtenidos por la construcción de la infraestructura en el periodo temporal  $i$ -ésimo.

$r$  es la tasa social de descuento que actualiza los beneficios y costes futuros.

Las diferencias más significativas entre el análisis financiero y el ACB son las siguientes:

a) Por lo que respecta a los beneficios del proyecto, mientras que en el análisis financiero sólo se tiene en cuenta los ingresos monetarios obtenidos por el agente económico inversor una vez construida la infraestructura de transporte, en el ACB se tienen en cuenta todos los beneficios obtenidos por el conjunto de la sociedad, tanto del agente económico inversor como del resto de agentes a los que, de una manera directa o indirecta les afecta el proyecto<sup>6</sup>. Por otra parte, los beneficios están medidos en términos de excedente económico de los consumidores o, lo que es lo mismo, de la diferencia entre la disponibilidad a pagar por parte de los agentes económicos y lo que efectivamente pagan una vez que se lleva a cabo un determinado proyecto.

b) En cuanto a los costes de construcción, mantenimiento y explotación de la infraestructura, en el análisis financiero éstos son valorados en términos de precios de mercado de los factores de producción utilizados en la construcción, mantenimiento o explotación de la infraestructura. Sin embargo, en el Análisis Coste-Beneficio los costes deben valorarse en términos de coste de oportunidad, definiéndose éste como el beneficio perdido en el mejor uso posible de los factores de producción empleados en la construcción, mantenimiento y operación del proyecto si dicho proyecto no se realizase. Además en el Análisis Coste-Beneficio

---

<sup>6</sup> Por ejemplo, en un ACB que evalúe la construcción de una autovía que permita reducir el tiempo de viaje y que mejore la fluidez de tráfico de una carretera nacional, se tendrán en cuenta no sólo los beneficios de los usuarios de dicha autovía sino que deberán ser considerados los beneficios producidos a los usuarios de la carretera nacional debido a la disminución de la congestión en dicha vía.

deben reflejarse las externalidades (tanto positivas como negativas<sup>7</sup>) que puede provocar la construcción del proyecto en el conjunto del sistema económico.

c) Mientras que en el análisis financiero se usa un tipo de interés de mercado que refleja el coste del capital utilizado en el proyecto de inversión, en el Análisis Coste-Beneficio se emplea una tasa social de descuento que únicamente refleja el coste de oportunidad de los fondos empleados en el proyecto de inversión.

## ***2.2. Etapas de un análisis coste-beneficio***

Todo proyecto de inversión o evaluación de una determinada política que sea analizada a través de la metodología ACB debe seguir una serie de etapas:

a) *Especificar el conjunto de alternativas a la realización del proyecto.* El análisis coste-beneficio compara los beneficios sociales netos de invertir recursos en un proyecto determinado con los beneficios sociales netos de un proyecto hipotético que sería desechado si el proyecto en evaluación se llevase a cabo. En la mayoría de las situaciones, la alternativa a la construcción del proyecto es la situación de *status quo*, es decir la situación en la que no se construye el proyecto.

b) *Establecer los beneficios y costes del proyecto.* Una vez especificadas las alternativas al proyecto, debe identificarse los beneficios y costes que genera el proyecto para la sociedad.

---

<sup>7</sup> En el caso de que las externalidades fuesen positivas (por ejemplo, reducción de la contaminación atmosférica, ó reducción de la congestión en carreteras alternativas) éstas se reflejarían en el lado de los beneficios sociales.

Un aspecto especialmente relevante a la hora de realizar un análisis coste-beneficio es decidir cuál es el alcance de los beneficios y costes del proyecto. No está claro si un análisis coste-beneficio deba tener un alcance global, nacional, regional, provincial o local. En España la mayoría de los análisis coste-beneficio que se realizan tienen un ámbito nacional ignorándose los posibles costes y beneficios que se localizan fuera del territorio nacional<sup>8</sup>. Este hecho ha generado posiciones críticas las cuales abogan por tener en cuenta beneficios y costes globales, ya que se considera que determinados proyectos generan beneficios y costes que sobrepasan el ámbito nacional; por ejemplo, efectos medioambientales nocivos tales como el cambio climático global, la lluvia ácida o el empobrecimiento de la capa de ozono<sup>9</sup>.

c) *Cuantificar los beneficios y los costes.* Como ya se ha mencionado anteriormente la valoración de los beneficios en el análisis coste-beneficio se realiza en términos de excedentes económicos. En la mayoría de las ocasiones, cuando los mercados existen y funcionan bien, sin que existan grandes fallos de mercado, dichos excedentes son calculados mediante las funciones de demanda de los individuos. Para algunos bienes cuya asignación en el sistema económico no se realiza a través del mecanismo de mercado o si se realiza a través de éste, existen altos fallos de mercado, se emplean las técnicas de *preferencias declaradas o preferencias*

---

<sup>8</sup> Un ejemplo es el Manual de Evaluación de Inversiones Portuarias (Puertos del Estado, 2003).

<sup>9</sup> A pesar de la importancia de los efectos medioambientales que produce la actividad económica en el conjunto de la sociedad, son pocos los estudios ACB que consideran dichos efectos. Una de las posibles razones de este hecho es la dificultad de la obtención de datos fiables acerca de los efectos medioambientales que producen proyectos de inversión individuales. Para más detalles acerca de la inclusión de dichos efectos en la metodología ACB, ver Pearce y Turner (1995), Field y Field (2003) o Azqueta (2002).

*reveladas*; por ejemplo mediante la realización de encuestas, que muestran la disponibilidad a pagar de los individuos para que se haga efectivo el proyecto de inversión<sup>10</sup>.

Los costes en el ACB son valorados en términos de coste de oportunidad, los cuales no siempre coinciden con los precios de mercado de los inputs utilizados en el proceso de producción.

Para la cuantificación de los beneficios y costes en análisis donde los bienes no tienen mercado, son necesarios valores unitarios del tiempo para usuarios de la infraestructura, valores del tiempo para los viajeros o las mercancías transportadas, valores de vida humanas, valor del silencio, o incluso el valor de especies animales o vegetales, etc.

Una de las críticas que se suele hacer a la metodología ACB, es que ésta sólo tiene como único objetivo la maximización de la eficiencia económica, dejando de lado otros posibles objetivos que pueden ser igual de relevantes en el análisis de la rentabilidad social; por ejemplo, la igualdad de oportunidades, la igualdad de renta, o la seguridad nacional.

Por otra parte, existen determinados autores que no están de acuerdo con dar un valor monetario a una vida humana o a una especie animal o vegetal en peligro de extinción; en ese caso, existen otras técnicas de evaluación de proyectos como por

---

<sup>10</sup> Un caso de bienes no asignados bajo mecanismos de mercado son los bienes ambientales, la congestión, o la vida humana. Para poder valorar dichos bienes en la metodología ACB existen diferentes técnicas: el método de los costes de viaje, el método de precios hedónicos o el método de valoración contingente. Para más detalles de las diferentes técnicas, ver Azqueta (1994).

ejemplo, el análisis multicriterio<sup>11</sup>, en las cuáles no se hace tanto una evaluación cuantitativa como cualitativa.

d) *Agregación de todos los costes y beneficios.* Para proyectos de inversión con beneficios y costes que se extienden en amplios periodos temporales, es necesario una manera de agregar dichos beneficios y costes. El ACB en ese caso descuenta los beneficios y costes futuros en relación con los beneficios y costes presentes de manera que se obtienen valores actuales. El hecho de que se descuenten los beneficios y costes futuros se debe a que las preferencias de los individuos a consumir en el momento presente son mayores que las preferencias en el consumo futuro, ya que si los individuos consumen en el presente, pierden la oportunidad de consumir en mayor cuantía en el futuro<sup>12</sup>.

---

<sup>11</sup> El análisis multicriterio representa una de las técnicas más generales dentro del conjunto de instrumentos existentes a la hora de evaluar un proyecto o política pública. La idea básica del análisis multicriterio es comparar todas las alternativas posibles de un determinado proyecto teniendo en cuenta los diferentes objetivos relevantes (mejora de la eficiencia, de la igualdad de oportunidades, de la igualdad monetaria, etc.). Para realizar un análisis multicriterio deben cumplirse una serie de etapas. En primer lugar, deben ser marcados los objetivos generales (eficiencia, igualdad, etc.) que debe cumplir el proyecto de inversión, a partir de los cuales se señalan los objetivos específicos (criterios) que servirán como medida para evaluar las diferentes alternativas. En segundo lugar, se debe evaluar cada una de las alternativas, incluyendo la situación sin proyecto o de *status quo*. En último lugar, a partir de un juicio subjetivo debe dictarse una recomendación para llevar a cabo una de las alternativas, teniendo en cuenta los trade-off que genera la elección, dado que la alternativa elegida no cumplirá todos los objetivos marcados en la primera etapa.

<sup>12</sup> Se considera que un individuo, dada una determinada renta presente, puede consumir en mayor cuantía en el futuro ya que si opta por ahorrar dicha renta, obtendrá unos intereses que le permitirán aumentar su presupuesto para dicho consumo futuro.

Por otro lado, a diferencia del análisis financiero donde los ingresos y los costes se contabilizan en términos corrientes, los beneficios y costes en el ACB se contabilizan en términos reales.

e) *Cálculo del valor actual neto*. El valor actual neto (o VAN) se define como la diferencia entre el valor actual de los beneficios y el valor actual de los costes. La regla de decisión para la implementación del proyecto en el ACB, cuando la única alternativa que se estudia es la situación sin proyecto o de *status quo*, es simple: se aconseja realizar el proyecto desde el punto de vista económico si el VAN obtenido es positivo.

Cuando en el ACB se evalúa más de una alternativa la regla de decisión es un poco más complicada. En ese caso, suponiendo que alguno de los proyectos tuviera un VAN positivo, se seleccionaría aquel proyecto con un mayor VAN. En el caso de que ninguna alternativa tuviese un VAN positivo, la mejor alternativa en términos de eficiencia económica sería permanecer en la situación sin proyecto, es decir que no se realizase el proyecto.

Una debilidad del criterio ACB es que la decisión final depende de las alternativas propuestas. Así, podría darse el caso de que otras alternativas no evaluadas en el ACB fueran considerablemente mejores. Por tanto, aunque el criterio del ACB ordena en términos de eficiencia económica el conjunto de alternativas, no tiene por qué elegir la alternativa más eficiente, si ésta no ha sido tenido en cuenta.

f) *Desarrollo de un análisis de sensibilidad*. Hasta ahora en ninguna de las etapas descritas para realizar un ACB se ha tenido en cuenta la existencia de



incertidumbre sobre los beneficios y costes futuros del proyecto así como para los valores monetarios asociados a cada unidad de input o output. Si se considerase dicha incertidumbre, la decisión última del ACB no se debería tomar en función de un solo valor del VAN. Así, existen técnicas estadísticas que permiten introducir incertidumbre en las variables que forman parte del análisis; como por ejemplo, las simulaciones de *Monte Carlo* que permiten obtener distribuciones de probabilidad del VAN aumentando el rendimiento de la información disponible, lo cual no significa que se elimine el riesgo del proyecto.

g) *Hacer una recomendación basada en el VAN y en el análisis de sensibilidad.*

Tal y como se señaló en el apartado e), en el ACB se elegirá aquella alternativa que genere un VAN más alto, suponiendo que alguna de las alternativas tenga un VAN positivo. Sin embargo, dado que los valores actuales netos son valores esperados, el análisis de sensibilidad podría mostrar que el proyecto con un VAN más alto no fuera la mejor opción al considerar incertidumbre en alguna de las variables de estudio.

Por último es importante tener en cuenta que el ACB es una herramienta que muestra cómo los recursos económicos deberían ser asignados para lograr la maximización de la eficiencia económica; es decir, es una técnica normativa. Sin embargo, la última decisión acerca de la implementación o no de los proyectos deberá tenerla los organismos públicos elegidos democráticamente. Pueden existir otros criterios diferentes a los estrictamente económicos que aconsejen realizar determinados proyectos con valores netos negativos.

### ***2.3. Fundamentos microeconómicos del análisis coste-beneficio***

La evaluación económica de proyectos y políticas públicas a través del Análisis Coste-Beneficio está fundamentada en la teoría microeconómica del bienestar donde el conjunto de individuos tratan de maximizar su utilidad dadas sus preferencias sujetos a dos restricciones: los recursos productivos disponibles y la tecnología. Dado que el objetivo es aumentar la utilidad de los individuos, se deberán producir aquellos bienes que los individuos valoran.

El objetivo de llegar a una situación de eficiencia asignativa<sup>13</sup> es la base conceptual del ACB. En análisis en los que dicha eficiencia es el único criterio de decisión para realizar un proyecto o evaluar una determinada política, el ACB proporciona un método para hacer comparaciones directas entre diferentes alternativas. Esto no impide el uso del ACB cuando los objetivos últimos en la evaluación de proyectos o políticas no son únicamente la mejora en la eficiencia económica.

El concepto de eficiencia económica está estrechamente ligado con el concepto de eficiencia de Pareto; produciéndose una asignación eficiente en el sentido de Pareto si no hay una asignación alternativa que pueda mejorar a al menos una persona, sin empeorar a otra.

La conexión entre el valor actual neto (VAN) positivo y la eficiencia de Pareto es la siguiente: si el resultado de la evaluación de un proyecto o de una determinada

---

<sup>13</sup> Se dice que existe eficiencia asignativa o económica cuando las empresas usan proporciones óptimas de inputs dados sus respectivos precios y la tecnología de producción y además nos es posible aumentar la utilidad de un individuo sin empeorar la de otro, dada una distribución inicial de la renta.

política a través del ACB ofrece un valor actual neto positivo, entonces, es posible encontrar formas de transferencias o compensaciones entre agentes, de manera que esté mejor al menos una persona sin perjudicar a ninguna otra.

Sin embargo, esta regla es bastante restrictiva a la hora de evaluar proyectos y políticas en la vida real. La gran mayoría de proyectos y políticas tienen beneficiarios pero también perjudicados, los cuales, según lo descrito anteriormente, deberían recibir compensaciones de los agentes beneficiados de manera que en la situación final no hubiese ningún perjudicado. Como se puede intuir, esta serie de transferencias o compensaciones serían muy difíciles de implementar en la práctica por un número de razones, tal y como señala Boardman *et al.* (2001).

En primer lugar, se necesitaría información perfecta tanto de los beneficios y costes agregados como de los costes y beneficios individuales de cada uno de los agentes económicos afectados por el proyecto o la política objeto de evaluación. Mientras que los beneficios y costes agregados podrían obtenerse de los precios y cantidades observados en el mercado, sería imposible conocer *ex ante* de forma precisa los beneficios y costes individuales.

En segundo lugar, una vez que conocida la distribución de costes y beneficios a nivel individual, existirían altos costes administrativos para llevar a cabo las compensaciones entre agentes.

En tercer lugar, sería extremadamente costoso establecer un sistema de compensaciones que no distorsionase las decisiones de inversión y de horas de trabajo de las familias.

En cuarto lugar, el hecho de que se compensase a los agentes perjudicados por el proyecto o la política evaluada crearía un incentivo a todos los agentes económicos afectados a sobreestimar los costes y subestimar los beneficios esperados, complicando aún más la tarea de inferir cuánto está dispuesto a pagar cada agente por los outputs obtenidos por el proyecto.

El principio de eficiencia paretiana parece, por tanto, difícil de aplicar en la metodología ACB.

Dada la dificultad de fundamentar el ACB a partir del criterio de eficiencia paretiano, en la metodología coste-beneficio se utiliza una regla de decisión alternativa con menos rigurosidad teórica pero que ofrece una mayor operabilidad. Dicha regla está basada en el criterio de Kaldor-Hicks, el cual afirma que una política o un proyecto debería llevarse a cabo si y solo si aquellos agentes económicos beneficiados pudieran compensar a aquellos agentes perjudicados, y aún así, estuvieran mejor.

Con el criterio de Kaldor-Hicks las compensaciones serían hipotéticas, no se realizarían en la realidad, con lo que se salvarían los problemas enunciados bajo la regla de eficiencia paretiana.

#### ***2.4. La función de bienestar social, la función de utilidad y el análisis coste-beneficio***

Aunque existen diferentes métodos para estimar el cambio en el beneficio social derivada de la implementación de un proyecto o de una determinada política, a

continuación se va a desarrollar la expresada por De Rus (2004) y Pearce y Nash (1981).

Partiendo de una situación de bienestar social (2.4.1) y suponiendo funciones de utilidad ( $U_i$ ) independientes, los cambios en el bienestar social ( $W$ ) se producen, de acuerdo con (2.4.2), por cambios en la utilidad individual de los  $m$  individuos ponderados por el peso que la sociedad establece.

$$W = W(U_1, \dots, U_m) \quad (2.4.1)$$

$$dW = \sum_{i=1}^m \frac{\partial W}{\partial U_i} dU_i \quad (2.4.2)$$

La función de utilidad del individuo  $i$  depende del consumo de los  $n$  bienes y servicios existentes en el modelo, representados por  $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$ .

$$U_i = U_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}) \quad (2.4.3)$$

El problema de optimización de cada consumidor es maximizar su función de utilidad sujeto a su restricción presupuestaria, de manera que el gasto en bienes consumidos no supere la renta disponible del individuo, la cual suponemos exógena en nuestro modelo:

$$\text{Máx. } U_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}) - \lambda_i \left( \sum_{j=1}^n p_j x_{ij} - M_i \right) \quad (2.4.4)$$

donde:

$x_{ij}$  : cantidad del bien  $j$  consumida por el individuo  $i$ .

$M_i$  : renta del individuo  $i$ .

$p_j$  : precio del bien  $j$ .

$\lambda_i$  : utilidad marginal de la renta del consumidor  $i$ .

Las condiciones de primer orden del problema de maximización son las siguientes:

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_{ij}} - \lambda_i p_j = 0 \quad (2.4.5)$$

$$\sum_{j=1}^n p_j x_{ij} - M_i = 0 \quad (2.4.6)$$

En el equilibrio para el consumidor  $i$ , la utilidad marginal de consumir la última unidad del bien  $j$  debe ser igual a la desutilidad de pagar el precio de dicho bien. Además en el equilibrio la totalidad de la renta es gastada en los bienes existentes.

$$p_j = \frac{\frac{\partial U_i}{\partial x_{ij}}}{\lambda_i} \quad (2.4.7)$$

Por otra parte la variación de la función de utilidad del consumidor  $i$  es igual a la suma de las utilidades marginales de cada bien consumido multiplicado por la variación en la cantidad consumida de dichos bienes:

$$dU_i = \sum_{i=1}^m \frac{\partial U_i}{\partial x_{ij}} dx_{ij} \quad (2.4.8)$$

Sustituyendo la condición de primer orden (2.4.5) en (2.4.8) se obtiene la variación en la utilidad individual del consumidor  $i$ :

$$dU_i = \sum_{j=1}^m \lambda_i p_j dx_{ij} \quad (2.4.9)$$

Dicha variación dependerá de la variación en la cantidad consumida de bienes, multiplicado por sus respectivos precios, y por la utilidad marginal de la renta del consumidor.

A través de la función de utilidad indirecta es posible obtener mediciones monetarias de las variaciones en la utilidad individual. La función indirecta de utilidad del consumidor  $i$  se obtiene sustituyendo las  $n$  funciones de demanda individuales de cada bien en la función de utilidad del consumidor  $i$ . Dicha función de utilidad indirecta depende, por tanto, de los precios de los diferentes bienes así como del nivel de renta del consumidor  $i$ :

$$V_i(p_1, p_2, \dots, p_n, M_i) = U_i \quad (2.4.10)$$

Si se añade a la función indirecta de utilidad la restricción presupuestaria se obtiene la siguiente expresión, que depende de los precios y del nivel de renta:

$$V_i(p_1, p_2, \dots, p_n, M_i) - \lambda_i \left( \sum_{j=1}^n p_j x_{ij}(p_1, \dots, p_n, M_i) - M_i \right) \quad (2.4.11)$$

En el punto óptimo, diferenciando con respecto a  $p_j$  se puede calcular la variación en la utilidad cuando varía el precio del bien  $j$ :

$$\frac{\partial V_i}{\partial p_j} = \sum_{h=1}^n \frac{\partial U_i}{\partial x_{ih}} \frac{\partial x_{ih}}{\partial p_j} - \lambda_i \left( x_{ij} + \sum_{h=1}^n \frac{\partial x_{ih}}{\partial p_j} p_h \right) \quad (2.4.12)$$

$$\frac{\partial V_i}{\partial p_j} = \sum_{h=1}^n \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_{ih}} - \lambda_i p_h \right) \frac{\partial x_{ih}}{\partial p_j} - \lambda_i x_{ij} = -\lambda_i x_{ij} \quad (2.4.13)$$

dado que en el óptimo la utilidad marginal obtenida por la última unidad consumida del bien  $h$  es igual a la desutilidad que produce pagar el precio de dicho bien, entonces:

$$\left( \frac{\partial U_i}{\partial x_{ih}} - \lambda_i p_h \right) \frac{\partial x_{ih}}{\partial p_j} = 0; \quad h = 1, 2, \dots, n \quad (2.4.14)$$

Diferenciando la función de utilidad indirecta, se obtiene la siguiente expresión donde se muestra que la variación de la utilidad de un individuo depende de la utilidad marginal con respecto al precio multiplicada por la variación de cada precio más la utilidad marginal de la renta multiplicada por la variación en la renta.

$$dV_i = \sum_{j=1}^n \frac{\partial V_i}{\partial p_j} dp_j + \frac{\partial V_i}{\partial M_i} dM_i \quad (2.4.15)$$

Suponiendo que el nivel de renta permanece constante y usando la expresión (2.4.13):

$$dV_i = -\sum_{j=1}^n \lambda_i x_{ij} dp_j \quad (2.4.16)$$

Esta expresión es equivalente a la obtenida en (2.4.9). Mientras que en la expresión (2.4.16), se mide la variación de la utilidad suponiendo que varían los precios y permanece constante la cantidad consumida de los diferentes bienes; en la



expresión (2.4.9) se mide la variación de la utilidad suponiendo que varían las cantidades consumidas de los bienes permaneciendo constante el nivel de precios.

Dada la dificultad de obtener la utilidad marginal de la renta para consumidores con diferentes niveles de renta ( $\lambda_i$ ), en la metodología ACB se recurre a una serie de medidas monetarias que expresan cambios en la utilidad.

Si se sustituyen la expresiones (2.4.9) y (2.4.16) que expresan variaciones en el nivel de utilidad individual de los consumidores, dentro de la función de bienestar social:

$$dW = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \frac{\partial W}{\partial U_i} \frac{\partial U_i}{\partial M_i} p_j dx_{ij} \quad (2.4.17)$$

$$dW = - \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \frac{\partial W}{\partial U_i} \frac{\partial U_i}{\partial M_i} x_{ij} dp_j \quad (2.4.18)$$

Como se observa en las expresiones (2.4.17) y (2.4.18), la implementación de un proyecto o de un determinada política podrá suponer cambios en el precio o cambios en la cantidad consumida de los bienes. Por otra parte, la variación en el bienestar social dependerá de la variación en el gasto de los bienes consumidos multiplicado por la utilidad marginal social de la renta, que se define como el producto de la utilidad marginal de la renta individual  $\frac{\partial U_i}{\partial M_i}$ , y el factor de ponderación que

transforma la utilidad individual en bienestar social  $\frac{\partial W}{\partial U_i}$ , que deberá ser siempre positivo. A través de dichas expresiones se agregan los efectos individuales de los consumidores que se producen por la implementación del proyecto o de la política

objeto de estudio. Así, las disminuciones en el nivel de utilidad de los consumidores perjudicados por el proyecto o política se verán compensadas por el aumento en el nivel de utilidad de los consumidores beneficiados.

Aplicando el criterio de decisión de Kaldor-Hicks expuesto en apartados anteriores la utilidad marginal social de la renta deberá ser igual a la unidad, de manera que se concede la misma importancia a cualquier consumidor independientemente de su condición, nivel de renta, etc.

Como se puede intuir la función de bienestar social podría ser modificada introduciendo argumentos de carácter redistributivo, político, etc. modificando el factor de ponderación que multiplica a la variación de gastos en los diferentes bienes consumidos<sup>14</sup>.

A continuación se supone que el proyecto o la política objeto de estudio incrementa la producción de ciertos bienes, desviando recursos económicos de la producción de otros bienes y que el precio de los diferentes bienes permanece constante. Se supone que  $n_1$  es el subconjunto de bienes que son producidos debido a la implementación del proyecto o política y  $n_2$  es el subconjunto de bienes que dejan

---

<sup>14</sup> Aunque la función de bienestar puede ser modificada, en la mayoría de las aplicaciones empíricas basadas en el ACB se suele dar el mismo peso a los agentes económicos afectados por el proyecto, independientemente de su naturaleza. El objetivo final del ACB por tanto es aumentar la eficiencia en la asignación de recursos productivos. Cuando se quiere tener en cuenta objetivos no necesariamente económicos suele aplicarse otras técnicas de evaluación, como por ejemplo, el análisis multicriterio.

de ser producidos debido al desplazamiento de recursos económicos<sup>15</sup>. Supongamos para el individuo  $i$ :

$$\sum_{j=1}^n P_j dx_{ij} = \sum_{r=1}^{n_1} P_r dx_{ir} + \sum_{s=1}^{n_2} P_s dx_{is} \quad (2.4.19)$$

Dada la dificultad de obtener información acerca de la cantidad de bienes que dejan de ser producidos ante la implementación del proyecto o de una determinada política, puede utilizarse el valor de los factores de producción que van a ser empleados. Así puede expresarse para el individuo  $i$ , el valor del conjunto de bienes  $n_2$  como el valor de la productividad marginal de los factores de producción ( $F_{sk}$ ) en la producción de los  $n_1$  bienes.

$$\sum_{s=1}^{n_2} P_s dx_{is} = \sum_k \sum_{s=1}^{n_2} P_s \frac{\partial x_{is}}{\partial F_{isk}} dF_{isk} \quad (2.4.20)$$

Suponiendo competencia perfecta en el mercado de factores de producción y en el mercado de productos, entonces el valor de la productividad marginal de los factores es igual al precio de mercado del factor, por lo tanto:

$$\sum_{s=1}^{n_2} P_s dx_{is} = \sum_k \sum_{s=1}^{n_2} \omega_{sk} dF_{isk} \quad (2.4.21)$$

Si se sustituye la expresión (2.4.21) en (2.4.19), para el conjunto de los  $n$  bienes:

$$\sum_{j=1}^n P_j dx_{ij} = \sum_{r=1}^{n_1} P_r dx_{ir} + \sum_k \sum_{s=1}^{n_2} \omega_{sk} dF_{isk} \quad (2.4.22)$$

---

<sup>15</sup> Se está suponiendo implícitamente que los recursos económicos en el sistema son limitados.

Si a su vez, se sustituye (2.4.22) para cada individuo, en la función de bienestar social (2.4.17) se obtiene el cambio en el bienestar social después de implementar el proyecto o la política.

$$dW = \sum_{i=1}^m \frac{\partial W}{\partial U_i} \frac{\partial U_i}{\partial M_i} \left( \sum_{r=1}^{n_1} P_r dx_{ir} - \sum_k \sum_{s=1}^{n_2} \omega_{sk} dF_{isk} \right) \quad (2.4.23)$$

Un proyecto o una política producirá beneficios globales positivos si  $dW > 0$ . Por el contrario, si el proyecto genera beneficios globales negativos, entonces,  $dW < 0$ . Finalmente si  $dW = 0$ , el proyecto o la política objeto de estudio no genera bienestar ni tampoco pérdida de bienestar.

### **3. El análisis coste-beneficio para el proyecto de una terminal de contenedores en el puerto de Santander**

#### ***3.1. La nueva terminal de contenedores: algunos datos básicos***

El Puerto de Santander se encuentra localizado en la fachada atlántica europea, sobre las riveras norte y oeste de la mayor bahía de la costa norte española, ocupando una superficie próxima a  $3.000.000 m^2$ . Desde la segunda mitad de los años noventa, los tráficos del Puerto de Santander han experimentado un crecimiento sostenido, con un volumen de mercancías superior a los cinco millones de toneladas. Estas cifras, respecto a las del periodo 1990-1994, suponen un aumento del 22% en el promedio de los tráficos anuales.

Los intercambios con los países de la Unión Europea representan cerca del 40% del tráfico total del Puerto de Santander, siendo Reino Unido, Finlandia, los Países

Bajos, Bélgica y Alemania los principales puntos de origen y destino de las mercancías. Además de las transacciones con esta área geo-económica, también son destacables los intercambios con Sudáfrica, Brasil, Estados Unidos o Rusia.

El “hinterland” del puerto se extiende desde la Cornisa Cantábrica hacia el interior de la Meseta Castellana, llegando al sur de Madrid, y el corredor del Valle del Ebro, sirviendo de plataforma logística a ciudades como Burgos, Valladolid, Palencia, Pamplona, Zaragoza o Madrid y su área metropolitana. Actualmente, alrededor del 50% del tráfico anual del puerto procede o tiene destino fuera de Cantabria.

En el periodo 1996-2000 la inversión pública del puerto de Santander superó los 42 millones de €, lo que significó una inversión media anual próxima a los 9 millones de €. La inversión prevista para el periodo 2001-2007 alcanzará la cifra de 102 millones de € siendo el desarrollo de las instalaciones portuarias de la Dársena Sur de Raos, la construcción de nuevos muelles en los Espigones Norte y Central, o el desarrollo de una Zona de Actividades Logísticas las iniciativas a las que se orienta preferentemente este esfuerzo inversor.

En este artículo se pretende estudiar la rentabilidad económica del proyecto de inversión que desarrolle las instalaciones de la Dársena Sur de Raos, y que permita al Puerto de Santander ampliar su capacidad para atraer tráfico de mercancías contenerizadas. En 2002, los contenedores superaron las 8.300 TEUs, creciendo más del 300% en toneladas, y cerca de un 520% en TEUs. Mientras que en el primer semestre de 2003 el Puerto de Santander manipuló en torno a 6.000 TEUs.

Las previsiones del tráfico marítimo del Puerto para el periodo 2000-2020 (Plan Director del Puerto de Santander 2000-2020), se elaboraron a partir de dos escenarios: uno conservador, y otro más optimista (cuadro 3.1.1).

**Cuadro 3.1.1.** Previsión de la demanda potencial del tráfico (TEUs)

<b>Años</b>	<b>Escenario 1</b>	<b>Escenario 2</b>
2002	7.000	7.000
2004	9.000	25.000
2006	11.000	27.000
2010	15.000	40.000
2020	20.000	60.000

**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos de Autoridad Portuaria de Santander (2003)

En el escenario 1 se representaba una expectativa de crecimiento de los tráficos actuales en función del estudio de mercado realizado por el Puerto, del crecimiento esperado de la economía y del comportamiento de los tráficos. Este escenario se trata de un escenario conservador, donde no se tiene en cuenta los clientes potenciales ni los proyectos futuros o mejoras en el puerto que pudiesen generar nuevos tráficos.

El escenario 2 supone que la Autoridad Portuaria tiene voluntad de promoción y mejora del puerto y como consecuencia captará nuevos tráficos de contenedores desviados de otros puertos o bien generados por la mejora de la posición competitiva del puerto.

A partir de los datos obtenidos del Plan Director se obtiene una previsión de tráfico de contenedores en el puerto, desagregada por tráfico normal y tráfico desviado de otros puertos (ver anexo 1).

### ***3.2. Estimación del tráfico de mercancías contenerizadas (situación con proyecto y situación sin proyecto)***

Tal y como señalan Coto-Millan y Martínez-Budría (1995), la demanda de servicios portuarios es una consecuencia de los servicios de transporte, que a su vez, es una demanda derivada de la de bienes. Si de todas las alternativas posibles para el transporte de bienes, la construcción de un proyecto de inversión hace que la opción de transporte marítimo sea la menos costosa, se producirá un incremento en la demanda de servicios portuarios. En este sentido, los servicios portuarios pueden calificarse como factores de producción de las empresas.

Tal y como se ha señalado en apartados anteriores, para realizar un ACB es necesario comparar los beneficios y costes que existirían en caso de que se realizase el proyecto, con los beneficios y costes en caso de que no se realizase el proyecto. Para realizar dicha comparación es necesaria la estimación de tráfico previsto suponiendo una situación sin proyecto, así como la estimación de tráfico previsto en el caso de que sí se llevase a cabo el proyecto.

A partir de las previsiones obtenidas del Plan Director, se ha elaborado la previsión de tráfico para mercancías contenerizadas desde 2002 a 2026. Tal y como se señaló en el apartado anterior, dicho plan establecía dos posibles escenarios: uno conservador, suponiendo que no se realizase ninguna obra que ampliase la

capacidad del puerto para tráfico contenerizado; y uno más optimista, en el que sí se consideraba la realización de inversiones para favorecer el tráfico de contenedores en el puerto. Para la situación sin proyecto se ha asociado el tráfico previsto en el escenario 1, mientras que para la situación con proyecto se ha asociado el tráfico previsto en el escenario 2.

Es importante señalar que al aumentar el tráfico de mercancías y buques se produce un incremento paulatino de la tasa de ocupación en los muelles y equipos. Esto origina un aumento cada vez mayor de los tiempos de espera de los buques que hace que, a partir de un cierto nivel, se produzcan desviaciones hacia otros puertos o modos de transporte competidores. Se habla por tanto de la congestión de las instalaciones portuarias.

La Autoridad Portuaria considera que la capacidad máxima anual de las instalaciones existentes para mercancías contenerizadas es 10.174 TEUs/año. Por otra parte, la capacidad máxima anual de la nueva terminal de contenedores, sería igual a 60.000 TEUs/año. Por tanto en la situación con proyecto, la capacidad máxima del puerto para este tipo de mercancías ascendería a 70.174 TEUs/año (Autoridad Portuaria de Santander, 2003).

Una vez obtenidos los datos de capacidad y las previsiones de tráfico se ha calculado el incremento de tráfico debido a la mejora de las instalaciones, distinguiendo dos tipos de tráfico que normalmente se analizan en los estudios de ACB relacionados con proyectos de inversión de infraestructuras de transporte. Por un lado, el tráfico que usa las instalaciones del puerto debido a que no existe ningún



problema de congestión en la situación con proyecto, pero que se desviaría a otro puerto u otro modo de transporte alternativo en una situación de congestión, por ejemplo en la situación sin proyecto. A este tráfico se le denomina *tráfico desviado*.

Por otro lado, debe tenerse en cuenta aquel tráfico que en la situación sin proyecto no usaría ninguna instalación portuaria o modo de transporte español, incluso en ausencia de congestión en el puerto de Santander. Este tráfico que capta el proyecto fuera del territorio nacional, se le denomina *tráfico generado*<sup>16</sup>.

En este trabajo se supone incertidumbre en las variables asociadas al tráfico futuro de contenedores, por tanto no se usarán valores determinísticos para dichas variables sino que se especificarán distribuciones de probabilidad para cada una de ellas. En concreto, se supone que las variables anuales del tráfico futuro con proyecto, se distribuyen normalmente con media igual al valor de tráfico estimado anteriormente y que aparecen en los anexos 1 y 2. Se supone además que, a medida que transcurre el tiempo, la incertidumbre acerca del tráfico futuro de contenedores en el puerto aumenta y, por tanto también debe aumentar la varianza de la distribución normal.

### ***3.3. Cálculo de los beneficios y los costes***

Los principales beneficios y costes que se incluyen en el ACB del proyecto de creación de una nueva terminal de contenedores son:

- a) Ahorros de tiempo para los propietarios de los bienes contenerizados.
- b) Variación en los costes de otros operadores de transporte.
- c) Coste de la inversión.

---

<sup>16</sup> La estimación del tráfico desviado y generado pueden verse en los anexos 1 y 2.

- d) Costes económicos de los terrenos.
- e) Costes de mantenimiento y explotación diferenciales.
- f) Cambios en la calidad del servicio.
- g) Impacto medioambiental.

A continuación se detalla el procedimiento para la estimación económica de los diferentes beneficios y costes que se han señalado excepto los dos últimos, los cuales no han sido introducidos en el análisis debido a que no se disponía de suficiente información.

### **3.3.1. Beneficios derivados del proyecto de inversión**

El principal beneficio de la ampliación es el que se deriva del aumento de la oferta de transporte de mercancías contenerizadas y, por lo tanto, del mantenimiento de similares costes generalizados a los existentes cuando el puerto no tenía restricciones de capacidad.

Existen dos métodos diferentes para estimar los beneficios económicos de una ampliación en las infraestructuras de transporte: el enfoque de los excedentes sociales y el enfoque de la generación de valor. El enfoque de los excedentes sociales consiste en el cálculo directo de los cambios en el excedente de los consumidores y de los productores. Este enfoque requiere identificar los cambios en precios, costes e ingresos en la situación con proyecto y en la situación sin proyecto. El enfoque alternativo trata de estudiar los cambios en el uso de los recursos reales, ignorando transferencias entre agentes económicos. La ventaja que tiene este segundo enfoque es la menor exigencia en cuanto a información, en ocasiones, difícilmente disponible.

Como limitación de este enfoque, el hecho de que no se sepa quiénes son los beneficiarios y perjudicados del proyecto o política a implantar.

El Valor actual neto (VAN) de una inversión en una infraestructura de transporte puede ser expresada por (3.3.1.1), suponiendo que los costes de inversión se realizan en el periodo temporal 0 y que los cambios en los beneficios y costes del proyecto implementado se producen a partir del periodo 1:

$$VAN = -I + \delta_t \sum_{t=1}^T (\Delta CS_t + \Delta PS_t), \quad (3.3.1.1)$$

donde:

$I$  son los costes de inversión.

$T$  el periodo de evaluación de la infraestructura.

$\Delta CS_t$  es el cambio producido en el excedente del consumidor en el año  $t$ .

$\Delta PS_t$  es el cambio observado en el excedente del productor en el año  $t$ .

$\delta_t$  es el factor de descuento en el año  $t$ , que es igual a  $1/(1+i)^{-t}$  donde  $i$  es la tasa social de descuento.

El cambio en el excedente del consumidor puede estimarse tal y como señala a continuación:

$$\Delta CS_t = (g_{ts} - g_{tc})q_{ts} + \frac{1}{2}(g_{ts} - g_{tc})(q_{tc} - q_{ts}) = \frac{1}{2}(g_{ts} - g_{tc})(q_{ts} + q_{tc}),$$

$$g_{ts} = p_{ts} + \tau_{ts} \quad (3.3.1.2)$$

$$g_{tc} = p_{tc} + \tau_{ts}$$

donde:

$g_{ts}$  es el coste generalizado en el año  $t$  sin la construcción del proyecto, que es igual a la suma de  $p_{ts}$ , precio por la manipulación por TEU en el puerto incluyendo las tasas portuarias en el año  $t$  sin la construcción del proyecto más  $\tau_{ts}$ , valor del tiempo de viaje de las mercancías transportadas en el año  $t$  sin la construcción del proyecto.

$g_{tc}$  es el coste generalizado en el año  $t$  con la construcción del proyecto, que es igual a la suma de  $p_{tc}$ , precio por la manipulación por TEU en el puerto incluyendo las tasas portuarias en el año  $t$  con la construcción del proyecto más  $\tau_{tc}$ , valor del tiempo de viaje de las mercancías transportadas en el año  $t$  con la construcción del proyecto.

$q_{ts}$  es la cantidad de TEUs en el año  $t$  que mueve el puerto sin la construcción del proyecto.

$q_{tc}$  es la cantidad de TEUs en el año  $t$  que mueve el puerto con la construcción del proyecto.

La variación en el excedente del productor es la siguiente:

$$\Delta PS_t = p_{tc}q_{tc} - p_{ts}q_{ts} + C_{ts}(q_{ts}) - C_{tc}(q_{tc}), \quad (3.3.1.3)$$

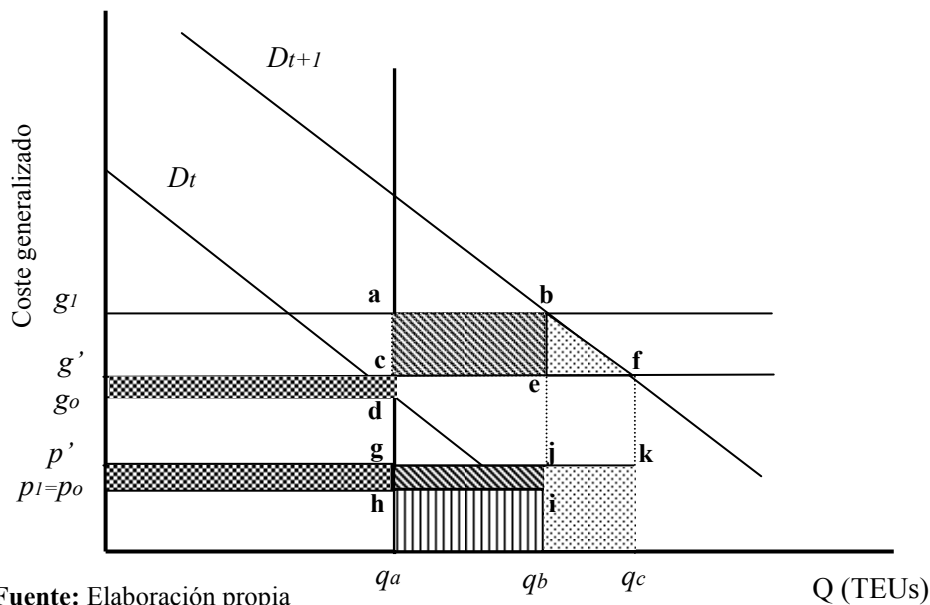
donde:

$C_{ts}(q_{ts})$  son los costes variables y semifijos para el periodo  $t$  en la situación en la que no se lleva a cabo el proyecto.

$C_{tc}(q_{tc})$  son los costes variables y semifijos para el periodo  $t$  en la situación en la que se lleva a cabo el proyecto.

Se supone en este ACB, que los costes marginales del puerto son constantes es decir, no varían cuando aumenta el producto, en este caso la manipulación de los contenedores<sup>17</sup>.

**Gráfico 3.3.1.1.** Beneficios económicos con una situación de congestión en el puerto



**Fuente:** Elaboración propia

Este análisis está basado parcialmente en el análisis hecho por Jorge y de Rus (2004).

El gráfico 3.3.1.1 muestra los efectos de la construcción de una terminal de contenedores, que trata de aumentar la capacidad de dicho tráfico en el puerto<sup>18</sup>. El

<sup>17</sup> Cuando se habla de costes marginales se refiere a los costes monetarios. Se supone por tanto que cuando se produce el fenómeno de la congestión en el puerto, no aumenta el coste monetario sino el tiempo empleado en realizar las operaciones portuarias oportunas; aumentando por tanto, el coste generalizado de las operaciones.

coste generalizado de los servicios del puerto están medidos en el eje de ordenadas mientras que el número de TEUs por año aparecen representados en el eje de abcisas. Dada una determinada demanda de servicios portuarios en el periodo  $t$ , igual a  $D_t$ , el coste generalizado relativo al manejo de contenedores en el puerto es  $g_0$  y el número de contenedores, expresados en TEUs es  $q_a$ <sup>19</sup>; que coincide con la máxima capacidad del puerto de Santander, en la situación sin proyecto. Si en el periodo siguiente, la demanda de servicios portuarios fuese menor que  $q_a$ , el coste generalizado unitario de los contenedores seguiría siendo  $g_0$ ; si por el contrario en el periodo siguiente la demanda aumentase siendo mayor que  $q_a$ , el coste generalizado ya no sería  $g_0$ , dado que el puerto tendría problemas de congestión. Se supone que las empresas que demandan operaciones portuarias en el puerto de Santander tienen un sustitutivo imperfecto con un coste generalizado  $g_1$ , mayor que  $g_0$ . Tal y como se señaló en apartados anteriores la capacidad del puerto sin ampliarse (es decir, en la situación sin proyecto) era de 10.174 TEUs al año, mientras que si el puerto implementase el proyecto la capacidad para acoger contenedores sin sufrir problemas de congestión llegaría a los 70.174 TEUs (situación con proyecto).

Si se supone un desplazamiento de la demanda de servicios portuarios, pasando a ser la nueva demanda  $D_{t+1}$  en el periodo  $t+1$  y suponiendo que el proyecto de

---

<sup>18</sup> Para simplificar la notación, tanto en el coste generalizado como en el precio y la cantidad se ha prescindido del subíndice que denota el periodo temporal.

<sup>19</sup> La cantidad de contenedores que operan en el puerto,  $q_a$ , se obtiene igualando la demanda,  $D_t$ , con el coste generalizado del puerto  $g_0$ .

inversión no se llevase a cabo,  $q_a$  sería la cantidad de contenedores anuales que usasen el puerto a un coste generalizado igual a  $g_0$ . Este tráfico sería el tráfico existente en el puerto independientemente si se realiza o no la terminal de contenedores en el puerto.

Sin embargo, la construcción de la nueva terminal de contenedores permitiría mantener el coste generalizado de las operaciones portuarias a niveles similares a los que existían sin problemas de congestión en el puerto. Así, el nuevo coste generalizado para contenedores que usasen el puerto sería igual a  $g'$ , el cual permanecería constante hasta llegar al nuevo límite de capacidad establecido en 70.174 TEUs. Este nuevo coste generalizado es mayor que  $g_0$  pero menor que el coste generalizado del sustitutivo imperfecto  $g_1$ . Por otra parte, si  $g_0$  es igual a  $g_0 = p_0 + \tau_0$ ,  $g'$  es igual a  $g' = p' + \tau_0$ . Se supone que el precio por manipulación de los contenedores ha aumentado debido al aumento de las tasas portuarias y del resto de operadores portuarios. Dicho aumento sirve para cubrir la inversión realizada por la Autoridad Portuaria y los operadores privados y obtener una tasa de retorno sobre el capital normal. También se supone que el precio inicial sin inversión en el puerto  $p_0$ , es igual al precio del sustituto imperfecto,  $p_1$ <sup>20</sup>.

---

<sup>20</sup> Si se supone que el precio de las operaciones portuarias en la situación sin proyecto para el puerto de Santander es igual que el precio del sustituto imperfecto; pero sin embargo, el coste generalizado en la situación sin proyecto es menor que el coste generalizado del sustituto imperfecto puede deberse a que dicho sustituto es una infraestructura portuaria o modo de transporte más ineficiente que el puerto de Santander.

Dada la demanda  $D_{t+1}$  en el periodo  $t+1$ , la cantidad de contenedores que usasen el puerto una vez construida la terminal sería igual a  $q_c$ <sup>21</sup>.

Así si se compara la situación sin proyecto con la situación con proyecto; en el caso de que no se construyese la terminal de contenedores, existiría una parte del tráfico que se desviase a otros puertos alternativos u otros modos alternativos<sup>22</sup> igual a  $(q_b - q_a)$ , a este tráfico se le denomina *tráfico desviado*.

Otra parte del tráfico en la situación sin proyecto, denominado *tráfico generado* e igual a  $(q_c - q_b)$ , no se llevaría a cabo o utilizaría modos de transporte fuera del territorio nacional.

Los beneficios derivados de la construcción de la terminal podrían ser expresados como:

$$(g_1 - g')(q_b - q_a) + \frac{1}{2}(g_1 - g')(q_c - q_b) - (g' - g_0)q_a + p_0'q_c - p_0q_a \quad (3.3.1.4)$$

En el gráfico 3.3.1.1 se pueden observar tres categorías diferentes de beneficios: (i) beneficios procedentes del tráfico existente, (ii) beneficios procedentes del tráfico desviado y (iii) beneficios procedentes del tráfico generado.

---

<sup>21</sup> La cantidad de contenedores que operan en el puerto,  $q_c$ , se obtiene igualando la demanda,  $D_{t+1}$ , con el nuevo coste generalizado del puerto  $g'$ .

<sup>22</sup> Para simplificar el análisis se supone que en la situación sin proyecto una parte de los contenedores pasan utilizar el sustitutivo imperfecto con coste generalizado  $g_1$ .



Los beneficios procedentes del tráfico existente son iguales a  $-(g' - g_0)q_a + (p' - p_0)q_a$  que en el gráfico están representados por las áreas  $-cdg'g_0 + ghp'p_0$ . Dado que  $(g_0 - p_0) = (g' - p')$ , los beneficios son iguales a cero  $cdg'g_0 = ghp'p_0$ .

Los beneficios del tráfico desviado son iguales a  $(g_1 - g')(q_b - q_a) + p'(q_b - q_a)$ . Este beneficio puede interpretarse como el ahorro de recursos reales (ahorros de tiempo) del tráfico desviado más el ahorro de los costes de transporte de los bienes contenerizados que en la situación con proyecto han sido retenidos en el puerto de Santander sin tener que acudir al sustitutivo imperfecto con el que contaban en caso de que el puerto sufriese problemas de congestión. Este beneficio está representado por las áreas  $abce + ghji$  que corresponden con el ahorro de recursos reales (ahorros de tiempo de las mercancías) y el área  $hiq_aq_b$  que corresponde con el ahorro en los costes de transporte.

Los beneficios por tráfico generado son iguales a  $\frac{1}{2}(g_1 - g')(q_c - q_b) + p'(q_c - q_b)$ , los cuales pueden definirse como el tráfico generado gracias a la construcción de la terminal de contenedores. En el gráfico, estos beneficios están representados a través de las áreas  $bef + jkq_bq_c$ .

A partir de este sencillo modelo teórico, es posible calcular el beneficio neto para cada periodo. En primer lugar, es necesario estimar los valores de los diferentes variables necesarias para cuantificar la rentabilidad económica del proyecto. Dada la

falta de datos relativos a los costes de operación del puerto de Santander, se han tenido en cuenta los costes unitarios de manipulación del puerto de Bilbao, actualizados al año 2002, los cuales sirven para calcular el coste monetario inicial de manipulación. El precio por contenedor para 2002 es igual a 144 €, que corresponde con  $p_0 = p_1$ <sup>23</sup>. Por otra parte, si la Autoridad Portuaria lleva a cabo el proyecto de construcción de la nueva terminal de contenedores, el nuevo precio de manipulación por contenedor es igual a 153 € que corresponde con  $p'$ .

El puerto de Bilbao, el sustituto imperfecto del puerto de Santander, está situado a 100 km. de distancia del puerto de Santander. El tiempo de viaje estimado por contenedor es 1 hora y 45 minutos. Para calcular los ahorros de tiempo de las mercancías contenerizadas deberán multiplicarse los ahorros de tiempo, por un valor unitario del tiempo para las mercancías contenerizadas. Dichos valores del tiempo son los utilizados por Puerto del Estado (2003)<sup>24</sup>. El coste unitario de transporte<sup>25</sup> para el camión es igual a 0,05€/Ton.Km. (Puertos del Estado, 2003).

---

<sup>23</sup> Se supone que el puerto de Bilbao es el sustitutivo imperfecto para los contenedores que demandan los servicios portuarios del puerto de Santander. Tal y como se señaló anteriormente, en la situación sin proyecto, suponiendo igualdad de precios para las operaciones portuarias, el hecho de que el coste generalizado del puerto de Bilbao sea mayor que el coste del puerto de Santander puede deberse que el primero es más ineficiente que su sustituto, sin embargo, este último no tiene problemas de capacidad para mercancías contenerizadas. Coto-Millan *et al.* (2000) presenta evidencia empírica de la mayor eficiencia económica del puerto de Santander con respecto al puerto de Bilbao.

<sup>24</sup> El estudio del valor del tiempo de las mercancías es un área de conocimiento muy poco desarrollado a nivel mundial. Algunos trabajos son los realizados por Hague Coultling Group (de Jong *et al.*, 1995) en Europa, así como el estudio de Wigan *et al.* (2000) para Australia.

<sup>25</sup> Dentro de coste unitario de transporte se tiene en cuenta los costes de mantenimiento de los camiones, el consumo de gasóleo y aceite, el desgaste de ruedas y la depreciación del camión.

Además se supone este valor como incierto<sup>26</sup>, de manera que en el estudio dicha variable está distribuida uniformemente donde los valores mínimos y máximos son 0,04 y 0,06.

Otro de los beneficios del tráfico desviado del sustitutivo imperfecto al puerto de Santander que no se mostraba en el gráfico anterior es la disminución de la congestión en el tramo Santander-Bilbao de la autovía A-8 debido al menor número de camiones, lo que permitirá ahorros de tiempo y de accidentes a los usuarios de dicho tramo. La congestión, al igual que el ruido o los accidentes, es otro de los bienes que no tienen mercado, siendo por tanto difícil la estimación de su coste para la sociedad.

La congestión en una vía interurbana forma parte del componente externo dentro del coste social, la cual provoca reducciones de la velocidad media de los vehículos al incorporarse nuevos vehículos al flujo circulatorio. Esta reducción de la velocidad provoca un aumento del tiempo de viaje y por lo tanto el coste generalizado del viaje.

Cada usuario adicional de la vía interurbana no sólo genera un coste generalizado (en términos monetarios y de tiempo), sino que además genera un coste externo que no es asumido íntegramente por el mismo. A este coste externo se le denomina congestión. Otros costes externos provocados por el aumento en el uso de vías interurbanas son los accidentes en carretera.

Para valorar la congestión y los accidentes como efecto externo, debe obtenerse una medida del incremento de coste temporal que un vehículo adicional produce

---

<sup>26</sup> Este coste de transporte depende del coste de gasóleo que es muy volátil.

sobre el resto de vehículos existentes en la vía. Por tanto, es necesario conocer el volumen de tráfico antes y después del proyecto de construcción de la terminal de contenedores en la carretera.

Para calcular los ahorros de tiempo producidos por la disminución de la congestión en el tramo de la autovía Santander-Bilbao de la autovía A-8, se va a emplear una función que relaciona la velocidad de recorrido en el vía con el volumen de tráfico. La inversa de esta función permite conocer cómo varía el tiempo de viaje en función del número de vehículos.

La función considerada en este trabajo específica para una carretera de varias calzadas es la siguiente<sup>27</sup>:

$$V_l = 48 + 72 \left( 1 - \frac{I}{C} \right)^{\frac{1}{2}}$$

donde:

$V_l$  es la velocidad de los vehículos ligeros expresada en Km./h.

$I$  es la intensidad media horaria de vehículos.

$C$  es la capacidad horaria de la carretera, que se define como el volumen máximo horario de vehículos que puede acoger sin que haya problemas de congestión.

Las magnitudes de la capacidad de la vía vienen determinadas por los parámetros utilizados en la metodología TRB (1985).

---

<sup>27</sup> Tal y como señalan Inglada y Coto (2003), la relación utilizada surge de aproximar una función de segundo grado a la curva que propugna el Manual de Capacidad de Carreteras de Estados Unidos, TRB (1985).

Por otro lado, la velocidad de los vehículos pesados se obtiene de la siguiente expresión:

$$V_p = 0,59V_l + 28,85$$

donde:

$V_p$  es la velocidad del vehículo pesado, expresada en Km./h.

Dado que los costes externos que incurren los vehículos pesados son mayores que los costes externos de los vehículos ligeros debe homogeneizarse el tráfico. Una posible medida de homogeneización es el uso del *passenger car unit* (pcu), de manera que un vehículo ligero congestiona como un pcu y un vehículo pesado puede congestionar como 2,5 pcu.

Una vez que se ha calculado la disminución del tiempo de viaje de los usuarios de la vía es necesario monetizarlo. Para ello, son necesarios valores del tiempo de viaje de los vehículos pesados y ligeros. A pesar de la importancia de dichos valores para la evaluación de proyectos relativos a infraestructuras de transporte, existen pocos estudios teóricos y empíricos que determinen valores del tiempo de viaje para viajeros<sup>28</sup>. En este ensayo se han considerado los valores que aparecen en el Manual del Ministerio y que se detallan en MOPTMA (1991). Estos valores expresados en

---

<sup>28</sup> Algunos estudios que abordan el tiempo como cualquier otro bien que es valorado por los individuos son los realizados por Becker (1965), DeSerpa (1971) y Evans (1972), los cuales podrían englobarse dentro de los modelos de elección del consumidor dado que introducen directamente el bien tiempo en la función de utilidad de los individuos. Por otra parte, los trabajos de Train y McFadden (1978) y Jara-Díaz (1998) se engloban dentro de los modelos de elecciones discretas, ya que están basados en la elección de un bien dentro de un conjunto de alternativas. Para más detalles, ver Sainz (2005).

precios del año 2002 son 12,33 y 21,15 € por hora para coche y camión, respectivamente. Dado que dichos valores no son valores propios del estudio, sino que han sido tomados del Ministerio se van a considerar inciertos para el periodo de evaluación y por tanto se va a suponer que se distribuirán bajo una normal cuya media son los valores enunciados anteriormente.

La intensidad media diaria en el tramo Santander-Bilbao de la A-8 durante el año 2001 en ambas direcciones fue de 13.916 vehículos, siendo el porcentaje de vehículos pesados igual al 19%<sup>29</sup>. La hipótesis de crecimiento de tráfico durante el periodo de evaluación es del 3% anual acumulativo<sup>30</sup>.

Para el cálculo de los beneficios obtenidos por la disminución de accidentes se emplean las funciones utilizadas por el Ministerio de Transporte para determinar el número de accidentes mortales y leves en función de las características del tramo de autovía (MOPTMA, 1992).

$$NM = 365 * IMD * L * IM * 10^{-8}$$

$$NH = 365 * k * IMD * L * IP * 10^{-8}$$

donde:

$NM$  es el número de muertos.

$NH$  es el número de heridos.

$IMD$  es la intensidad media diaria.

---

<sup>29</sup> Datos obtenido de Inglada y Coto (2003).

<sup>30</sup> Datos obtenidos de la empresa consultora de obras públicas Senor, S.A.

$L$  es la longitud del tramo.

$IM$  es el índice de mortalidad.

$IP$  es el índice de peligrosidad.

$k$  es una constante.

Tal y como señala el MOPTMA (1992), el valor de  $k$  para las autopistas y autovías es igual a 1,72. El índice de peligrosidad para autopistas y autovías es igual a 24. El índice de mortalidad es igual al 2,69 para este tipo de vía.

Una vez que se han estimado el número de muertes y heridos producidos por las características de las vías y el tráfico de vehículos, en la situación sin proyecto y en la situación con proyecto, deben ser valorados económicamente para agregarse en la partida de beneficios sociales<sup>31</sup>. En este estudio se usan los valores dados por el Ministerio de Transporte (MOPTMA, 1992) debidamente actualizados a precios de 2002. Así el valor de los accidentes mortales es igual a 211.196 €, mientras que para los accidentes no mortales el valor es igual a 27.896 €. Al igual que ocurría con los valores de tiempo para coches y camiones, tanto el valor de los accidentes mortales como el valor de los accidentes no mortales van a considerarse inciertos y por tanto

---

<sup>31</sup> La estimación del valor de la vida ha sido objeto de varios estudios lo que ha permitido el uso de diferentes enfoques. Una aproximación al valor de la vida puede realizarse a través de salarios hedónicos (preferencias reveladas) en sectores del mercado con alto riesgo laboral (Rosen, 1986). Otra aproximación es mediante la valoración contingente a través de encuestas. Por último se puede valorar la vida mediante el cálculo del valor actual de las ganancias futuras de la víctima a partir de la esperanza de vida y de la renta esperada del sujeto. Para más detalles acerca del valor de la vida, ver Jones-Lee (1994) o Viscusi (1993).

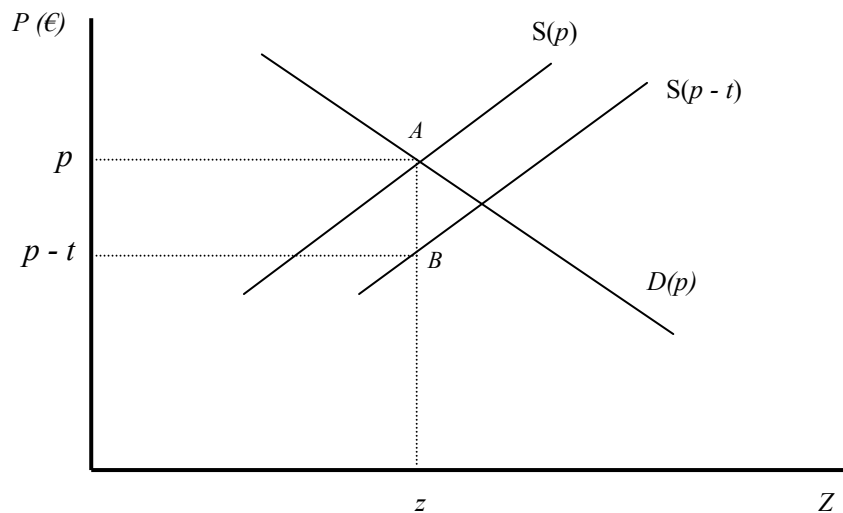
seguirán una distribución normal con media igual a los valores enunciados anteriormente.

### 3.3.2. Costes derivados del proyecto de inversión

Los costes del proyecto para la Autoridad Portuaria son los costes de inversión de establecimiento así como los relativos a su mantenimiento y explotación. Para su inclusión en el ACB, algunos de estos costes medidos en términos de precio de mercado, deben expresarse en términos de coste de oportunidad.

En general, el coste de oportunidad o precio sombra de los inputs empleados en el proyecto de inversión es igual al precio de mercado menos los impuestos indirectos, ya que se considera que la demanda de cualquier factor productivo para llevar a cabo el proyecto es marginal con respecto al tamaño del mercado de dicho factor.

**Gráfico 3.3.2.1.** El mercado de un input con impuestos



**Fuente:** De Rus (2004)



El gráfico 3.3.2.1. muestra la situación del mercado de un input  $z$ . El desplazamiento de la demanda del input debido al proyecto es despreciable con respecto al tamaño del mercado, por lo tanto el precio del input no se modifica en la situación con proyecto. El precio de mercado del input es igual a  $p$ , sin embargo el hecho de que exista un impuesto ad valorem hace que tal precio no sea igual al coste de oportunidad por el empleo de  $z$ . Éste será igual a  $p-t$ , donde  $t$  es igual al impuesto unitario por unidad de input. Se considera que  $t$  es una mera transferencia de renta ya que no es un impuesto pigouviano que trate de reducir algún tipo de externalidad negativa asociada al consumo del input  $z$ .

Por lo tanto, para calcular el coste de oportunidad de los inputs se deberá descontar aquellos impuestos, por ejemplo, el IVA para la mayoría de bienes intermedios o los impuestos que graban la energía en el caso del combustible.

El presupuesto del Proyecto a precios de mercado y su distribución en anualidades es el siguiente.

#### Cuadro 3.3.2.1. Presupuesto del proyecto

Actuación	Concepto	Inversión (€)
Nuevos muelles en la dársena sur de Raos	Dragados, excavaciones y escolleras	12.057.922,88
	Muelle y superestructuras	3.583.945,48
	Pavimentación	48.529,18
	Varios	188.227,71
	Drenaje y abastecimiento	369.000,00
	Seguridad y salud	98.400,00
	Grúa pórtico	3.000.000
	<b>Total</b>	<b>19.346.025,25</b>

**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos de Autoridad Portuaria de Santander (2003)

**Cuadro 3.3.2.2.** Programa de inversiones a precios de mercado

Años	Presupuesto (€)
2002	0,00
2003	100.000,00
2004	8.143.000,00
2005	8.103.025,25
2006	3.000.000,00
<b>Total</b>	<b>19.346.025,25</b>

**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos de Autoridad Portuaria de Santander (2003)

Dado que el periodo de evaluación abarca 25 años, y que la vida útil de alguno de los activos de la inversión es menor que estos 25 años, se debe proceder a estimar los costes de reposición.

Por otro lado, es preciso considerar el valor residual neto que conservan los activos que constituyen el proyecto, en el último año del periodo de evaluación.

En cuanto al valor residual en términos de coste de oportunidad y de forma coherente con los procedimientos propuestos anteriormente, en Puertos del Estado (2003) se aplica la siguiente fórmula, cuando no existen criterios consistentes que determinen precios de mercado para el valor residual de los activos en el momento de ser dados de baja:

$$VR_{CO} = VI_{CO} \times \left( \frac{1}{20} \right)^{\frac{PE}{VU}}$$

Con  $PE \leq VU$

Donde,

- $VR_{CO}$  : Valor Residual a Costes de Oportunidad;

- *Vico* : Valor Inicial a Costes de Oportunidad;
- *PE* : Período de Evaluación, durante el cual el activo presta servicio; y
- *VU* : Vida Útil del activo.

Una vez que se dispone de las cifras de la inversión de establecimiento a precios de mercado sin el impuesto indirecto (IVA), se debe estudiar con detenimiento el cálculo del coste de oportunidad del factor trabajo, debido a sus peculiares características. Se deberá estimar el coste de oportunidad tanto de la mano de obra utilizada en la construcción de la infraestructura, como de aquella requerida para el mantenimiento y explotación del proyecto.

### Cuadro 3.3.2.3. Costes de reposición y valores residuales a precios de mercado

Elemento	Vida útil	Año de puesta en servicio	C.rep.- C.resid.	Valor residual en el año 2026 (%)	Valor inicial (euros)	Valor residual (euros)
Muelles de gravedad	40	2006		22,36%	6.368.684	1.424.081
Rellenos	100	2006		54,93%	391.425	215.002
Dragado	50	2006		30,17%	8.887.757	2.681.514
Defensas y elementos de amarre	15	2006	178.816	36,84%	188.227	69.343
Pavimentación	15	2006	46.102	36,84%	48.529	17.878
Instalaciones	25	2006		5,00%	369.000	18.450
Seguridad y salud	0	2006		0,00%	98.400	0
Grúa Pórtico	25	2006		4,43%	9.000.000	133.125
<b>Total</b>			<b>224.919</b>		<b>16.352.02,</b>	<b>4.426.270</b>

**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos de Autoridad Portuaria de Santander (2003)

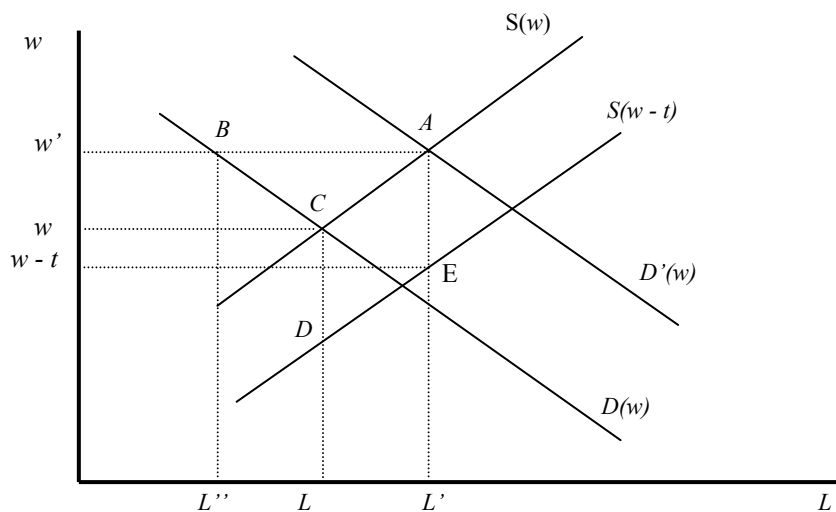
En un ACB existen tres categorías de mano de obra dentro de un proyecto:

- Trabajadores activos empleados y atraídos desde otras actividades productivas.

- Trabajadores activos en paro, es decir aquellos trabajadores que están voluntariamente en situación de desempleo pero que aceptarían trabajar por un salario de mercado marginalmente superior.
- Desempleados de forma involuntaria, aquellos que están dispuestos a trabajar por el salario de mercado, si hubiese trabajo.

Para este trabajo se ha considerado que el proyecto de inversión no va a contratar desempleados involuntarios. Implícitamente se está suponiendo bien que no existe desempleo voluntario (situación de pleno empleo), o bien que existe un gran número de desempleados no dispuestos a trabajar por el salario de mercado en el periodo 0 del proyecto.

**Gráfico 3.3.2.2.** El mercado de trabajo con impuestos



**Fuente:** De Rus (2004)

El gráfico 3.3.2.2. muestra la determinación del precio sombra (o coste de oportunidad del uso del factor trabajo) en el mercado de trabajo con la existencia de impuestos (pe impuesto sobre la renta salarial). El hecho de que exista un impuesto sobre la renta salarial hace que la función de oferta de trabajo del mercado  $S(w)$  sea diferente a la valoración marginal del ocio  $S(w-t)$ . La realización del proyecto de inversión aumenta la demanda de trabajo en  $(L'-L)$ . Gráficamente, se desplaza paralelamente la curva de demanda de trabajo desde  $D(w)$  a  $D'(w)$ . En consecuencia, el nuevo salario de mercado pasa a ser  $w'$  y el número de trabajadores contratados  $L'$ . ¿Cuál es la procedencia de los trabajadores contratados?. En el gráfico se observa que  $(L-L')$  son trabajadores que estaban anteriormente empleados en otras actividades productivas. El coste de oportunidad de emplear a estos trabajadores en el proyecto será igual al área  $BCL'L$ , es decir, el precio de mercado bruto menos los costes sociales (de la Seguridad Social) a cargo de los empleadores. El coste de oportunidad del resto de trabajadores, que en la situación sin proyecto estaban desempleados voluntariamente, será igual a la valoración del ocio, que es igual al área  $DELL'$ . El área  $CADE$  es el importe total del impuesto que se supone es una mera transferencia de renta. Por lo tanto el coste de oportunidad de esta categoría de trabajadores es igual al precio de mercado bruto menos los costes sociales pagados por los empleadores menos el impuesto de la renta salarial y menos el subsidio de desempleo en caso de que los percibiera. Si en el mercado de trabajo no existiese un impuesto sobre la renta salarial, la oferta de trabajo del mercado sería igual a la valoración marginal del ocio y por tanto el coste de oportunidad de los trabajadores sería igual al área  $CALL'$ .

La estimación de los costes económicos de los terrenos se ha separado de la evaluación del resto de costes económicos de la inversión debido a la peculiaridad en su valoración económica.

La distinta procedencia de los terrenos que se van a incorporar en la inversión (terrenos ganados al mar y terrenos previamente en propiedad de la Autoridad Portuaria) obliga a un tratamiento diferenciado del mismo. Los terrenos ganados al mar, que representan un total de  $11.826 m^2$ , tiene un coste económico nulo; no obstante sí cuentan con un valor residual al finalizar el periodo de análisis del Proyecto, en el año 2026. En concreto se ha estimado que cada metro cuadrado de superficie tiene un valor de  $97,71 \text{ euros}/m^2$ .

Por otro lado, la Autoridad Portuaria es propietaria de  $39.600 m^2$  de superficie los cuales han de incorporarse en la evaluación económica por el hipotético valor de compra (precios de mercado) en el año corriente, computándose un valor residual de igual cuantía y de signo contrario en el último año del periodo de evaluación del proyecto. Los valores de esas superficies han sido de  $88,83 \text{ euros}/m^2$  para  $22.000 m^2$  mientras que el resto se ha valorado a  $79,95 \text{ euros}/m^2$ , importes éstos hallados en función de las distancias a la línea del cantil del muelle.

En cuanto a los costes de mantenimiento y explotación se estima que la construcción de la terminal va a suponer un incremento de la plantilla de ocho personas para poder controlar la gestión de las terminales por parte de la Autoridad Portuaria, así como la contratación de un nuevo gruista.

El coste de oportunidad anual de cada persona contratada por la Autoridad Portuaria es igual a 30.862,97 €, mientras que el coste de oportunidad del gruista es igual a 30.000 € anuales.

#### Cuadro 3.3.2.4. Costes de personal

	Autoridad Portuaria	Estibadora	Total
Puestos de trabajo	8	1	9
Sueldo Medio	30.861,97	30.000	60.861,97
<b>Gastos en Personal</b>	<b>-246.895,77</b>	<b>-30.000</b>	<b>-276.895,77</b>

**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos de Autoridad Portuaria de Santander (2003)

Los gastos de conservación de las obras se computan como porcentajes anuales respecto a su coste inicial. Los gastos de conservación y mantenimiento previstos son:

#### Cuadro 3.3.2.5. Gastos de mantenimiento anuales

	Año de puesta en servicio	Valor inicial (euros)	Gastos anuales (en % del valor inicial)	Gastos anuales
Muelles de gravedad	2005	6.368.684,87	1,00%	63.686,85
Rellenos	2005	391.425,64	0,50%	1.957,13
Dragado	2005	8.887.757,84	1,00%	88.877,58
Defensas y elementos de amarre	2005	188.227,71	0,50%	941,14
Pavimentación	2005	48.529,18	2,00%	970,58
Instalaciones	2005	369.000,00	9,00%	33.210,00
Seguridad y salud	2005	98.400,00	0%	0,00
Grúa pórtico	2005	3.000.000	4,5%	135.000
<b>Total</b>		<b>19.352.025,24</b>		<b>324.643,28</b>

**Fuente:** Elaboración propia a partir de Autoridad Portuaria de Santander (2003)

Una vez que se dispone de las cifras de los gastos de conservación y mantenimiento a precios de mercado sin IVA se ha descontado el precio de la mano de obra atribuible a las cotizaciones sociales y el precio de la energía atribuible a los

impuestos especiales, para obtener el valor de los gastos de conservación y mantenimiento en términos de coste de oportunidad.

### ***3.4. La elección de la tasa social de descuento***

Una vez que se han calculado los beneficios y costes para el periodo de evaluación del proyecto, es necesario aplicar una tasa de descuento que actualice dichos flujos.

El hecho de que se descuenta los flujos de beneficios y costes futuros se debe a que una determinada cantidad de recursos en el presente tiene mayor valor que la misma cantidad de recursos en el futuro. Desde el punto de vista del consumo, se puede afirmar que los individuos prefieren consumir una cantidad de recursos en el presente que consumir esa misma cantidad en el futuro. Ahora bien en el ACB, la cuestión verdaderamente relevante es determinar qué cantidad de recursos está dispuesta a renunciar la sociedad para aumentar su consumo en el futuro, dando por supuesto que la elección realizada por la sociedad debe estar basada en las elecciones individuales de los agentes que la componen. Existen sin embargo dentro de la literatura ACB tres cuestiones que aún no se han resuelto totalmente y que son relevantes a la hora de decidir la tasa social de descuento. En primer lugar, cabría preguntarse si los tipos de interés de mercado reflejan correctamente cuál es la tasa de sustitución entre consumo presente y consumo futuro para los individuos. En segundo lugar, debería tenerse en consideración, además de las preferencias de la sociedad actual, las preferencias que tendrán las generaciones futuras en cuanto al consumo de recursos. Por último, habría que decidir si se debe valorar de la misma



manera los recursos destinados a la inversión de aquellos destinados al consumo. El hecho de que no exista una metodología totalmente consistente con la teoría económica hace que se pueda optar por numerosos métodos para decidir qué tasa social de descuento aplicar a los estudios ACB.

Tal y como demuestra la teoría microeconómica, en un modelo simple con mercados perfectos, la tasa marginal de preferencia temporal<sup>32</sup> se iguala al tipo de interés de mercado. Si además, se introduce en el modelo la posibilidad de producción sin posibilidad de intercambio, en equilibrio, y siempre suponiendo mercados perfectos, la tasa marginal de preferencia temporal es igual al tipo de interés de mercado e igual al tipo marginal de rendimiento de la inversión<sup>33</sup>. Por lo tanto suponiendo mercados perfectos la elección de la tasa social de descuento sería trivial, bastaría aplicar como tasa de actualización el tipo de interés de mercado.

Sin embargo, en la economía real los supuestos empleados en el modelo con mercados perfectos son poco probables. Así, ante la existencia de impuestos, incertidumbre, o costes de transacción, las tres medidas enunciadas anteriormente (tasa marginal de preferencia temporal, tipo de interés de mercado y tipo marginal de rendimiento de la inversión) suelen ser diferentes.

Existen sin embargo otros métodos que tienen en cuenta la ausencia de mercados perfectos en la economía. Algunos de esos métodos usan la tasa marginal de

---

<sup>32</sup> La tasa marginal de preferencia temporal determina qué nivel de consumo está dispuesto a renunciar un individuo en el presente para consumir en mayor cantidad en el futuro.

<sup>33</sup> Bajo mercados perfectos, el tipo marginal de rendimiento de la inversión es igual a la productividad marginal del capital.

rendimiento de las inversiones en el sector privado, la tasa marginal de sustitución temporal, los precios sombra del capital, etc<sup>34</sup>.

En la práctica, los métodos de elección de tasas de descuento varían según sea el organismo que implementa los proyectos o políticas. Así por ejemplo, organismos financieros internacionales, como es el Banco Mundial, requieren una tasa del 10% en términos reales. Por otro lado, gobiernos como el de los EEUU, emplean dos tasas de descuento diferentes dependiendo de la naturaleza del proyecto o política a implementar. Los proyectos que suponen un efecto expulsión para la inversión privada en la economía deben usar una tasa de descuento del 7% en términos reales, porcentaje similar al rendimiento marginal antes de impuestos de las inversiones privadas. Mientras que los proyectos que generan beneficios internos para la administración pública, que no compiten con la inversión privada, emplean una tasa social de descuento igual al 3% en términos reales, porcentaje similar al rendimiento a largo plazo de los bonos del estado. Los gobiernos europeos usan tasas de descuento dispares, así Francia emplea una tasa del 8% para sus proyectos, mientras que el Reino Unido utiliza un 6% e Italia un 5%. Dentro de la Unión Europea, y a través de una guía para el ACB de grandes proyectos se recomienda utilizar una tasa social de descuento del 5% en términos reales.

En este análisis se emplea la tasa social de descuento que aplica la Unión Europea a aquellos proyectos que se financian total o parcialmente con fondos comunitarios.

---

<sup>34</sup> Para una discusión más detallada, ver Boardman *et al.* (2001).

### ***3.5. Resultados del análisis coste-beneficio***

La comparación entre los beneficios y los costes económicos actualizados a 2002 para el periodo de evaluación del proyecto (desde 2002 hasta 2026), con una tasa social de descuento del 5%, muestran unos beneficios sociales positivos (VAN) cuya cuantía asciende a 18.539.776 €. La tasa interna de retorno (TIR) es el 11,50% (cuadro 3.5.1 y anexo 4). Dado que los beneficios sociales son positivos, y que la tasa interna de retorno es mayor que la tasa social de descuento, se puede concluir que el proyecto de construcción de una terminal de contenedores en el puerto de Santander, según el criterio de Kaldor-Hicks, es positiva para el conjunto de la sociedad en términos de eficiencia económica.

Si se desagregan los beneficios sociales se puede observar que la partida más importante corresponde al ahorro de costes de transporte terrestre a la que debía incurrirse en la situación sin proyecto, por el traslado de las mercancías contenerizadas al puerto sustituto imperfecto, debido al problema de congestión en el puerto de Santander. Estos beneficios representan casi el 80% del total.

La segunda partida de beneficios más importante es la relativa al ahorro de congestión en el tramo Santander Bilbao de la autovía A-8. Efecto externo provocado por la construcción de la terminal que representa el 8,64% de los beneficios totales.

En tercer lugar cabe destacar los beneficios sociales por el transporte de tráfico generado gracias al proyecto. Mercancías que de no haberse construido la terminal no se hubiesen transportado o lo hubieran hecho por otros medios fuera del territorio nacional. Este beneficio supone el 6,17% de los beneficios.

Los beneficios sociales por reducción de accidentes y los ahorros de tiempo de viaje de las mercancías suponen en 4,87% y 0,47% de los beneficios totales, respectivamente<sup>35</sup>.

Sin embargo, tal y como se ha señalado a lo largo de los apartados anteriores se ha supuesto incertidumbre en una serie de variables del modelo. En el siguiente apartado se va implementar un modelo de análisis de riesgo aplicando simulaciones de Monte Carlo introduciendo incertidumbre en el modelo ACB.

**Cuadro 3.5.1.** Beneficio neto social derivado de la construcción del proyecto (€ de 2002)

	Valor actualizado a precios de 2002
Beneficios	39.336.737
Costes de inversión	-15.856.250
Costes variables	-4.940.711
Valor Presente Neto	18.539.776
Tasa Interna de Retorno	11,50%

**Fuente:** Elaboración propia

<sup>35</sup> El hecho de que los ahorros de tiempo de viaje sean tan pequeños en este análisis puede resultar extraño, sobretodo cuando se compara con otros estudios ACB en los que los beneficios por ahorros de tiempo pueden resultar la partida más importante. Hay que distinguir sin embargo entre el ahorro de tiempo de viaje de los viajeros cuyos valores unitarios de tiempo son altos con los ahorros de tiempo de viaje de las mercancías transportadas, cuyo valor del tiempo unitario es mucho más pequeño. Para más detalles acerca de la estimación del valor del tiempo para mercancías, ver Wigan *et al.*, 2000.

### ***3.6. Análisis de sensibilidad mediante la aplicación de simulaciones de Monte Carlo***

El ACB en muchas ocasiones requiere predecir valores futuros de determinadas variables. El hecho de decidir si debe llevarse a cabo o no un proyecto depende muchas veces de determinados valores que deben predecirse antes de que se lleve a cabo el proyecto. En la mayoría de las ocasiones, el analista que realiza el ACB es incapaz de obtener predicciones precisas del futuro debido a la incertidumbre de la magnitud del impacto predicho y de los valores que se deben asignar a dichos impactos. La mayoría de los ACB tratan de minimizar dicha incertidumbre usando las estimaciones más precisas de dichas variables desconocidas. Al ACB realizado con dichas estimaciones se le denomina caso base. El objetivo del análisis de sensibilidad es tener en cuenta la incertidumbre subyacente.

En concreto, el análisis de sensibilidad debería expresar qué grado de robustez tienen los beneficios sociales predichos ante variaciones en los supuestos realizados en el caso base. Si el signo de los beneficios sociales netos no cambia cuando se consideran diferentes supuestos sobre el conjunto de valores predichos y usados en el ACB, se puede afirmar que el resultado es robusto y por tanto puede considerarse altamente fiable.

Los análisis de sensibilidad tradicionales tienen dos grandes limitaciones (Boardman *et al.*, 2001). En primer lugar, no tienen en cuenta toda la información disponible sobre el conjunto de valores estimados de las variables que intervienen en el análisis. En segundo lugar, estas técnicas no proveen información sobre la posible

varianza de la distribución estadística de los beneficios sociales netos. El análisis de riesgo a través de simulaciones de Monte Carlo resuelve estas dos limitaciones de los análisis de sensibilidad.

Los pasos básicos para realizar simulaciones de Monte Carlo son los siguientes.

En primer lugar, deben especificarse distribuciones de probabilidad para todas los supuestos cuantitativos inciertos e importantes en el análisis. En apartados anteriores se ha realizado supuestos acerca de las distribuciones de probabilidad para algunas variables relevantes en el análisis ACB. En concreto se han realizado supuestos como que el tráfico futuro se distribuye bajo una normal o que el coste unitario de transporte sigue una distribución uniforme, entre otros.

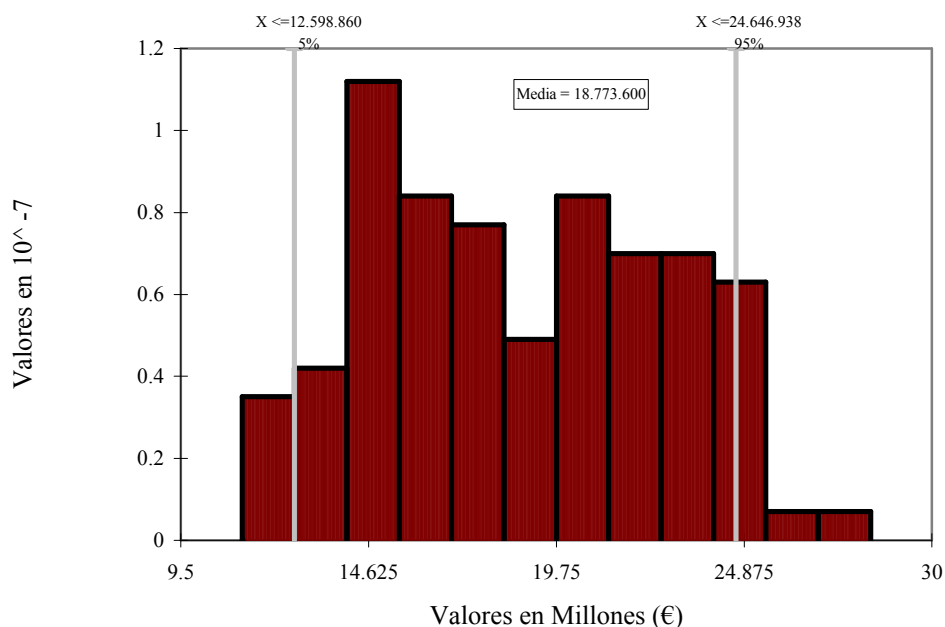
En segundo lugar, se ejecutan una serie de experimentos aleatorios en los que se asignan, para cada variable señalada como incierta, valores pertenecientes a su distribución de probabilidad, hasta llegar a un determinado valor para el output u outputs. En nuestro análisis, dichos outputs son el valor actual neto y la tasa interna de retorno.

En tercer lugar, se repite este experimento un número elevado de veces para obtener un gran número de valores observados para los beneficios sociales netos. Una aproximación a la distribución de probabilidad de los beneficios sociales netos puede obtenerse generando una serie de rangos de valores y contando la frecuencia con la que los experimentos generan valores que entran dentro de dichos rangos. De esta manera se generan histogramas que ofrecen una idea de las distribuciones de probabilidad del valor actual neto y de la tasa interna de retorno.

En el anexo 5 se muestran los inputs y los outputs que se han considerado relevantes a la hora de realizar las simulaciones de Monte Carlo. Se observa que en el lado de los inputs, están incluidas todas las estimaciones de demanda de contenedores transportados, medidos en TEUs así como los diferentes valores del tiempo para coches y camiones. Se han considerado también los costes unitarios de transporte de los sustitutivos al puerto de Santander así como los valores de la vida y de accidentes. Como outputs, se han considerado el valor actual neto y la tasa interna de retorno.

El gráfico 3.6.1 muestra un histograma de los beneficios sociales netos una vez realizados 100 experimentos aleatorios y considerando como ya se ha mencionado antes la demanda de tráfico futura y los costes unitarios de transporte.

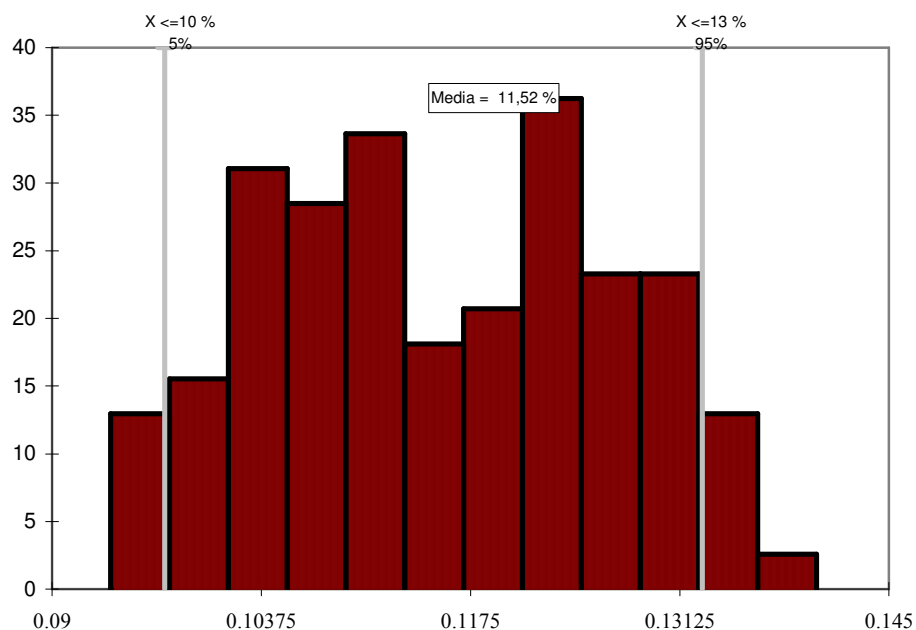
**Gráfico 3.6.1.** Distribución del beneficio social neto (VAN)



**Fuente:** Elaboración propia

El promedio de los beneficios sociales netos después de haber realizado 100 simulaciones es 18.773.600 €. Este valor está muy cerca del valor obtenido en el caso base en el que los beneficios sociales netos eran iguales a 18.539.776 €. El histograma provee una imagen visual de la distribución de los beneficios sociales mostrando la varianza y la simetría de la distribución. Se observa que el valor de los beneficios sociales netos en el quinto percentil es igual a 12.598.860 €, mientras que el valor del beneficio social neto en el 95 percentil es igual a 24.646.938 €. Se observa por tanto que aún introduciendo incertidumbre en algunas variables el proyecto obtiene valores positivos.

**Gráfico 3.6.2.** Distribución de la Tasa Interna de Retorno (TIR)



**Fuente:** Elaboración propia

En el gráfico 3.6.2 puede observarse la distribución de probabilidades para la tasa interna de retorno.



El promedio de la tasa interna de retorno después de haber realizado 100 simulaciones es el 11,52%. Este valor está muy cerca del valor obtenido en el caso base cuya tasa era del 11,50%. Se observa que el valor de los beneficios sociales netos en el quinto percentil es igual a 10%, mientras que el valor del beneficio social neto en el noventaquintésimo percentil es igual al 13%. Se observa por tanto que aún introduciendo incertidumbre en algunas variables el proyecto obtiene unas tasas mayores que la tasa social de descuento empleada en el estudio e igual al 5%.

A través de las simulaciones de Monte Carlo se puede conocer también cuáles son los inputs más significativos o que tienen un mayor impacto en la distribución del beneficio social o valor actual neto. Así, tal y como se puede observar en el cuadro 3.6.1, la variable que más está correlacionada con el output (valor actual neto) es el coste unitario de transporte terrestre, con un coeficiente de correlación igual al 93,4%. En segundo lugar se encuentra el input tráfico desviado en el año 2007 con un coeficiente de correlación igual a 23,1%, seguido del input tráfico desviado en el año 2024 con un 20,6%.

**Cuadro 3.6.1.** Correlaciones con el valor actual neto

<b>Variables</b>	<b>Correlación</b>
Coste unitario de transporte	0,934
Tráfico desviado 2007	0,231
Tráfico desviado 2024	0,206
Tráfico desviado 2018	0,155
Tráfico desviado 2009	0,148
Tráfico desviado 2026	0,143
Tráfico desviado 2021	-0,139
Tráfico desviado 2011	-0,11
Tráfico desviado 2022	0,098
Valor por accidente	0,098
Tráfico desviado 2013	0,09
Tráfico desviado 2016	0,089
Tráfico desviado 2020	0,079
Tráfico desviado 2019	-0,078
Valor del tiempo del coche	0,075
Tráfico desviado 2006	0,075

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4. Conclusiones

El Análisis Coste-Beneficio permite evaluar la implementación de proyectos o políticas públicas en términos de bienestar social, a través de la comparación de beneficios sociales, medidos a través de los excedentes económicos, y costes sociales, medidos en términos de costes de oportunidad.

Para realizar dicha comparación se han tenido en cuenta dos situaciones: la situación que se plantearía si no se realizase el proyecto de inversión; y la situación en el caso de que el proyecto de inversión finalmente se llevase a cabo.

Se ha considerado que un proyecto generaría bienestar social cuando aquellos agentes económicos beneficiados pudieran compensar a aquellos agentes perjudicados, y aún así, estuvieran mejor. A esta regla de decisión se la denomina de *Kaldor-Hicks*.

La aplicación empírica de este ensayo ha sido la de un ACB del proyecto de creación de una nueva terminal que permite aumentar la capacidad de tráfico de contenedores en el puerto de Santander ya que se espera que el tráfico de contenedores aumente considerablemente en el futuro. En caso de que no se realizase el proyecto de la terminal, debido al problema de congestión, gran parte de ese tráfico se desviaría a otros puertos o medios de transporte menos eficientes.

Los beneficios que se producirían con la construcción del proyecto serían: los ahorros de tiempo de las mercancías contenerizadas al utilizar un modo de transporte más eficiente; los ahorros en los costes de transporte de las mercancías contenerizadas en los modos de transporte alternativos; la disminución de la congestión y de los accidentes en las carreteras por donde transitasen las mercancías contenerizadas; así como el tráfico que se ha generado.

El resultado global muestra que el proyecto es rentable desde el punto de vista de la eficiencia social dado que el valor actual neto del proyecto es positivo y que la tasa interna de retorno es mayor que la tasa social de descuento. Además también se puede concluir que los ahorros de costes de transporte, la disminución de la congestión en la carretera y los ingresos por tráfico generado son los principales beneficios que produce el proyecto de inversión.

Por último se ha realizado un análisis de riesgo suponiendo la existencia de incertidumbre tanto en las predicciones de la demanda como en los valores de tiempo para coches, camiones, mercancías transportadas, valores de la vida y de accidentes. Dichas valores ya no se consideran constantes sino que se convierten en variables con funciones de distribución asociadas, las cuales dependen de la naturaleza de las variables. La técnica estadística empleada en la realización del análisis de riesgo son las simulaciones de Monte Carlo. Con la implementación de dicha técnica se ha obtenido una distribución de probabilidades para el valor actual neto del proyecto así como para tasa interna de retorno. Las variables que tienen un mayor impacto en la configuración de la distribución del valor actual neto son los costes unitarios de transporte de los medios alternativos, así como la demanda de mercancías contenerizadas.

## 5. Referencias

Autoridad Portuaria de Santander (2003), "*Plan Director del Puerto de Santander*".

Documento no publicado. Santander.

Azqueta, D. (1994), "*Valoración Económica de la Calidad Ambiental*". McGraw-Hill. Madrid.

Azqueta, D. (2002), "*Introducción a la Economía Ambiental*". McGraw-Hill. Madrid.

Becker, G. (1965), "A Theory of the Allocation of Time". *The Economic Journal*, 75, 493-517.

Boardman, A. E., D.H. Greenberg, A.R. Vining and D.L. Weimer (2001), "*Cost-Benefit Analysis. Concepts and Practice*". Prentice Hall.

Comisión Europea (1994), "*Guía para el Análisis de Coste-Beneficio de Grandes Proyectos*". Dirección General de Políticas Regionales.

Coto-Millan, P. (1999), "*Maritime Transport Applied Economics*". Editorial Civitas.

Coto-Millan, P. y J. Baños Pino (1996), "Derived Demands for General Cargo Shipping in Spain 1975-1993: An Economic Approach". *Applied Economic Letters*, vol. 3, nº 3, 175-78.

Coto-Millan, P., J. Baños-Pino y A. Rodríguez-Álvarez (2000), “Economic Efficiency in Spanish Ports”. *Maritime Policy and Management*, vol. 27, nº 2, 169-174.

Coto-Millan, P., J. Baños Pino y J. Villaverde (2005), “Determinants of Maritime Import and Export Functions”. *Transportation Research E*, vol. 44, issue 4, 357-72.

Coto-Millan, P. G. Carrera-Gomez V. Inglada y M.A. Pesquera (2005), “Promoting Competence in Regulated Market: The Case of Spanish Transports”. *The Annals of Regional Science*. vol. 39, issue 1, 73-84.

Coto-Millan, P. y V. Inglada (1999), “Análisis del Transporte Marítimo en España (1974-1999): Competencia y Regulación”. *Papeles de Economía Española*, nº 82, 59-70.

Coto-Millan, P. y E. Martínez-Budría (1995), “Características generales y contribución a la economía española del sector portuario”. *Boletín Económico del ICE*, nº 2460-2461.

De la Fuente, A. (1996), “Infraestructuras y productividad: un panorama de la evidencia empírica”. *Información Comercial Española*, 757, 25-39.

De Jong, G.C. Y. van de Vyvre y H. Inwood (1995), “The Value of Time for Freight Transport”, artículo presentado en *World Conference on Transport Research*, Sydney.

De Rus, G. (2004), “Análisis Coste-Beneficio”. Ariel Economía.

De Rus, G., M. González, C. Román, M. Romero, B. Tovar y L. Trujillo. (1995), “*Análisis Coste-Beneficio del Puerto de Arinaga*”. Documento de Trabajo. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

De Rus G., C. Román, C., y L. Trujillo (1994), “*Actividad económica y estructura de costes del Puerto de la Luz y de Las Palmas*”. Editorial Civitas.

DeSerpa, A. (1971), “A Theory of the Economics of Time”. *The Economic Journal*, 81, 828-846.

Dodgson, J. y M. Gonzalez-Savignat (1998), “Efficiency in Public Resource Allocation: The Social Appraisal of Projects”. *International Journal of Transport Economics*, vol. XXV, N° 2, 221-242.

Evans, A. (1972), “On the Theory of the Valuation and Allocation of Time”. *Scottish Journal of Political Economy*, Febr., 1-17.

Field, B.C. y M.K. Field (2003), “*Economía Ambiental*”. McGraw-Hill. Madrid.

Harberger, A. C. (1974), “*Cost-benefit analysis*”, Cambridge University Press.

Inglada, V. y P. Coto-Millan (2003), “Fallos de Mercado: el caso de la Externalidad de la Congestión de las Carreteras”, artículo presentado en *XXIX Reunión de Estudios Regionales*, Santander.

Jara-Díaz, S. (1998), "Time and Income in Travel Demand: towards a Microeconomic Activity Framework". En: Garling, T., Laitia, T., Westin, K. (eds.) *Theoretical Foundations of Travel Choice Modelling*. Elsevier.

Jones-Lee, M.W. (1994), "Safety and the Saving of Life: The Economics of Safety and Physical Risk". En Layard, R. y Glaister, S. (eds.) "*Cost-benefit analysis*", Cambridge University Press.

Jorge, J.-D. y G. De Rus (2004), "Cost-Benefit Analysis of Investment in Airport Infrastructure: a Practical Approach". *Journal of Air Transport Management* 10, 311-326.

Layard, R. y S. Glaister (1994), "*Cost-benefit analysis*", Cambridge University Press.

Mackie, P.J., S. Jara y A.S. Fowkes (2001), "The Value of Travel Time Savings in Evaluation", *Transportation Research E*, 37, 91-106.

MOPTMA (1991), "*Manual de Evaluación de Inversiones en Ferrocarriles*". Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Madrid.

MOPTMA (1992), "*Recomendaciones para la Evaluación Económica. Coste Beneficio de Estudios y Proyectos de Carreteras*". Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Madrid.

Nombela, G. y L. Trujillo (1999), "El Sector Portuario español: Organización Actual y Perspectivas". *Papeles de Economía Española*, nº 82, 71-84.



- Pearce, D. W. y C. Nash (1981), *“The Social Appraisal of Projects. A Text in Cost-Benefit Analysis”*. Mc-Millan.
- Pearce, D.W. y R.K. Turner (1995), *“Economía de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente”*. Colegio de Economistas de Madrid. Celeste Ediciones. Madrid.
- Puertos del Estado (2003), *“Actualización de la Metodología de Análisis y Evaluación Económico-Financiera de los Proyectos de Inversión del Sistema Portuario de Interés General”*. Puertos del Estado.
- Rosen, S. (1986), “The Theory of Equalizing Differences”. En Ashenfelter, O. y Layard, R. (Eds.). *Handbook of Labour Economics*. North Holland.
- Riera, P. y M. Macian (1998), “Análisis coste-beneficio de la ampliación del aeropuerto de Barcelona con externalidades ambientales. Ruido, polución atmosférica y ocupación de humedales”. *Serie de Estudios de Economía Española*. FEDEA. EEE47.
- Sainz, R. (2005), *“Estimación del valor económico del tiempo de viaje en la ciudad de Santander”*, Tesis no publicada, Universidad de Cantabria.
- TRB (1985), *“Highway Capacity Manual”*, Special Report 209, Transportation Research Board, Washington D.C.
- Train, K. y D. McFadden (1978), “The Goods/Leisure Tradeoff and Dissagregate Work Trip Mode Choice Models”. *Transportation Research*, Vol. 12, No. 5, 349-353.

Varian, H. R. (2004), "Microeconomía intermedia: Un enfoque moderno". Antoni Bosch.

Viscusi, W.K. (1993), "The Value of Risks to Life and Health". *Journal of Economic Literature*. Vol. XXXI, December, 1912-1946.

Wigan, M., N. Rocklife, T. Thoresen y D. Tsolakis (2000), "Valuing Long-Haul and Metropolitan Freight Travel Time and Reliability". *Journal of Transportation and Statistics*, Vol. 3 nº 3, December, 83-89.

**Anexos*****Anexo 1. Previsión de la demanda potencial del tráfico (TEUS)***

<b>Año</b>	<b>Tráfico normal</b>	<b>Tráfico desviado de otros puertos</b>
2002	8.378	-
2003	8.968	-
2004	9.600	-
2005	10.276	-
2006	11.000	8.000
2007	11.887	10.637
2008	12.845	14.142
2009	13.881	18.803
2010	15.000	25.000
2011	15.438	26.203
2012	15.888	27.464
2013	16.352	28.786
2014	16.829	30.171
2015	17.321	31.623
2016	17.826	33.145
2017	18.346	34.740
2018	18.882	36.411
2019	19.433	38.163
2020	20.000	40.000
2021	20.556	42.080
2022	21.147	44.267
2023	21.746	46.569
2024	22.361	47.817
2025	22.993	47.181
2026	23.644	46.530

**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos de Autoridad Portuaria de Santander (2003)

**Anexo 2. Predicción del tráfico sin proyecto y el tráfico con proyecto (TEUS)**

Año	Tráfico sin proyecto		Tráfico con proyecto				
	Tráfico normal	Capacidad	Tráfico normal	Tráfico desviado de otros puertos	Tráfico generado	Tráfico total	Capacidad
2002	8.378	10.174	8.378	0	0	8.378	10.174
2003	8.968	10.174	8.968	0	0	8.968	10.174
2004	9.600	10.174	9.600	0	0	9.600	10.174
2005	10.174	10.174	10.276	545	29	10.850	10.174
2006	10.174	10.174	11.000	7.600	400	19.000	70.174
2007	10.174	10.174	11.887	10.105	532	22.524	70.174
2008	10.174	10.174	12.845	13.435	707	26.987	70.174
2009	10.174	10.174	13.881	17.863	940	32.684	70.174
2010	10.174	10.174	15.000	23.750	1.250	40.000	70.174
2011	10.174	10.174	15.438	24.893	1.310	41.641	70.174
2012	10.174	10.174	15.888	26.091	1.373	43.352	70.174
2013	10.174	10.174	16.352	27.347	1.439	45.138	70.174
2014	10.174	10.174	16.829	28.662	1.509	47.000	70.174
2015	10.174	10.174	17.321	30.042	1.581	48.944	70.174
2016	10.174	10.174	17.826	31.488	1.657	50.971	70.174
2017	10.174	10.174	18.346	33.003	1.737	53.086	70.174
2018	10.174	10.174	18.882	34.590	1.821	55.293	70.174
2019	10.174	10.174	19.433	36.255	1.908	57.596	70.174
2020	10.174	10.174	20.000	38.000	2.000	60.000	70.174
2021	10.174	10.174	20.556	39.976	2.104	62.636	70.174
2022	10.174	10.174	21.147	42.054	2.213	65.414	70.174
2023	10.174	10.174	21.746	44.241	2.328	68.315	70.174
2024	10.174	10.174	22.361	45.422	2.391	70.174	70.174
2025	10.174	10.174	22.993	44.822	2.359	70.174	70.174
2026	10.174	10.174	23.644	44.204	2.327	70.174	70.174

**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos de Autoridad Portuaria de Santander (2003)

**Anexo 3. Beneficios de la creación de la terminal Sur en el Puerto de Santander**

<b>Año</b>	<b>Beneficio ahorro de tiempo tráfico</b>	<b>Ahorro de costes en transporte terrestre</b>	<b>Tráfico generado</b>	<b>Ahorro congestión carretera</b>	<b>Ahorros monetarios accidentes</b>
2002	0	0	0	0	0
2003	0	0	0	0	0
2004	0	0	0	0	0
2005	336	56.820	4.391	2.561	3.464
2006	4.680	791.920	61.200	37.494	48.283
2007	6.223	1.052.957	81.373	52.444	64.198
2008	8.273	1.399.917	108.186	73.419	85.352
2009	11.000	1.861.309	143.843	102.897	113.483
2010	14.625	2.474.750	191.250	144.365	150.884
2011	15.329	2.593.835	200.453	159.949	158.145
2012	16.066	2.718.661	210.100	177.468	165.755
2013	16.840	2.849.526	220.213	197.213	173.734
2014	17.650	2.986.627	230.808	219.518	182.093
2015	18.499	3.130.361	241.916	244.795	190.856
2016	19.390	3.281.024	253.559	273.532	200.042
2017	20.323	3.438.913	265.761	306.314	209.668
2018	21.300	3.604.325	278.544	343.851	219.753
2019	22.325	3.777.755	291.947	387.037	230.327
2020	23.400	3.959.600	306.000	436.967	241.414
2021	24.617	4.165.499	321.912	496.823	253.968
2022	25.896	4.381.990	338.643	567.022	267.167
2023	27.243	4.609.865	356.253	649.982	281.061
2024	27.971	4.733.009	365.769	730.946	288.569
2025	27.601	4.670.447	360.935	794.916	284.754
2026	27.220	4.606.005	355.955	870.029	280.825
<b>TOTAL</b>	<b>396.807</b>	<b>67.145.115</b>	<b>5.189.010</b>	<b>7.269.542</b>	<b>4.093.797</b>

Fuente: Elaboración propia

**Anexo 4. Beneficios y costes de la creación de la terminal Sur en el Puerto de Santander**

<b>Año</b>	<b>Beneficios</b>	<b>Costes de inversión</b>	<b>Costes de operación</b>	<b>Factor de actualización</b>	<b>Valor actual neto</b>
2002	0	-3.361.380	0	1,000	-3.361.380
2003	0	-78.178	0	0,952	-74.455
2004	0	-6.366.043	0	0,907	-5.774.188
2005	67.572	-6.334.791	0	0,864	-5.413.859
2006	943.577	-2.662.500	-446.098	0,823	-1.781.168
2007	1.257.194	0	-446.098	0,784	635.515
2008	1.675.147	0	-446.098	0,746	917.136
2009	2.232.532	0	-446.098	0,711	1.269.585
2010	2.975.874	0	-446.098	0,677	1.712.252
2011	3.127.710	0	-446.098	0,645	1.728.591
2012	3.288.050	0	-446.098	0,614	1.744.712
2013	3.457.525	0	-446.098	0,585	1.760.719
2014	3.636.696	0	-446.098	0,557	1.776.644
2015	3.826.428	0	-446.098	0,530	1.792.661
2016	4.027.547	0	-446.098	0,505	1.808.875
2017	4.240.979	0	-446.098	0,481	1.825.402
2018	4.467.774	0	-446.098	0,458	1.842.376
2019	4.709.392	0	-446.098	0,436	1.860.061
2020	4.967.382	0	-446.098	0,416	1.878.687
2021	5.262.819	-170.897	-446.098	0,396	1.838.510
2022	5.580.719	0	-446.098	0,377	1.935.184
2023	5.924.403	0	-446.098	0,359	1.966.396
2024	6.146.264	0	-446.098	0,342	1.948.601
2025	6.138.653	0	-446.098	0,326	1.853.333
2026	6.140.033	3.496.266	-446.098	0,310	2.849.586
<b>TOTAL</b>	<b>84.094.271</b>	<b>-15.477.523</b>	<b>-9.368.059</b>	<b>15</b>	<b>18.539.776</b>

Fuente: Elaboración propia

**Anexo 5. Inputs y outputs considerados en las simulaciones de Monte Carlo**

<b>Inputs</b>	<b>Distribución</b>
Tráfico desviado 2005	Distribución Normal(574; 1.000)
Tráfico desviado 2006	Distribución Normal(8.000; 1.500)
Tráfico desviado 2007	Distribución Normal(10.637; 2.000)
Tráfico desviado 2008	Distribución Normal(14.142; 2.500)
Tráfico desviado 2009	Distribución Normal(18.803; 3.000)
Tráfico desviado 2010	Distribución Normal(25.000; 3.500)
Tráfico desviado 2011	Distribución Normal(26.203; 4.000)
Tráfico desviado 2012	Distribución Normal(27.464; 4.500)
Tráfico desviado 2013	Distribución Normal(28.786; 5.000)
Tráfico desviado 2014	Distribución Normal(30.171; 5.500)
Tráfico desviado 2015	Distribución Normal(31.623; 6.000)
Tráfico desviado 2016	Distribución Normal(33.145; 6.500)
Tráfico desviado 2017	Distribución Normal(34.740; 7.000)
Tráfico desviado 2018	Distribución Normal(36.411; 7.500)
Tráfico desviado 2019	Distribución Normal(38.163; 8.000)
Tráfico desviado 2020	Distribución Normal(40.000; 8.500)
Tráfico desviado 2021	Distribución Normal(42.080; 9.000)
Tráfico desviado 2022	Distribución Normal(44.267; 9.500)
Tráfico desviado 2023	Distribución Normal(46.569; 10.000)
Tráfico desviado 2024	Distribución Normal(47.813; 11.000)
Tráfico desviado 2025	Distribución Normal(47.181; 12.000)
Tráfico desviado 2026	Distribución Normal(46.530; 13.000)
Coste unitario de transporte	Distribución Uniforme(0,04; 0,06)
Valor del tiempo del coche	Distribución Normal(12,33; 5)
Valor del tiempo del camión	Distribución Normal(21,15; 6)
Valor de la vida	Distribución Normal(211.196; 1.000)
Valor de los accidentes	Distribución Normal(27.896; 500)
<b>Outputs</b>	
Valor actual neto	
Tasa interna de retorno	

Fuente: Elaboración propia





## **Ensayo 2**

### **Determinantes de la Eficiencia Técnica e Impacto de la Competencia en las Empresas Manufactureras Españolas**



## 1. Introducción

Uno de los temas de más frecuentes y controvertidos dentro de Economía Industrial Aplicada se refiere a los determinantes de la rentabilidad en mercados oligopolísticos.

El trabajo pionero de Bain (1951) señala que la rentabilidad de un determinado sector depende directamente del grado de concentración de dicho sector al comprobar que existe correlación positiva entre ambas variables. Así, los sectores de una economía se diferencian entre sí por el grado de efectividad que tienen las empresas dentro de un sector a la hora de limitar la competencia, bien mediante colusión tácita o explícita. Según Bain, la colusión será más efectiva y el nivel de rentabilidad será mayor cuanto mayor sea la concentración en el mercado.

Años más tarde, Demsetz (1973 y 1974) rebate la hipótesis de Bain proponiendo una explicación alternativa a la correlación positiva entre la concentración y la rentabilidad. Demsetz afirma que la colusión se da raras veces en los sectores productivos; lo verdaderamente relevante dentro de una industria es la diferencia de eficiencia entre las empresas. Así, en industrias donde la eficiencia relativa es pequeña, el nivel de rentabilidad y la concentración serán pequeños. Sin embargo, en industrias donde la diferencia en eficiencia sea grande, tanto los niveles de rentabilidad como el grado de concentración serán altos.

A partir de estas dos corrientes dentro de la economía industrial surgieron numerosos trabajos que trataban de demostrar empíricamente qué hipótesis era la

correcta<sup>36</sup>. La mayoría de los artículos que seguían la corriente surgida a partir de las teorías de Demsetz consideraban los costes de la empresa individual como predeterminados, prestando una mayor atención a otras variables de la empresa como por ejemplo, la rentabilidad. Sin embargo, otros trabajos más recientes (Hay y Liu, 1994; Sleuwaegen y Goedhuys, 2003) estudian los determinantes de la ineficiencia técnica de las empresas<sup>37</sup>, relajando el supuesto de costes exógenos al modelo, para posteriormente observar su impacto en la cuota de mercado, y por consiguiente en la rentabilidad de la empresa.

Así Hay y Liu (1997) contrastan empíricamente la relación entre los niveles de eficiencia técnica relativa de una empresa y la cuota de mercado que señalan los modelos de oligopolio con productos homogéneos. Para el cálculo de los niveles de eficiencia técnica emplean modelos de fronteras de producción estocásticos determinando niveles de ineficiencia a corto plazo y a largo plazo. A partir de dichas variables demuestran que la relación entre la eficiencia técnica y las cuotas de mercado varía entre sectores productivos, indicando que dicha variación se debe a la existencia de diferentes grados de competencia en los mercados. Posteriormente

---

<sup>36</sup> Algunos trabajos son Cowling y Waterson (1976), Clarke *et al.* (1984), Ravenscraft (1983), Martin (1988) y Schmalensee (1985 y 1987). Por otra parte, una magnífica revisión de los trabajos empíricos realizados en España se encuentra en Huergo (2005).

<sup>37</sup> Estos trabajos suponen que las empresas que sean más ineficientes técnicamente tendrán mayores costes de producción, lo cual implica que los precios de los factores tengan que ser iguales para todas las empresas de una misma industria. Por otra parte, la eficiencia técnica podría definirse como la mínima cantidad de factores de producción que necesita una empresa para producir una determinada cantidad de producción.

estudian los determinantes de la eficiencia de las empresas tanto a corto plazo como a largo plazo.

Por su parte, Sleuwaegen y Goedhuys (2003) analizan los determinantes de la eficiencia técnica de las empresas manufactureras de Costa de Marfil así como el impacto de dicha eficiencia en las cuotas de mercado de las empresas y en sus rentabilidades. Aunque los resultados que obtienen corroboran la importancia de la eficiencia técnica y la diferenciación del producto para lograr mayores niveles de rentabilidad, los autores señalan que dichos factores son menos relevantes en el caso de mercados situados en países en vías de desarrollo, en los que existen numerosas imperfecciones y asimetrías de mercado. En estos casos los efectos de legitimación o la reputación pueden resultar tan importantes como los señalados anteriormente.

El objetivo del presente trabajo es determinar los factores de ineficiencia técnica de las empresas manufactureras españolas y contrastar empíricamente la importancia de la eficiencia técnica relativa de las empresas en la configuración de las cuotas de mercado. Para ello se cuenta con datos de 464 empresas manufactureras españolas para el periodo 1990-1999, a partir de los cuales se utiliza un modelo frontera de producción mediante técnicas econométricas, que permite estimar una serie de medidas de eficiencia técnica. En dicho modelo se considera la posible existencia tanto de economías de escala en la función de producción como de progreso tecnológico neutral.

En un segundo análisis se evalúan los diferentes determinantes que explican la variabilidad de dicha eficiencia técnica, con especial atención a aquellos factores de

diferenciación tecnológica como son la realización de actividades de I+D y la introducción de innovaciones de proceso en los procesos productivos. Dado que la metodología empleada parte de la especificación de una frontera de eficiencia paramétrica, se procederá a estimar una determinada función de producción, que proporcione información sobre la máxima cantidad de producto alcanzable para cada conjunto de factores productivos. Para medir la eficiencia técnica de las empresas se compara el producto observado en cada una de las empresas con el óptimo definido por la frontera estimada.

Por último, se contrasta la relación teórica que existe entre los niveles de eficiencia técnica relativa y las cuotas de mercado de las empresas, tal y como hacen Hay y Liu (1997). Las principales diferencias de este trabajo con respecto a aquel es el modo de cálculo de los niveles de eficiencia técnica de las empresas así como la introducción de variables explicativas consideradas relevantes por otros trabajos (Caves y Barton, 1990; Becchetti *et al.*, 2003). Con respecto a la primera diferencia, mientras que Hay y Liu calculan los determinantes de la eficiencia técnica en dos etapas, en este trabajo se emplea el modelo de Battese y Coelli (1995) de una sola etapa<sup>38</sup>. Por otra parte, en el presente trabajo se han considerado otras variables adicionales relativas al proceso de innovación y de localización geográfica de las empresas.

Los datos que se emplean en este trabajo provienen de la Encuesta sobre Estrategias Empresariales (ESEE) para el periodo 1990-1999. La ESEE es una

---

<sup>38</sup> Para un análisis más detallado de las diferencias entre los modelos de fronteras estocásticas de una y de dos etapas, ver Coelli *et al.* (1998).

encuesta de panel a empresas manufactureras españolas iniciada en el año 1990, donde la información recogida para cada empresa en un determinado año es consistente con la información obtenida en años anteriores. La base de datos es un panel incompleto compuesto por 10.145 observaciones que corresponden a 1.403 empresas, agrupadas en 18 sectores. La muestra de la ESEE es representativa de la población de empresas manufactureras españolas con 10 o más empleados. Todas las empresas participantes en la encuesta fueron elegidas de acuerdo a técnicas selectivas de muestreo, distinguiendo dos grandes grupos de empresas: aquellas que tienen entre 10 y 200 empleados (empresas pequeñas) y aquellas que disponen de más de 200 empleados (empresas grandes)<sup>39</sup>. La ESEE fue diseñada por el Programa de Investigaciones Económicas (PIE) de la Fundación Empresa Pública (FEP) y es patrocinada por el Ministerio de Industria y Energía.

## **2. Estudios previos acerca de la eficiencia técnica en las empresas manufactureras**

En los últimos años, el estudio de la eficiencia técnica en las empresas es uno de los campos más fecundos dentro de los estudios aplicados de la economía de la producción. En estos trabajos, a diferencia de los modelos neoclásicos de producción, se considera que no todas las empresas son igualmente eficientes desde el punto de vista técnico, ni siquiera aquellas que operan en un mismo sector. Así, mientras

---

<sup>39</sup> Una descripción más detallada de la ESEE se encuentra en Fariñas y Jaumandreu (1999).

algunas empresas operan en la frontera tecnológica y obtienen altos beneficios; otras, apenas son capaces de sobrevivir en el mercado<sup>40</sup>.

Los primeros estudios empíricos que usaron los modelos de fronteras de producción para medir la eficiencia técnica de las empresas se centraron en sectores específicos de producción, como por ejemplo, el sector agrícola, o de la banca. También fueron pioneros los estudios de empresas de titularidad pública u organismos sin ánimo de lucro<sup>41</sup>.

El estudio de la eficiencia técnica dentro del sector manufacturero o industrial comienza a hacerse popular a partir de la aparición datos individuales de empresas divididas en sectores productivos<sup>42</sup>.

---

<sup>40</sup> El uso de fronteras de producción tiene también sus detractores, sobretodo cuando son usadas con datos agregados (a nivel regional, nacional, etc.). Así, De la Fuente (1998) señala que en la mayoría de las ocasiones, los niveles de eficiencia entre unidades de producción son poco significativas e incorrelacionadas con otras variables explicativas, por lo que podrían considerarse como parte de la perturbación de los modelos econométricos. Sin embargo, el mismo autor señala que las técnicas de fronteras eficientes podrían ser adecuadas en el caso de datos a nivel de establecimientos dentro de un sector relativamente homogéneo y con una tecnología bien definida.

<sup>41</sup> Dentro de los primeros estudios de la eficiencia técnica a partir de fronteras estocásticas hay que destacar los trabajos de: Sidhu (1974); Battese y Corra (1977); Färe *et al.* (1985a); Battese y Coelli (1988) o Kumbhakar *et al.* (1991), dentro del sector primario; Färe *et al.* (1985b), Bhattacharyya *et al.* (1994), o Deprins *et al.* (1984), dentro del estudio de empresas de titularidad pública.

<sup>42</sup> Así, uno de los primeros estudios es el de Pitt y Lee (1981) en el que analizan la eficiencia técnica del sector textil en Indonesia a partir de un panel de datos. Caves y Barton (1990) por su parte estudian los determinantes de la eficiencia técnica para los diferentes sectores industriales de los EEUU. Otros estudios más recientes son Mahadevan (2000), Chirwa (2004) o Lundvall y Battese (2000).



El estudio de la eficiencia técnica a partir de fronteras de producción en España se inició a partir de datos a nivel sectorial y/o regional.

Prior (1990) analiza el proceso de producción industrial español por Comunidades Autónomas, estudiando tanto la productividad del trabajo como los niveles de eficiencia técnica a partir de fronteras de producción no paramétricas.

Gumbau y Maudos (1996) determinan la eficiencia técnica, mediante fronteras de producción estocásticas de los sectores productivos de las regiones españolas en el período 1980-1991, así como las tasas de crecimiento de la productividad total de los factores para cada uno de los sectores productivos. En la última parte del trabajo los autores analizan la convergencia de los niveles de eficiencia entre las regiones españolas para cada uno de los sectores estudiados.

Pedraja, Ramajo y Salinas (1999) investigan los factores determinantes de las ganancias de productividad que se han producido en el sector industrial español durante el periodo 1980-1992. Una novedad de este trabajo con respecto a los anteriores es la introducción en la frontera de producción del capital público, demostrando que éste ha jugado un papel importante como factor impulsor del crecimiento de la productividad. La segunda parte del trabajo estudia el nivel de eficiencia técnica relativa de las ramas industriales en cada una de las CCAA a partir de fronteras de producción estimadas de forma paramétrica (fronteras estocásticas) y no paramétrica (DEA).

Maudos, Pastor y Serrano (2000) analizan la descomposición de la productividad del trabajo, tanto en el ámbito agregado como sectorial, de las regiones españolas en

el periodo 1964-1993 a través de la construcción de una frontera de producción no paramétrica y del cálculo de índices *Malmquist* de productividad.

Debido a la escasez de bases de datos desagregadas a nivel empresarial, existen un menor número de trabajos que analicen la eficiencia técnica de la industria española empleando datos a nivel de empresa. Deben destacarse los trabajos de Gumbau (1998), Martín y Suárez (2000) y Gumbau y Maudos (2002) quienes realizan estimaciones de la eficiencia técnica a partir de los datos de la Encuesta Sobre Estrategias Empresariales (ESEE), empleando la metodología de fronteras estocásticas.

Gumbau (1998) estima una frontera de producción estocástica para la industria española durante el periodo 1990-1994 suponiendo que los efectos de ineficiencia se pueden distribuir bien mediante una función semi-normal o una función normal-truncada. Los resultados indican que, si bien los niveles medios de eficiencia técnica son similares, existen diferencias intrasectoriales importantes.

Martín y Suárez (2000) estiman niveles de eficiencia técnica para 15 sectores industriales españoles durante el periodo 1990-1994, así como parámetros de escala y de progreso tecnológico. A diferencia del trabajo de Gumbau (1998), dichas estimaciones se obtienen mediante modelos de panel de carácter estático (efectos fijos u aleatorios); sin embargo, también se confirma la existencia de gran heterogeneidad entre las empresas dentro de un mismo sector productivo.

Por último, Gumbau y Maudos (2002) analizan, a partir de los índices de eficiencia técnica calculados en el trabajo previo de Gumbau (1998), los factores que

explican dicha eficiencia para las empresas industriales españolas. Así demuestran que el grado de competencia en el mercado en el que se opera, las características internas de la empresa (tamaño, localización, participación de capital público, etc.) así como el grado de utilización de capacidad productiva son los principales factores explicativos.

### **3. Análisis descriptivo del grado de innovación y realización de actividades I+D de las empresas manufactureras españolas**

Algunas de las características de la muestra de empresas manufactureras españolas se presentan en los Cuadros 3.1. y 3.2. En el Cuadro 3.1. se observa una serie de estadísticos descriptivos para cada una de las variables empleadas en el análisis posterior, referidos a 1990, año de inicio de la encuesta ESEE. Así, se puede ver que el porcentaje de empresas de la muestra que obtuvieron innovaciones de proceso en 1990 es igual al 20%. Si se desagrega a las empresas por su tamaño, se observa que sólo el 10,8% de las empresas de menos de 200 trabajadores habían obtenido innovaciones de proceso mientras que el porcentaje de empresas de más de 200 trabajadores que habían obtenido innovaciones de proceso, se eleva al 36,5%.

Por otra parte el 38,4% de las empresas que realizaron actividades de I+D interna obtuvieron innovaciones de proceso, mientras que sólo el 10,5% que no realizaron actividades de I+D obtuvieron innovaciones. Esta diferencia se estrecha en el caso de las actividades externas de I+D, ya que el 34,4% de las empresas que contrataron actividades de I+D a otras instituciones obtuvieron innovaciones de proceso mientras

que el 16,6% que habían contratado actividades de I+D habían obtenido innovaciones de proceso.

Además, 28 de cada 100 empresas exportadoras obtuvieron en 1990 innovaciones de proceso, mientras que el porcentaje de las no exportadoras que realizaron innovaciones de proceso fue igual al 10,6%.

En el Cuadro 3.1. se desagrega a las empresas por trayectorias sectoriales, según la taxonomía desarrollada por Pavitt (1984). Así los 18 sectores de la ESEE se agrupan en 4 macrosectores: *Dominados por los proveedores*, *Productores a gran escala*, *Proveedores especializados*, y *De base científica*<sup>43</sup>.

En cuanto a las empresas englobadas en el macrosector *Dominados por los proveedores* se observa que el porcentaje de empresas innovadoras de proceso en 1990 era menor que el del conjunto (13,7% frente a 20%), tal y como señalaba Pavitt. Por otra parte, sólo el 26,3% de las empresas de este macrosector que además realizaban actividades internas de I+D obtuvieron innovaciones de proceso, porcentaje inferior al obtenido por el conjunto; lo cual puede demostrar una mayor dificultad de estas empresas para obtener innovaciones de proceso a pesar de realizar

---

<sup>43</sup> Según la taxonomía de Pavitt (1984), los sectores *dominados por los proveedores* son aquellos en los que las empresas no desarrollan una gran actividad innovadora. Ésta les llega incorporada en las materias primas, maquinaria y equipo que adquieren a sus proveedores. Los sectores *productores a escala* se caracterizan por la obtención de innovaciones que permitan reducir costes ya que elaboran productos destinados a grandes mercados con un cierto grado de estandarización. Los sectores *proveedores especializados* realizan desarrollos propios y se mantienen estrechamente ligados al proceso innovador de sus proveedores y clientes. Los sectores *de base científica* son sectores cuya innovación descansa en un intenso nivel de investigación propia. Para más detalles, ver Anexo 1 relativo a la definición de las variables.

actividades internas de I+D. El porcentaje de empresas exportadoras que innovaron en 1990 es igual al 8,3%, inferior al 10,6% para el conjunto de la muestra. Por otra parte, el porcentaje de empresas que realizaron actividades internas de I+D (15,3%) es notablemente inferior al del conjunto (34,3%) y en especial para aquellas más pequeñas (6,6%). Además existe una menor proporción de empresas que obtuvieron innovaciones de proceso a partir de actividades internas de I+D, 29,4% frente a un 65,5% del conjunto. Esto quiere decir que la mayor parte de las empresas *Dominados por los proveedores* que obtuvieron innovaciones de proceso lo hicieron a partir de actividades diferentes a las actividades de I+D, como por ejemplo la compra de maquinaria nueva a proveedores. Por último, el porcentaje de empresas exportadoras que realizaron actividades I+D (30,8%) es inferior al del conjunto (55,3%).

Las empresas englobadas en el macrosector *Productores a gran escala* presentan las siguientes características. El 20,3% realizaron en 1990 innovaciones de proceso, porcentaje similar al del conjunto de empresas (20%). El 41,2% que realizaron actividades internas de I+D obtuvieron innovaciones de proceso, mientras que el porcentaje para el conjunto es ligeramente inferior (38,4%). El resto de características se muestran similares a las del conjunto.

Las empresas del sector *Proveedores especializados* obtuvieron, en proporción, más innovaciones de proceso (30,6%) que el conjunto (20%). Si sólo se tienen en cuenta aquellas más grandes, se elevaría a casi el 47%. Además el porcentaje de empresas que realizaron actividades internas de I+D para este sector es un 61%, doblando casi el relativo al del conjunto, mientras que si se tuviesen en cuenta sólo

las empresas de mayor tamaño, se elevaría al 81,3%. Estos resultados van también en consonancia con lo expuesto por Pavitt. Casi el 80% de las empresas que obtuvieron innovaciones de producto realizaron actividades de I+D interna, elevándose al 95% si contrataban actividades de I+D externa. Por último, el 74% de las empresas exportadoras en este sector realizaron internamente actividades de I+D.

El porcentaje de empresas pertenecientes al macrosector *De base científica* que obtuvieron innovaciones de proceso es similar al del conjunto de la muestra, 21,2%. El porcentaje de aquellas empresas que no realizaron actividades I+D interna y obtuvieron innovaciones de proceso es igual 3,1%, muy inferior al del conjunto, 10,5%. Por otra parte el 51,5% de las empresas de este macrosector realizaron actividades relacionadas con la I+D interna, elevándose para el caso de las más grandes, 90,5%; cifras muy superiores al del conjunto de la muestra.

El Cuadro 3.2. presenta datos para el año 1999, último año del panel. Se observa que el número de empresas que realizaron innovaciones de proceso, 34,5% se ha elevado con respecto a la cifra obtenida en 1990, 20%; tanto para las más pequeñas, 24,4% frente a 10,8%; como para las grandes, 55% frente al 36,5%. También se ha elevado el porcentaje de empresas que realizando actividades de I+D interna, han obtenido innovaciones de proceso, 55,5% frente a 38,4%. Lo mismo sucede para las empresas que han contratado actividades de I+D externa, 58,3% frente a 34,4%.

Por otra parte, el 41,3% de las empresas exportadoras en 1999 obtuvieron innovaciones de proceso mientras que en 1990 el porcentaje era del 28,5%. El

porcentaje de empresas no exportadoras que innovaron en algún proceso de producción también aumentó, pasando del 10,6% en 1990 a 21,4% en 1999.

Si se comparan los porcentajes de 1990 y 1999 desagregando las empresas por los macrosectores de Pavitt, se observa que son aquellas pertenecientes al sector *Dominado por los proveedores* las que más han aumentado los porcentajes de obtención de innovaciones de proceso a lo largo de los 10 años de estudio. Así, en 1999 el 26,6% de las empresas de este sector realizaban innovaciones de proceso mientras que en 1990 no llegaba al 14%. En cambio en el sector *Proveedores especializados* los porcentajes apenas variaron ya que en 1990 era igual al 30,6% mientras que en 1999 era del 37,1%. En los dos sectores restantes la evolución de los porcentajes fue parecida, en el sector *Productores a escala*, en 1990 el 20,3% de las empresas innovaron mientras que en 1999 fue el 37,3%. En el sector *De base científica*, se pasa del 21,2% en 1990 al 37,9% en 1999.

Si se comparan los datos de 1990 y 1999 relativos a la realización de actividades internas de I+D se observa que apenas han variado. Así en 1990, el 15,5% de las empresas que pertenecían al sector *Dominado por los proveedores* realizaron I+D interna, mientras que en 1999 era del 18,5%. Para el resto de sectores las variaciones en los porcentajes son también muy pequeñas.

Se puede concluir, a partir del análisis descriptivo de los datos que, si bien ha aumentado de forma considerable el número de empresas que obtienen innovaciones de proceso, no se aprecia un aumento similar en la realización de actividades de I+D interna.

Por otra parte, se ha demostrado que las empresas industriales españolas cumplen la taxonomía de Pavitt, dado que son aquellas definidas como *Proveedores especializados* las que, en proporción, obtienen más innovaciones de proceso y realizan actividades de I+D interna. Por el contrario, aquellas pertenecientes al sector *Dominados por los proveedores* son las que obtienen, en términos relativos, menos innovaciones de proceso y actividades de I+D interna.



Determinantes de la Eficiencia Técnica e Impacto de la Competencia en las Empresas Manufactureras

**Cuadro 3.1 y 3.2. Datos descriptivos**

1990	Total Sectores		Dominados por los proveedores		Productores a gran escala		Proveedores especializados		De base científica	
	No. De Obs.*	%**	No. De Obs.	%	No. De Obs.	%	No. De Obs.	%	No. De Obs.	%
<i>Empresas que realizan innovaciones de proceso</i>										
Todas las empresas	464	20.043	124	13.710	212	20.283	62	30.645	66	21.212
Empresas pequeñas	297	10.774	91	7.692	131	12.214	30	13.333	45	11.111
Empresas grandes	167	36.527	33	30.303	81	33.333	32	46.875	21	42.857
Arco mediterráneo	215	17.209	76	10.526	72	20.833	26	15.385	41	24.390
Cornisa cantábrica	91	31.868	12	8.333	58	29.310	16	56.250	5	40.000
Valle del Ebro	44	11.364	5	20.000	26	3.846	6	50.000	7	0.000
Centro	34	20.588	12	25.000	16	18.750	1	0.000	5	20.000
Madrid	51	19.608	12	16.667	19	21.053	12	25.000	8	12.500
Sur	29	17.241	7	28.571	21	14.286	1	0.000	0	0.000
Realizan I+D interna	159	38.365	19	26.316	68	41.176	38	39.474	34	38.235
No realizan I+D interna	305	10.492	105	11.429	144	10.417	24	16.667	32	3.125
Realizan I+D externa	90	34.444	11	36.364	42	40.476	22	36.364	15	13.333
No realizan I+D externa	374	16.578	113	11.504	170	15.294	40	27.500	51	23.529
Empresa exportadora	246	28.455	52	21.154	105	29.524	46	36.957	43	25.581
Empresa no exportadora	218	10.550	72	8.333	107	11.215	16	12.500	23	13.043
<i>Empresas que realizan actividades internas de I+D</i>										
Todas las empresas	464	34.267	124	15.323	212	32.075	62	61.290	66	51.515
Empresas pequeñas	297	17.172	91	6.593	131	13.740	30	40.000	45	33.333
Empresas grandes	167	64.671	33	39.394	81	61.728	32	81.250	21	90.476
Arco mediterráneo	215	34.884	76	19.737	72	33.333	26	57.692	41	51.220
Cornisa cantábrica	91	40.659	12	8.333	58	37.931	16	62.500	5	80.000
Valle del Ebro	44	29.545	5	0.000	26	26.923	6	66.667	7	28.571
Centro	34	17.647	12	0.000	16	18.750	1	100.000	5	40.000
Madrid	51	47.059	12	16.667	19	47.368	12	66.667	8	62.500
Sur	29	13.793	7	14.286	21	14.286	1	0.000	0	0.000
Realizan innovaciones de proceso	93	65.591	17	29.412	43	65.116	19	78.947	14	92.857
No realizan innovaciones de proceso	371	26.415	107	13.084	169	23.669	43	53.488	52	40.385
Realizan I+D externa	90	84.444	11	81.818	42	76.190	22	95.455	15	93.333
No realizan I+D externa	374	22.193	113	8.850	170	21.176	40	42.500	51	39.216
Empresa exportadora	246	55.285	52	30.769	105	54.286	46	73.913	43	67.442
Empresa no exportadora	218	10.550	72	4.167	107	10.280	16	25.000	23	21.739

**Fuente:** Elaboración propia a partir de la ESEE. **Notas:** \* El no. de observaciones expresa el número de empresas que toman el valor 1 para cada una de las variables.

\*\* La segunda columna expresa el porcentaje de empresas que toman valor 1 para cada una de las variables y que además realizan innovaciones de proceso o actividades internas de I+D.

Análisis Coste-Beneficio para el Proyecto de Construcción de una Terminal de Contenedores

1999	Total Sectores		Dominados por los proveedores		Productores a gran escala		Proveedores especializados		De base científica	
	No. De Obs.*	%**	No. De Obs.	%	No. De Obs.	%	No. De Obs.	%	No. De Obs.	%
<i>Empresas que realizan innovaciones de proceso</i>										
Todas las empresas	464	34.483	124	26.613	212	37.264	62	37.097	66	37.879
Empresas pequeñas	311	24.437	96	25.000	135	22.963	32	25.000	48	27.083
Empresas grandes	153	54.902	28	32.143	77	62.338	30	50.000	18	66.667
Arco mediterráneo	215	36.744	75	30.667	73	43.836	26	26.923	41	41.463
Cornisa cantábrica	92	40.217	13	23.077	58	41.379	16	50.000	5	40.000
Valle del Ebro	45	31.111	5	20.000	27	25.926	6	66.667	7	28.571
Centro	34	29.412	13	15.385	16	31.250	1	100.000	4	50.000
Madrid	50	26.000	12	25.000	17	35.294	12	16.667	9	22.222
Sur	28	25.000	6	16.667	21	23.810	1	100.000	0	0.000
Realizan I+D interna	173	55.491	23	43.478	75	64.000	42	45.238	33	57.576
No realizan I+D interna	291	21.993	101	22.772	137	22.628	20	20.000	33	18.182
Realizan I+D externa	127	58.268	23	52.174	60	65.000	25	48.000	19	57.895
No realizan I+D externa	337	25.519	101	20.792	152	26.316	37	29.730	47	29.787
Empresa exportadora	305	41.311	69	28.986	136	47.059	50	38.000	50	46.000
Empresa no exportadora	159	21.384	55	23.636	76	19.737	12	33.333	16	12.500
<i>Empresas que realizan actividades internas de I+D</i>										
Todas las empresas	464	37.284	124	18.548	212	35.377	62	67.742	66	50.000
Empresas pequeñas	311	20.257	96	12.500	135	11.852	32	59.375	48	33.333
Empresas grandes	153	71.895	28	39.286	77	76.623	30	76.667	18	94.444
Arco mediterráneo	215	38.605	75	22.667	73	41.096	26	65.385	41	46.341
Cornisa cantábrica	92	43.478	13	30.769	58	36.207	16	75.000	5	60.000
Valle del Ebro	45	26.667	5	0.000	27	25.926	6	66.667	7	14.286
Centro	34	35.294	13	15.385	16	37.500	1	100.000	4	75.000
Madrid	50	46.000	12	0.000	17	47.059	12	66.667	9	77.778
Sur	28	10.714	6	0.000	21	14.286	1	0.000	0	0.000
Realizan innovaciones de proceso	160	60.000	33	30.303	79	60.759	23	82.609	25	76.000
No realizan innovaciones de proceso	304	25.329	91	14.286	133	20.301	39	58.974	41	34.146
Realizan I+D externa	127	81.102	23	69.565	60	81.667	25	84.000	19	89.474
No realizan I+D externa	337	20.772	101	6.931	152	17.105	37	56.757	47	34.043
Empresa exportadora	305	49.180	69	27.536	136	50.000	50	72.000	50	54.000
Empresa no exportadora	159	14.465	55	7.273	76	9.211	12	50.000	16	37.500

**Fuente:** Elaboración propia a partir de la ESEE. **Notas:** \* El no. de observaciones expresa el número de empresas que toman el valor 1 para cada una de las variables.

\*\* La segunda columna expresa el porcentaje de empresas que toman valor 1 para cada una de las variables y que además realizan innovaciones de proceso o actividades internas de I+D.

## 4. Fronteras estocásticas de producción para la medición de la eficiencia técnica

### 4.1. El concepto de frontera y las distintas medidas de eficiencia

Se define eficiencia como la consecución de objetivos de producción (outputs) con un consumo adecuado de factores de producción (inputs). Farrell (1957) propuso dividir la eficiencia en dos componentes: *eficiencia técnica*, que se define como la habilidad de obtener el máximo output dado un conjunto de inputs, y *eficiencia asignativa*, que refleja la habilidad de una empresa por emplear inputs en las proporciones óptimas, dados sus respectivos precios y la tecnología de producción. La combinación de estas dos medidas dan lugar a la eficiencia económica total.

La evaluación del nivel de eficiencia técnica de las empresas se realiza a partir de la estimación de una función frontera, que bien puede tomar la forma de una función de costes, de producción o de beneficios. Así por ejemplo, la función frontera de producción define el máximo nivel de producto alcanzable,  $Y^*$ , a partir de un vector de cantidades de factores productivos,  $X$ :  $Y^*=f(X)$ . Desde esta perspectiva, la ineficiencia técnica se define como la desviación entre el producto observado de la empresa y el que se obtendría si se utilizara la tecnología de frontera con el mismo vector de inputs. Entonces, para combinaciones observadas de producto e inputs en una empresa  $i$ , el ratio  $Y_i/f(X_i)$  puede interpretarse como una medida de eficiencia técnica en esa empresa.

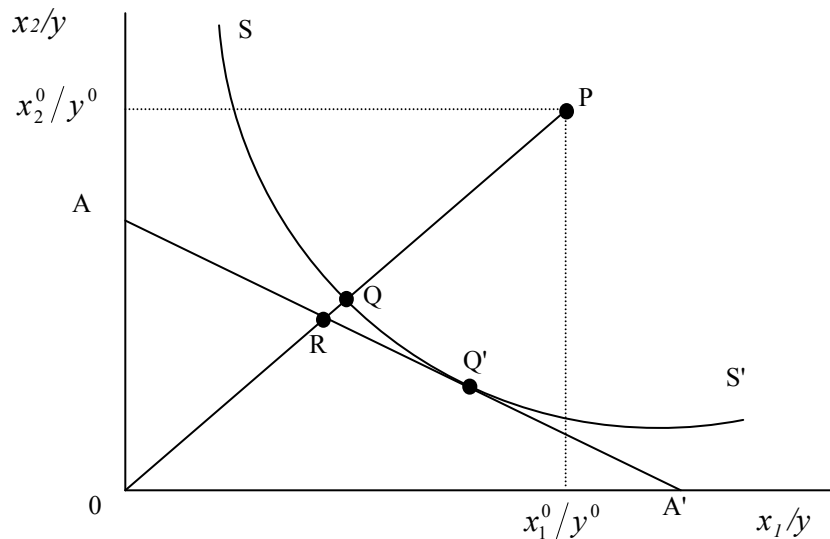
Dado que las fronteras de producción no son conocidas es necesaria su estimación a partir de los datos empíricos. La medición empírica de la eficiencia a través de las funciones frontera se ha abordado desde enfoques diferentes.

#### 4.2. Las fronteras determinísticas y sus diferentes versiones

Se considera el trabajo de Farrell (1957) como primer artículo que aborda los temas de fronteras y medida de la eficiencia.

Suponemos una empresa que produce un único output ( $y$ ) a partir de dos inputs ( $x_1$  y  $x_2$ ) siendo su función de producción  $y = f(x_1, x_2)$ . Bajo el supuesto de rendimientos constantes de escala, la función se podría transformar en  $1 = f(x_1/y, x_2/y)$ , de manera que se pudiera interpretar a la función frontera como una isocuanta unitaria (en términos gráficos, la curva  $SS'$ ).

**Figura 4.1. Eficiencia técnica y eficiencia asignativa**



**Fuente:** Elaboración propia a partir de Coelli *et al.* (1998)

Suponemos que la empresa dispone de dos cantidades de factores de producción iguales a  $(x_1^0, x_2^0)$  para producir una determinada cantidad de producto igual a  $y^0$ , situación representada en la Figura 4.1 por el punto P del gráfico,  $(x_1^0 / y^0, x_2^0 / y^0)$ . Además suponemos que la isocuanta SS' representa las combinaciones óptimas de  $x_1 / y^0, x_2 / y^0$ . Farrell señala que la eficiencia técnica (ET) de la empresa podría medirse por el ratio  $ET_i = OQ/OP = 1 - QP/OP$ , siendo Q un punto situado en la isocuanta y que utiliza el mismo ratio  $x_1 / y^0$  y  $x_2 / y^0$  que P<sup>44</sup>. El índice QP/OP, representaría el grado de ineficiencia técnica de la empresa.

Si el ratio de precio de los inputs, representado por la pendiente de la recta isocoste, AA', fuese conocido, podría ser calculada la eficiencia asignativa (EA). Si consideramos el punto P aquel en el que opera la empresa, la eficiencia asignativa vendría representada gráficamente por el ratio  $EA_i = OR/OQ$  siendo la distancia RQ la reducción en costes de producción que obtendría si la producción se situase en el punto eficiente desde el punto de vista asignativo (y técnico) Q'; en vez de situarse en el punto eficiente desde el punto de vista técnico pero ineficiente desde el punto de vista asignativo, Q.

El ratio de eficiencia económica total (EE) estaría definido por el ratio  $EE_i = OR/OP$  donde la distancia RP podría ser interpretada como una reducción en costes.

---

<sup>44</sup> Geométricamente el punto Q se encuentra situado en el mismo radio vector que el punto P, tal y como muestra el gráfico 4.1.

Una vez obtenidas las medidas de eficiencia técnica y asignativa se obtiene una medida de la eficiencia económica  $ET_i \times EA_i = (0Q/0P) \times (0R/0Q) = EE_i$ .

Dado que la isocuanta unitaria no es directamente observable, debe ser estimada a partir de los datos de las empresas de la muestra. El método de estimación empleado por Farrell es la construcción de una frontera de eficiencia convexa a partir de ratios input-outputs observables mediante técnicas de programación lineal; de ahí que se defina este enfoque como no paramétrico. La metodología no paramétrica más utilizada es la denominada Data Envelopment Análisis (DEA). La principal ventaja de esta técnica es su flexibilidad con los datos dado que no es necesario imponer una determinada forma funcional para la construcción de la frontera de eficiencia. Una de las principales desventajas de esta técnica es la sensibilidad de la frontera estimada a posibles errores de medida, a la posible existencia de fenómenos aleatorios y a las observaciones extremas.

### ***4.3. Fronteras estocásticas de producción***

El enfoque paramétrico en la medición de la eficiencia técnica especifica una forma funcional concreta para la frontera, estimando sus parámetros mediante programación matemática o técnicas econométricas. Dado que en este trabajo se utiliza la segunda de las técnicas, se explicarán brevemente los diferentes modelos econométricos de estimación de funciones frontera de producción<sup>45</sup>.

---

<sup>45</sup> La referencia principal de estimación de fronteras de producción de forma paramétrica mediante técnicas de programación matemática es la de Aigner y Chu (1968). Por otra parte, Nishimizu y Page (1982), descomponen la Productividad Total de los Factores utilizando esta misma técnica.

Aigner, Lovell y Schmidt (1977), y Meeusen y van den Broeck (1977) propusieron una nueva frontera de producción, diferente a la de Farrell y denominada estocástica, en la que al error,  $v_i$ , se le añade una variable aleatoria no negativa,  $u_i$ , que muestra el grado de ineficiencia de la empresa. De esta manera la frontera estocástica de producción quedaría de la siguiente manera:

$$\ln(y_i) = x_i' \beta + v_i - u_i \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (4.1)$$

El error aleatorio,  $v_i$ , expresaría errores en los datos así como otros factores aleatorios; como los efectos del tiempo, huelgas, o suerte sobre el valor de la variable output; permitiendo separar el impacto de la ineficiencia técnica, de los efectos aleatorios.

La estimación de las fronteras estocásticas de producción se puede realizar mediante el método máximo-verosímil o mediante mínimos cuadrados corregidos, siendo necesario en ambos casos determinar una distribución para  $u_i$  y otra para  $v_i$ , de tal manera que se consideren dichas distribuciones como independientes, además de suponer que el conjunto de variables independientes  $x_i$  son variables estrictamente exógenas.

Una de las debilidades de esta técnica es la necesaria asunción de una forma funcional concreta para los efectos de ineficiencia técnica,  $u_i$ ; hecho que puede condicionar en gran medida los resultados de la estimación.

Otro de los inconvenientes de este modelo paramétrico es la necesidad de realizar supuestos sobre las formas funcionales de la tecnología en la función de producción

y de la distribución del error aleatorio  $v_i$ , reduciendo flexibilidad en el análisis. El empleo de funciones de producción más flexibles que la Cobb-Douglas o la CES como son las funciones tranlogarítmicas, en las cuales la sustituibilidad entre factores no se encuentra restringida, y el uso de datos de panel para reducir sesgos al eliminar efectos de variables no observadas, permiten mejorar el uso de los modelos de frontera estocásticos.

#### ***4.4. Estimación con datos de panel: riqueza en la modelización***

El modelo de frontera estocástica para datos de panel se representaría como:

$$y_{it} = \beta_0 + x'_{it} \beta + v_{it} - u_{it} \quad (4.2)$$

$$i = 1, 2, \dots, N$$

$$t = 1, 2, \dots, T$$

donde coeficiente de la variable  $u_{it}$  puede decrecer, permanecer constante o crecer, lo que significaría que la eficiencia técnica podría mejorar, permanecer constante o empeorar a lo largo del tiempo.

Considerando que la ineficiencia técnica permaneciese constante, Schmidt and Sickles (1984) señalan tres grandes ventajas en el uso de datos de panel para la estimación de fronteras de producción.

Por un lado, es posible obtener estimaciones consistentes sin necesidad de especificar una determinada distribución para el término de ineficiencia técnica,  $u_i$  ni para el término de error,  $v_{it}$ . Por otra parte, los datos de panel relajan el supuesto



de ausencia de correlación entre la ineficiencia  $u_i$  y los inputs  $x_{it}$ . Además, el uso de datos de panel en la estimación permite separar en el componente de error la parte atribuible a la ineficiencia técnica para cada observación de la parte que es ruido estadístico.

El modelo suponiendo que el término de ineficiencia técnica es constante  $u_{it} = u_i$  podría expresarse como:

$$y_{it} = \beta_{i0} + x_{it}' \beta + v_{it} \quad (4.3)$$

donde  $\beta_{i0} = \beta_0 - u_i$ .

Este modelo puede estimarse mediante dos métodos. En el primero de ellos, la estimación de los parámetros de la frontera de producción se realiza suponiendo los valores de  $u_i$  como fijos. Los efectos individuales pueden estimarse usando la siguiente expresión:

$$\hat{\beta}_{i0} = \bar{y}_i - \bar{x}_{it}' \hat{\beta}$$

La estimación del término de ineficiencia necesita un supuesto arbitrario sobre el valor para el individuo más eficiente. Así suponemos que  $\min_i (\hat{u}_i) = 0$ , por lo tanto  $\max_i (\hat{\beta}_{i0}) = \hat{\beta}_0$ . Así, el término independiente con un valor más alto  $\hat{\beta}_0$  obtenido en la estimación sirve para calcular  $\hat{u}_i = \max_i (\hat{\beta}_{i0}) - \hat{\beta}_{i0}$ , de manera que todos los efectos de las empresas son iguales o menores que cero y relativos al valor de la

empresa más eficiente. Este modelo se denomina de *efectos fijos* y el estimador se denomina *intragrupos*.

Este modelo tiene dos grandes ventajas: por un lado, permite la correlación entre la variable de ineficiencia técnica y las variables independientes; por otro lado, no es necesario realizar ningún supuesto acerca de la forma funcional para el término de ineficiencia técnica. La debilidad del modelo es la no posibilidad de estimar los coeficientes de regresores invariantes en el tiempo, lo que dificulta la comparación de los niveles de eficiencia entre empresas.

El segundo de los métodos de estimación se denomina de *efectos aleatorios* ya que en el proceso de estimación se tiene en cuenta la naturaleza estocástica de los niveles de eficiencia técnica. Las estimaciones se pueden realizar mediante mínimos cuadrados generalizados, variables instrumentales o mediante máxima-verosimilitud. La ventaja principal de usar estimaciones con variables instrumentales es que no es necesario suponer que las variables  $u_i$  y  $x_{it}$  son independientes, mientras que para la estimación mediante máxima-verosimilitud, es necesario suponer una determinada función de densidad para los efectos de eficiencia técnica específicos. La ventaja de usar un modelo de efectos aleatorios con respecto a un modelo de efectos fijos es que es posible estimar los efectos invariables en el tiempo.

El coste que hay que suponer en este tipo de modelos de panel (modelo de efectos fijos y aleatorios), es el supuesto claramente restrictivo de que los efectos de ineficiencia técnica permanecen constantes en el tiempo. En situaciones de paneles largos de tiempo este supuesto es claramente irreal.

Los trabajos de Cornwell, Schmidt y Sickles (1990), Kumbhakar (1990), Battese y Coelli (1992), Lee y Schmidt (1993) y Battese y Coelli (1995) tratan de flexibilizar dicho supuesto aportando diferentes soluciones.

Así, Cornwell *et al.* (1990) elaboran un modelo con un patrón de variación temporal de la eficiencia técnica diferenciado para cada empresa. Esta variación temporal se modeliza a través de los efectos individuales ( $\beta_{i_0}$ ) de cada empresa.

Por su parte, Lee y Schmidt (1993) elaboran un modelo con patrón de variación común para todas las empresas, también a través de los efectos individuales. La ventaja de este modelo con respecto al anterior es la posibilidad de incluir variaciones explicativas que no varían en el tiempo. El inconveniente es la imposición de un patrón común para todas las empresas. En estos dos modelos no es posible separar posibles cambios en la eficiencia técnica de cambios en el progreso tecnológico.

Kumbhakar (1990) modeliza la variación temporal de la eficiencia técnica a partir del término de error, lo cual requiere que sea necesaria la asunción de una determinada distribución para el término de eficiencia técnica, así como la independencia de dicho término con las variables explicativas. Dicha variación es común para todas las empresas, siendo igual a  $u_{it} = \zeta(t) u_i$ , donde  $\zeta(t)$  es una función exponencial del tiempo.

Battese y Coelli (1992) desarrollaron un modelo similar al anterior pero permitiendo la utilización de un panel de datos incompleto. El término de

ineficiencia técnica sería igual a  $u_{it} = \{\exp[-\eta(t-T)]\}u_i$ ,  $t \in \phi(i)$ , donde  $\phi(i)$  representa el conjunto de  $T_i$  períodos de tiempo entre los  $T$  períodos para los cuales se dispone de datos de la empresa  $i$ . Como en el modelo anterior, el patrón de variación temporal es idéntico para todas las empresas. La ventaja de utilizar estos dos modelos es que ambos permiten separar el efecto de cambios en la eficiencia de los efectos provocados por el cambio tecnológico.

En el siguiente apartado se introduce el modelo empleado en la especificación empírica de este trabajo, un modelo de variación temporal de la eficiencia que relaciona ésta con otras variables, y que ha sido desarrollado por Battese y Coelli (1995).

#### ***4.5. Una frontera de producción incorporando un modelo de efectos de ineficiencia técnica (Battese y Coelli, 1995)***

Los primeros trabajos que estiman una frontera de producción incorporando un modelo de efectos de ineficiencia técnica para datos de sección cruzada son los realizados por Kumbhakar, Ghosh y McGuckin (1991), Reifschneider y Stevenson (1991).

Battese y Coelli (1995) elaboran un modelo frontera para un panel de datos incompleto en el que el término de ineficiencia técnica sigue una distribución truncada con diferentes medias para cada empresa. Por tanto, la variación temporal de la eficiencia técnica es específica para cada empresa.

Consideramos la función de producción frontera para datos de panel, que está definida en la ecuación (4.4),

$$y_{it} = x_{it}\beta + v_{it} - u_{it} \quad (4.4)$$

donde:  $y_{it}$  es el logaritmo de la producción de la observación  $t$ -ésima ( $t = 1, 2, \dots, T$ ) para la empresa  $i$ -ésima ( $i = 1, 2, \dots, N$ )

$x_{it}$  es un vector fila ( $1 \times k$ ), donde el primer elemento es 1 y el resto son logaritmo de las cantidades de  $k$  inputs usadas por la empresa  $i$ -ésima;

$\beta = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k)'$  es un vector columna ( $k \times 1$ ) de parámetros desconocidos a estimar;

$v_{it}$  son errores aleatorios i.i.d. bajo una distribución normal con media cero y varianza  $\sigma_v^2$ , independientemente distribuidos de los  $u_{it}$  que son variables aleatorias no negativas, asociadas con los niveles de ineficiencia técnica de producción;

$u_{it}$  son errores no negativos e independientemente distribuidos mediante una distribución asimétrica, en este caso, mediante una distribución normal truncada en cero,  $N(\mu, \sigma^2)$ ;

La ecuación (4.4) especifica la frontera de producción estándar (p.e. Cobb-Douglas o translog) en términos de producción. Los efectos de ineficiencia técnica,  $u_{it}$ , en el modelo de frontera estocástica (4.4) son especificados en la ecuación (4.5),

$$u_{it} = z_{it}\delta + w_{it} \quad (4.5)$$

donde:  $z_{it}$  es un vector fila ( $1 \times m$ ) de variables asociadas con los niveles de ineficiencia de las empresas; mientras que  $\delta$  un vector columna ( $m \times 1$ ) de coeficientes desconocidos. Las variables explicativas en el modelo de ineficiencia estarían expresando factores que hacen que las observaciones de producción de determinadas empresas estén en la frontera de producción o bien por debajo de la misma. Dicha frontera estaría determinada por  $\exp(x_{it}\beta + v_{it})$ ;

el error aleatorio,  $w_{it}$ , se define como la truncación de una distribución normal, siendo el punto de truncamiento,  $-z_{it}\delta$ . Estos supuestos son consistentes con que  $u_{it}$  se distribuya bajo una normal  $N(z_{it}\delta, \sigma^2)$ .

El supuesto de que los  $u_{it}$  están independientemente distribuidos para todo  $t = 1, 2, \dots, T$ , y  $i = 1, 2, \dots, N$ , es una simplificación que sin embargo, representa una restricción, dado que en otros modelos microeconómicos problemas como de la correlación serial o la endogeneidad de las variables explicativas son tenidos en cuenta y tratados adecuadamente<sup>46</sup>.

La ecuación (4.5) señala que las medias de las distribuciones normales, que están truncadas en cero para obtener las distribuciones de los efectos de ineficiencia técnica, no son las mismas, pero son funciones de valores de variables observables y un vector común de parámetros. De esta manera, los efectos que recogen la ineficiencia son independientes, pero no están idénticamente distribuidos.

---

<sup>46</sup> Una buena revisión de los principales modelos microeconómicos para datos de panel es la realizada por Arellano y Bover (1991).

Cuando se supone el modelo (4.4), la eficiencia técnica de producción para la empresa  $i$ -ésima en la observación  $t$ -ésima está definida por la ecuación (4.6).

$$TE_{it} = \exp(-u_{it}) = \exp(-z_{it}\delta - w_{it}) \quad (4.6)$$

Dado que  $z_{it}\delta + w_{it} > z_{i't'}\delta + w_{i't'}$  para  $i \neq i'$  no necesariamente implica que  $z_{it'}\delta + w_{it'} > z_{i't}\delta + w_{i't}$  para  $t' \neq t$ , esto significa que no existe el mismo orden de empresas en términos de la eficiencia técnica de producción para todos los periodos temporales del estudio, tal y como ocurría en el modelo de Battese y Coelli (1992)<sup>47</sup>.

Por otra parte, tal y como se señala en Aigner, Lovell y Schmidt (1977) para la estimación mediante máxima-verosimilitud se reemplazan los parámetros de la varianza por  $\sigma_s^2 = \sigma^2 + \sigma_v^2$  y  $\gamma = (\sigma^2 / \sigma_s^2)$ , por lo que  $\gamma$  tomará valores entre cero y uno, e indicará la contribución de la varianza del parámetro de eficiencia con relación a la varianza total.

## 5. Aplicación empírica

Para estimar la eficiencia técnica de las empresas industriales españolas<sup>48</sup> se emplea un panel completo correspondiente a 464 empresas procedentes de la Encuesta Sobre Estrategias Empresariales (ESEE), observadas de forma continua desde 1990 hasta 1999. Ello constituye un panel que de 4.640 observaciones pertenecientes a 18 sectores industriales españoles.

---

<sup>47</sup> La función de máxima-verosimilitud del modelo se encuentra en el Anexo 2.

<sup>48</sup> La estimación de la eficiencia técnica se ha realizado con el paquete econométrico de "FRONTIER 4.0" desarrollado por Tim Coelli.

Se supone que la tecnología subyacente a la función de producción es del tipo Cobb-Douglas<sup>49</sup>, por tanto, la función a estimar en logaritmos resulta:

$$\ln Y_{it} = \sum_{s=1}^{18} [\beta_{0s} + \beta_{TS} T + \beta_{LS} \ln L_{it} + \beta_{KS} \ln K_{it}] S_r + v_{it} - u_{it} \quad (5.1)$$

donde:

$S=1, \dots, 18$ , corresponde a cada uno de los 18 sectores en los que se divide la muestra.

$Y_{it}$  es el producto de la empresa  $i$  en el año  $t$ , en términos de valor añadido que se define como la suma de las ventas, la variación de existencias y de otros ingresos de gestión menos las compras y los servicios externos a la empresa.

$T$  es una tendencia temporal incorporada para evaluar la existencia de progreso técnico exógeno, y neutral, según la definición de Hicks.

$L_{it}$  recoge el número medio de trabajadores.

$K_{it}$  es el stock de capital en el periodo  $t$ , calculado siguiendo a Martín y Suárez (1997), y obtenido a partir de la fórmula del inventario permanente:

$$K_t = I_t + K_{t-1}(1 - d_t)P_t / P_{t-1}$$

donde:  $I_{it}$  representa la inversión en bienes de equipo;  $K_{t-1}$  es el stock de capital en el periodo  $t-1$ ;  $d_t$  son las tasas de depreciación;  $P_t$  y  $P_{t-1}$  representan los índices de precios para bienes de equipo publicados por el INE para el periodo  $t$  y  $t-1$ , respectivamente.

<sup>49</sup> Se supone una función Cobb-Douglas en lugar de Translogarítmica, que impone menos restricciones, debido al elevado grado de multicolinealidad que existe entre los regresores.



Finalmente  $\alpha$  y  $\beta$  son los parámetros a estimar y  $S_r$  es una variable dicotómica sectorial que toma el valor 1 cuando  $r=s$  y cero en caso contrario.

Al reordenar la ecuación anterior se puede evaluar la existencia de rendimientos constantes a escala implícita en la función de producción. La función de producción frontera a estimar se define por la ecuación (5.2).

$$\ln \left[ \frac{Y_{it}}{L_{it}} \right] = \sum_{s=1}^{18} \left[ \beta_{0s} + \beta_{TS} T + (\beta_{LS} + \beta_{KS} - 1) \ln(L_{it}) + \beta_{KS} \ln \left( \frac{K_{it}}{L_{it}} \right) \right] S_r + v_{it} - u_{it} \quad (5.2)$$

Si el coeficiente que acompaña al factor trabajo ( $\beta_{LS} + \beta_{KS} - 1$ ) no es estadísticamente significativo, es posible no rechazar la existencia de rendimientos constantes a escala en inputs, capital y trabajo, en el sector  $s$ .

Tal y como señala Fecher y Perelman (1992), a la hora de estimar una frontera de producción para un número determinado de sectores deben ser tenidos en cuenta dos cuestiones.

En primer lugar, se supone que la ecuación (5.2) representa una frontera global correspondiente a todos los sectores, empresas y periodos temporales en la muestra. Sin embargo, cada sector se distingue de los demás por tener unas elasticidades de capital y trabajo, progreso tecnológico y términos independientes diferenciados, de tal manera que se consideran diferentes tecnologías sectoriales. El motivo de la estimación de una sola frontera de producción en lugar de proceder al cálculo de una frontera para cada sector, tal y como lo hacen Martín y Suárez (2000), es la posible existencia de problemas de identificación al estimar fronteras de producción de forma desagregada; en concreto, la obtención de residuos asimétricos no negativos

incompatibles con una función de producción frontera, tal y como señalan Aigner *et al.* (1977). Para evitar este problema, se propone la estimación conjunta todos los sectores de forma agregada permitiendo distintas elasticidades para cada uno de ellos.

En segundo lugar, se considera el cambio técnico como neutral, lo que significa que los términos de segundo orden, los cuales permitirían considerar progreso tecnológico incorporado en la función frontera, son rechazados.

Se supone que los efectos de ineficiencia técnica están definidos por un conjunto de variables explicativas,  $z_{it}$ , y un conjunto desconocido de coeficientes,  $\delta$  que serán estimados a partir de la siguiente expresión:

$$u_{it} = \delta_0 + \sum_{k=1}^4 \delta_k \text{Macroarea}_{it} + \delta_6 \text{Capac}_{it} + \delta_7 \text{Export}_{it} + \delta_8 \text{Ant}_{it} + \delta_9 \text{Inn Proc}_{it} + \delta_{10} \text{Act Int I+D}_{it} + \sum_{m=11}^{13} \delta_m \text{Sect Pavitt}_{it} + \delta_{14} \text{Tendencia}_{it} + w_{it} \quad (5.3)$$

Los factores que se introducen en la ecuación (5.3) son por una lado aquéllos tradicionalmente considerados en la literatura (Hay-Liu, 1997; Nickell, 1996; Bechetti *et al.*, 2003) como por ejemplo *Capac* (utilización de la capacidad), *Ant* (Antigüedad de la empresa), *Macroarea* (variables artificiales que determinan la localización en los polos de crecimiento españoles), *Export* (Empresa exportadora), *Inn Proc* (Empresa innovadora de proceso), *Act Int I+D* (Empresa que realiza

internamente actividades I+D en la empresa), *Sect. Pavitt* (variables artificiales que determinan la trayectoria sectorial de la empresa), *Tendencia*<sup>50</sup>.

Es de esperar que la variable *utilización de capacidad*, que trata de medir el uso de los factores productivos en el proceso de producción de la empresa en un determinado año, se relacione negativamente con el nivel de ineficiencia técnica de las empresas, de manera que aquellas con una mayor utilización de su capacidad productiva, *ceteris paribus*, tendrán niveles de ineficiencia técnica menores<sup>51</sup>.

Jovanovic (1982), establece un modelo teórico de carácter dinámico en el que son las empresas más eficientes las que logran crecer y permanecer en el mercado a lo largo del tiempo, mientras que las más ineficientes salen del mercado debido al efecto competencia. Por tanto se podría predecir que aquellas empresas con una mayor *antigüedad* en el mercado son más eficientes que aquellas con una menor experiencia en el mercado.

Por otra parte, estudios empíricos realizados para la economía española a los que se ha hecho referencia previamente (Prior, 1990; Gumbau y Maudos, 1996; Gumbau y Maudos, 2002) muestran que la localización geográfica de las empresas afecta a sus niveles de eficiencia técnica. Así, las empresas situadas en comunidades autónomas como Madrid o Cataluña suelen ser las eficientes, mientras que las empresas del sur (Extremadura, Andalucía,...) son las menos eficientes. En este

---

<sup>50</sup> Una descripción detallada de todas las variables utilizadas en este trabajo se encuentran en el Anexo 1.

<sup>51</sup> Una discusión más amplia en cuanto a la relación entre la utilización de la capacidad y medidas de actuación de la empresa como productividad, o eficiencia se encuentra en Morrison (1993).

trabajo se ha propuesto agrupar las diversas comunidades autónomas en ejes de crecimiento regionales (*Arco mediterráneo, Cornisa cantábrica, Valle del Ebro, Centro, Madrid y Sur*), suponiendo a priori, que las empresas situadas en los ejes del Mediterráneo, Valle del Ebro, y Madrid tengan mayores niveles de eficiencia técnica que las empresas situadas en el resto de los ejes.

La apertura de nuevos mercados por parte de las empresas, obliga a éstas a mejorar su competitividad y por lo tanto a aumentar la eficiencia en el uso de sus factores de producción (Tybout *et al.*, 1991). Por lo tanto, el hecho de que la empresa sea *exportadora* forzará presumiblemente a que sea más eficiente. Tal y como señalan Alvarez y Crespi (2003), el fundamento teórico de esta hipótesis es el denominado proceso de autoselección y es parecido al expuesto por Jovanovic (1982): sólo las empresas más eficientes sobreviven en los mercados internacionales, caracterizados por su alta competitividad. Si los costes hundidos de venta en el mercado de exportación (como publicidad, reputación, etc.) son más altos que los del mercado doméstico o, los precios de venta del producto son más bajos, sólo las empresas más productivas encontrarán beneficioso entrar en los mercados de exportación.

No existe ningún trabajo previo que relacione la eficiencia técnica de las empresas con el hecho de que la empresa realice *innovaciones de proceso, y actividades de I+D* en el interior de la propia empresa. Desde el punto de vista de la economía aplicada, se pueden considerar tres tipos de estudios diferentes que tratan de evaluar el impacto de este tipo de actividades en la productividad tanto a nivel agregado (por

ejemplo, impacto de los gastos de I+D en la productividad de un país o de una región) como a nivel más desagregado (por ejemplo, impacto de la obtención de innovaciones de producto y proceso en la productividad de un sector o de un conjunto de empresas). Por un lado, existen estudios que tratan de evaluar el impacto de las actividades I+D, considerándolas parte esencial de un input: el *stock de capital tecnológico*, factor de producción distinto a los utilizados tradicionalmente: trabajo, capital y consumos intermedios (Griliches, 1998; Klette y Griliches, 2000,...). El impacto de las actividades I+D sobre la productividad se calcularía a partir de la elasticidad de dicho stock de capital tecnológico (Griliches, 1998).

Otros estudios tratan de explicar las trayectorias tecnológicas de los países, de los sectores o de determinadas empresas a partir de indicadores como *patentes* o el *porcentaje de venta de productos innovadores sobre las ventas totales*, considerándoles una *proxy* del output en el proceso de producción de conocimiento tecnológico (Griliches, 1990).

El tercer tipo de estudios, de carácter más reciente y por lo tanto con un mayor grado de sofisticación, combinan modelos de economía industrial con modelos microeconómicos empleando nuevas bases de datos con gran cantidad de indicadores relacionados con las actividades tecnológicas de las empresas. Estos estudios tratan de evaluar el impacto de diferentes indicadores (gastos de I+D tanto internos como externos a la empresa, patentes, innovaciones de proceso, innovaciones de producto, porcentaje de ventas sobre el total de ventas, etc) sobre

variables como la productividad del trabajo, la productividad total de los factores (Crépon *et al.*, 1998) o sobre el empleo (García *et al.*, 2002).

Parisi *et al.* (2002) presentan evidencia empírica, con datos de empresas manufactureras italianas, acerca del impacto de las innovaciones sobre la productividad, así como el papel jugado por el stock de capital I+D y el stock fijo de capital. Los resultados obtenidos muestran un alto impacto de las innovaciones de proceso sobre la productividad de las empresas así como la influencia de las actividades de I+D sobre el crecimiento de la productividad facilitando la absorción de nuevas tecnologías en el interior de las empresas. Crépon *et al.* (1998) demuestran con datos de empresas francesas que los niveles de productividad están correlacionadas con un mayor nivel de output innovador, medido éste por el número de patentes o por el porcentaje de venta de productos innovadores sobre las ventas totales. Los autores muestran que este efecto perdura incluso controlando la composición de capital humano así como la intensidad de capital físico.

Se esperaría por tanto que aquellas empresas que realizan innovaciones de proceso fueran más eficientes en la producción que aquellas que no realizan innovaciones, así como las empresas que realizan actividades de I+D.

Por otra parte se han establecido cuatro grandes variables artificiales que determinan las diferentes trayectorias tecnológicas de las empresas según su pertenencia a los sectores productivos manufactureros, usando la taxonomía de Pavitt (1984), tal y como ya se comentó en la sección de análisis descriptivo. Así los 18 sectores originarios de la encuesta ESEE se transforman en el Sector *Dominado por*

*los proveedores, Producción a gran escala, Proveedores especializados y Empresas de base científica.* A pesar de no haberse encontrado ningún estudio empírico previo que analice la posible relación entre las trayectorias sectoriales de Pavitt y la eficiencia técnica se espera que, al menos, las empresas que pertenecen al macrosector *Producción a gran escala* sean más eficientes que el resto, ya que uno de sus objetivos principales es la reducción de costes para la elaboración de productos destinados a grandes mercados con un cierto grado de estandarización.

El modelo de frontera, definido por las ecuaciones (5.2) y (5.3), considera que existe cambio técnico en la frontera de producción, además de variación temporal en los efectos de ineficiencia técnica. La variable tendencia en la función de producción frontera muestra el cambio tecnológico neutral o hicksiano. Sin embargo, la variable tendencia en el modelo de ineficiencia especifica que los efectos de ineficiencia técnica podrían variar linealmente con respecto al tiempo. Tal y como se mostró en el apartado anterior, los supuestos distribucionales sobre los efectos de ineficiencia permiten identificar los efectos de cambio técnico y la variación temporal de las ineficiencias técnicas, además de los términos independientes en la frontera estocástica y el modelo de ineficiencia<sup>52</sup>.

El Cuadro 5.1 muestra los parámetros estimados para la función frontera de producción aplicando el modelo de Battese y Coelli (1995). Se puede observar que

---

<sup>52</sup> Para más detalles acerca de esta cuestión, ver Cuesta (2002), trabajo relativo a la variación temporal de los efectos de ineficiencia técnica en los modelos de fronteras estocásticas.

12 de 17<sup>53</sup> sectores tienen un término independiente estadísticamente distinto que el del sector 1 (*Metales férreos y no férreos*) en la frontera de producción.

Por otra parte, hay evidencia de cambio tecnológico neutral en la frontera sólo para 5 sectores (*Productos minerales no metálicos; Material y accesorios eléctricos; Vehículos automóviles y motores; Carne, preparados y conservas de carne; y Papel, artículos de papel e impresión*). Es de destacar la tendencia negativa del sector de *Carne, preparados y conservas de carne*, pudiéndose interpretar como desplazamientos de la frontera de producción hacia abajo al variar el tiempo para dicho sector. Para el resto de sectores no se puede rechazar la hipótesis de no existencia de cambio tecnológico neutral.

A la vista de los resultados se observa que no se puede rechazar la hipótesis de rendimientos constantes a escala para 10 de los 18 sectores (*Metales férreos y no férreos; Productos metálicos; Máquinas agrícolas e industriales; Máquinas de oficinas y proceso de datos; Otro material de transporte; Productos alimenticios y tabaco; Bebidas; Textiles y vestido; Cuero, piel y calzado; y Otros productos manufacturados*). Para el resto de sectores se rechaza la hipótesis de existencia de rendimientos constantes a escala, presentando coeficientes positivos, señalando que operan bajo rendimientos crecientes a escala.

---

<sup>53</sup> Se ha eliminado la variable artificial del sector 1 (Metales Férreos y No Férreos) para evitar la multicolinealidad.



**Cuadro 5.1. Estimación de la función de producción frontera con Cambio Tecnológico Neutral incorporando un Modelo para los Efectos de Ineficiencia Técnicos.**

Sector	Constante		Tendencia		Ln(L)		Ln(K/L)	
Constante y S1.= Metales férreos y no férreos	6.093	(25.769)	0.009	(0.655)	0.015	(0.267)	0.340	(6.584)
S2.= Productos minerales no metálicos	0.935	(3.509)	0.017	(2.183)	0.085	(4.523)	0.165	(8.344)
S3.= Productos químicos	0.142	(0.484)	0.013	(1.491)	0.139	(7.194)	0.246	(10.468)
S4.= Productos metálicos	0.774	(2.901)	0.003	(0.376)	-0.010	(-0.588)	0.237	(11.622)
S5.= Máquinas agrícolas e industriales	1.230	(4.373)	-0.006	(-0.638)	0.030	(1.226)	0.170	(7.516)
S6.= Máquinas de oficina y proceso de datos	4.305	(4.343)	0.016	(0.753)	-0.024	(-0.652)	-0.218	(-1.670)
S7.= Material y accesorios eléctricos	1.365	(4.523)	0.045	(5.156)	0.061	(3.418)	0.107	(3.664)
S8.= Vehículos automóviles y motores	1.097	(2.919)	0.033	(3.743)	0.047	(2.141)	0.136	(3.434)
S9.= Otro material de transporte	1.404	(2.788)	0.001	(0.039)	0.016	(0.326)	0.137	(1.967)
S10.= Carne, preparados y conservas de carne	0.680	(1.740)	-0.021	(-2.920)	0.165	(4.457)	0.121	(2.732)
S11.= Productos alimenticios y tabaco	-0.806	(-2.952)	-0.004	(-0.269)	0.019	(1.397)	0.403	(20.341)
S12.= Bebidas	-1.011	(-1.880)	-0.013	(-0.648)	-0.006	(-0.114)	0.488	(6.426)
S13.= Textiles y vestido	1.103	(4.171)	0.009	(1.242)	0.019	(1.460)	0.139	(8.244)
S14.= Cuero, piel y calzado	0.760	(1.460)	0.014	(0.809)	0.061	(0.935)	0.151	(1.606)
S15.= Madera y muebles de madera	0.975	(3.059)	-0.008	(-0.727)	0.069	(2.406)	0.128	(3.791)
S16.= Papel, artículos de papel, impresión	1.004	(3.245)	0.022	(2.335)	0.130	(5.574)	0.125	(3.887)
S17.= Productos caucho y plástico	-0.083	(-0.237)	0.002	(0.189)	0.086	(4.236)	0.270	(7.771)
S18.= Otros productos manufacturados	0.927	(2.596)	0.020	(1.244)	0.069	(1.890)	0.154	(3.525)
Número Total de Observaciones	4640		Nota: los estadísticos-t aparecen entre paréntesis					
Número de Empresas	464							
Número de años	10							
Sigma-cuadrado	0.891	17.337						
Gamma	0.867	74.527						
Función log Máxima Verosimilitud	-2494.98							
Test ratio Max Verosimilitud Generalizado de una cola	645.64							

**Fuente:** Elaboración propia a partir de la ESEE

En cuanto a las elasticidades sectoriales del capital con respecto al valor añadido en la frontera de producción, no son estadísticamente significativas para 2 sectores (*Máquinas de oficinas y proceso de datos*; y *Cuero, piel y calzado*).

Hay que señalar que la estimador máximo verosímil para  $\gamma$  es igual a 0,867; es decir, el 86,7% de la variabilidad residual se debe a los efectos de ineficiencia técnica  $u_{it}$ , mientras que el resto de la variabilidad depende de efectos aleatorios, recogidos en  $v_{it}$ . Además el test ratio máxima-verosimilitud generalizado de un sola cola provee un estadístico igual a 645,65; mayor que el valor crítico al 5%, 2,71. Se puede aceptar, por tanto, que la representación de la ineficiencia técnica en la ecuación (4.4) es la más adecuada, siendo la estimación mediante Mínimos Cuadrados Ordinarios inconsistente.

Una vez analizados los parámetros estimados de la función frontera de producción es relevante estudiar cómo afectan los variables introducidas como factores que influyen en los efectos de ineficiencia técnica para cada empresa  $u_{it}$ .

En el cuadro 5.2 se puede observar cómo se han obtenido los signos esperados a partir de las hipótesis teóricas y análisis empíricos previos. Así, se puede observar que el coeficiente estimado de la variable *utilización de la capacidad* es negativo y estadísticamente significativo al 99%, indicando que las empresas con una mayor utilización de su capacidad productiva son más eficientes desde el punto de vista técnico, que aquellas empresas con una baja utilización de la capacidad.

El coeficiente de la variable *antigüedad* es negativo y estadísticamente significativo demostrando que aquellas empresas con una mayor experiencia en el mercado son más eficientes desde el punto de vista técnico que aquellas empresas que llevan poco tiempo operando en el mercado.

**Cuadro 5.2. Estimación de la función de producción frontera con Cambio Tecnológico Neutral incorporando un Modelo para los Efectos de Ineficiencia Técnicos (cont.).**

Variables	Coeficiente	
Constante	14.312	(8.557)
Cornisa cantábrica	0.651	(8.743)
Valle del Ebro	-0.746	(-7.403)
Centro	1.409	(13.154)
Madrid	-0.206	(-2.005)
Sur	1.704	(13.828)
Porcentaje de utilización de la capacidad	-0.028	(-15.507)
Empresa exportadora	-0.109	(-2.162)
Antigüedad de la empresa	-0.032	(-27.390)
Innovaciones de proceso	-0.246	(-4.890)
Realiza internamente actividades de I+D	-0.810	(-8.090)
Sectores productores a gran escala	-1.201	(-13.572)
Sectores proveedores especializados	-0.634	(-5.089)
Sectores de base científica	-0.815	(-7.309)
Tendencia	-0.027	(-2.522)
Sigma-cuadrado	0.891	(17.337)
Gamma	0.867	(74.527)
Nota: los estadísticos-t aparecen entre paréntesis		
Número Total de Observaciones	4640	
Número de Empresas	464	
Número de años	10	

**Fuente:** Elaboración propia a partir de la ESEE

En cuanto a la *localización geográfica* de las empresas en los polos de crecimiento regionales, se puede observar en el cuadro 5.2 que aquellas empresas

que se localizan en el *Cornisa Cantábrica*, *Centro* y *Sur* son menos eficientes que las localizadas en el *Arco Mediterráneo*, mientras que las empresas localizadas en el *Valle del Ebro* y en *Madrid* son más eficientes desde el punto de vista técnico que las empresas del *Arco Mediterráneo*<sup>54</sup>. Si se realizase un ranking de eficiencia técnica en función de la localización geográfica de la empresa, se deberían colocar en primer lugar aquellas que se localizan en regiones como Navarra, La Rioja, o Aragón. En segundo lugar situarían las empresas madrileñas, seguidas de las empresas del Arco Mediterráneo. En cuarto lugar, estarían las empresas del Cornisa cantábrica, ocupando las últimas posiciones las empresas del Centro y las empresas del Sur. Los resultados obtenidos parecen estar correlacionados con el potencial de los ejes de crecimiento regionales, de manera que aquellas empresas que se localizan en los polos de mayor dinamismo son las que tienen un mayor nivel de eficiencia técnica.

Por otra parte se demuestra que las *empresas exportadoras* que logran introducirse en mercados extranjeros son más eficientes que aquellas que permanecen en el mercado interior. Por tanto, se corrobora la hipótesis de existencia de costes hundidos en las empresas exportadoras.

Las empresas que realizan *actividades de I+D* interna tienen un nivel de eficiencia técnica mayor que las que no las realizan. Lo mismo se puede decir de las empresas

---

<sup>54</sup> En la estimación se debe quitar una de las variables relacionadas con la localización geográfica para evitar problemas de multicolinealidad. En este caso se ha optado por prescindir de la variable Arco Mediterráneo.

que obtienen *innovaciones de proceso*, ya que son más eficientes desde el punto de vista técnico que aquellas empresas no innovadoras<sup>55</sup>.

Los coeficientes de las variables que expresan las diferentes trayectorias tecnológicas según la clasificación de Pavitt son los esperados ya que las empresas pertenecientes a los sectores *Producción a gran escala*, *Proveedores especializados* y las *Empresas de base científica* son más eficientes que las pertenecientes al macrosector *Dominado por los proveedores*. Las empresas del sector producción a gran escala serían las más eficientes desde el punto de vista técnico, estando en segundo lugar las de base científica, seguidas de los proveedores especializados. En último lugar se encontrarían las empresas pertenecientes al sector dominado por los proveedores.

Por último, se puede observar que el coeficiente de la variable tendencia es negativo y estadísticamente significativo, lo que demuestra que existe una *tendencia* decreciente de la ineficiencia técnica de las empresas manufactureras españolas durante el periodo que va de 1990 a 1999. Si se considera que sólo existe cambio tecnológico en 5 de los 18 sectores de la muestra de empresas, quiere decir que la mayor parte de los incrementos en la productividad de las empresas españolas

---

<sup>55</sup> Podría pensarse que las variables innovación de proceso y realización de actividades I+D en el interior de las empresas pudieran estar muy correlacionadas, sin embargo, las tablas de correlaciones muestran valores muy pequeños de correlación.

vendrían dados por incrementos en el nivel de eficiencia técnica y no por la existencia de progreso tecnológico<sup>56</sup>.

El coeficiente sigma-cuadrado,  $\sigma_s^2$ , y gamma,  $\gamma$  están asociadas a las varianzas de las variables aleatorias  $v_{it}$  y  $u_{it}$ . En el cuadro 5.3 se presentan algunos test ratio de máxima-verosimilitud generalizado que tratan de evaluar la significatividad conjunta de los parámetros estimados  $\gamma$  y  $\delta$ .

El estadístico del test ratio de máxima-verosimilitud se calcula como:

$$\lambda = -2 [\log(\text{verosimilitud}(H_0)) - \log(\text{verosimilitud}(H_1))]$$

y se distribuye aproximadamente como una chi-cuadrado siendo los grados de libertad iguales al número de parámetros que se suponen iguales a cero bajo la hipótesis nula.

El primero de los test trata de evaluar la existencia conjunta de efectos de ineficiencia técnica en el modelo especificado. Así, suponemos que, bajo la hipótesis nula,  $H_0 = \gamma = \delta_0 = \delta_1 = \dots = \delta_{14} = 0$ ; es decir que el modelo no tiene efectos de ineficiencia técnica, el parámetro  $\gamma$  es igual a cero, por tanto la varianza de los efectos de ineficiencia técnica son iguales a cero y el modelo se reduce un función promedio tradicional pudiéndose estimar consistentemente mediante el método de

---

<sup>56</sup> La interpretación original de Solow (1957) es que el crecimiento de la productividad recoge el efecto del progreso tecnológico sobre la producción. Esto es cierto si se supone que todas las empresas son eficientes y que la existen rendimientos constantes a escala. Si se relajan dichos supuestos, el crecimiento de la productividad se puede descomponer en cambio tecnológico, variaciones en la eficiencia técnica de las empresas y efectos de escala, entre otros. Para más detalles, ver Nishimizu y Page (1982) como trabajo pionero y Bauer (1990).

Mínimos Cuadrados Ordinarios. Tal y como observamos en el cuadro 5.3 la hipótesis nula es rechazada, por lo que se hace necesaria la estimación de la frontera de producción al existir ineficiencia técnica en la producción de las empresas.

El siguiente contraste trata de evaluar si el efecto conjunto de los determinantes de la ineficiencia técnica es nulo. La hipótesis nula será igual a  $H_0 = \delta_1 = \dots = \delta_{14} = 0$ , la cual se rechaza. Por tanto se demuestra que el efecto conjunto de las variables determinantes de la eficiencia técnica es estadísticamente distinto de cero<sup>57</sup>.

El tercero de los test trata de evaluar la existencia de cambio técnico neutral conjunto en la frontera de producción agregada. Para ello se evalúa si la hipótesis nula,  $H_0 = \beta_{T1} = \dots = \beta_{T18} = 0$ . Como se observa en la tabla, dicha hipótesis nula se rechaza, luego es conveniente introducir en la frontera de producción el componente de cambio técnico neutral.

Por último se pretende evaluar la existencia o no de rendimientos a escala globales en la frontera de producción, por lo que la hipótesis nula es  $H_0 = (\beta_{L1} + \beta_{K1} - 1) = \dots = (\beta_{L18} + \beta_{K18} - 1) = 0$ . Dicha hipótesis es rechazada, por lo que el efecto conjunto es estadísticamente significativo, y por lo tanto la reparametrización de la frontera de producción efectuada en el modelo, tratando de evaluar la existencia de rendimientos a escala es adecuada.

---

<sup>57</sup> Hay que aclarar que el hecho de que los efectos conjuntos sean diferentes a cero no quiere decir que los todos los efectos individuales sean estadísticamente diferentes a cero. El contraste individual de los parámetros se realiza en este estudio usando el estadístico-t.

**Cuadro 5.3. Test de Hipótesis sobre la Especificación de la Frontera de Producción.**

Hipótesis Nula	Log Max Verosimilitud	Estadístico Chi-cuadrado	Grados de libertad	Decisión
$H_0 = \gamma = \delta_0 = \delta_1 = \dots = \delta_{14} = 0$	-2817.80	645.64	16	Rechazo $H_0$
$H_0 = \delta_1 = \delta_2 \dots = \delta_{14} = 0$	-2616.12	242.28	14	Rechazo $H_0$
$H_0 = \beta_{r1} = \beta_{r2} \dots = \beta_{r18} = 0$	-2527.66	65.35	18	Rechazo $H_0$
$H_0 = (\beta_{L1} + \beta_{K1} - 1) = \dots = (\beta_{L18} + \beta_{K18} - 1) = 0$	-2572.67	155.3662	18	Rechazo $H_0$

**Fuente:** Elaboración propia a partir de la ESEE



## 6. Análisis de la eficiencia técnica de las empresas

La eficiencia media de las empresas manufactureras españolas durante los años noventa se sitúa entre el 79% y el 82%, aunque existen diferencias de acuerdo con el sector al que pertenecen. Así, mientras la eficiencia media para el periodo 1990-1999 en el sector *Vehículos automóviles y motores* asciende al 85,3%; en el caso del sector *Textiles y vestido*, la eficiencia media es igual al 74,8%<sup>58</sup>.

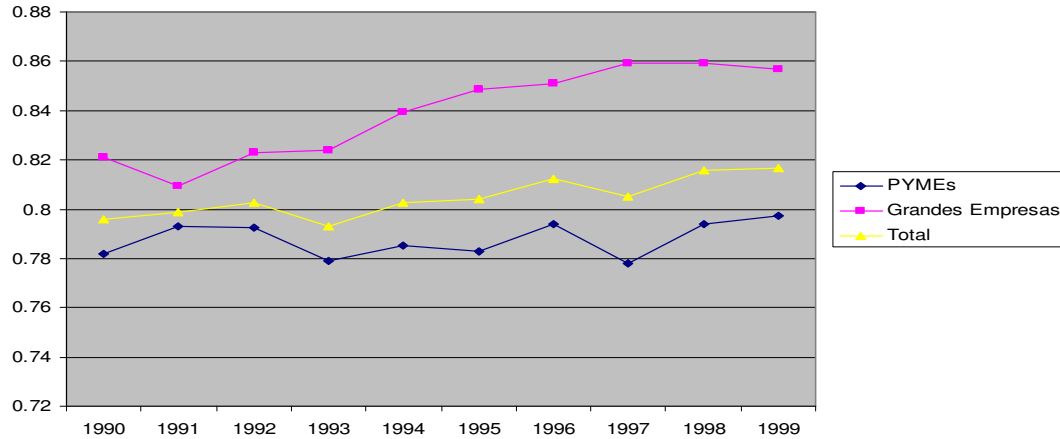
Si se realiza un análisis de la eficiencia técnica según el tamaño de las empresa, tal y como muestra el gráfico 6.1, se observa que la eficiencia técnica de las empresas de mayor tamaño se sitúa entre el 82% de 1990 al 85,5% de 1999; mientras que la evolución de la eficiencia técnica para las empresas de menos de 200 empleados va desde el 78,2% en 1990 al 79,73% de 1999. Por lo tanto se puede afirmar que el incremento en el promedio de la eficiencia técnica en las empresas manufactureras durante los años 90, pasando de 79,6% en 1990 a 81,6% en 1999 se debe principalmente al crecimiento en la eficiencia técnica de las grandes empresas, aunque hay que señalar también que en los dos últimos años, 1998-1999, se produce un ligero cambio de tendencia aumentando la eficiencia promedio en las empresas pequeñas y medianas y disminuyendo la eficiencia de las grandes. Dado que la medida de eficiencia técnica es una medida de carácter relativo, la desviación estándar de dicha medida es al menos tan importante como su promedio. Así, observamos en el gráfico 6.2 que la desviación típica en la eficiencia técnica para las empresas grandes disminuye considerablemente, mientras que la desviación en la

---

<sup>58</sup> Ver Anexo 4A y 4B.

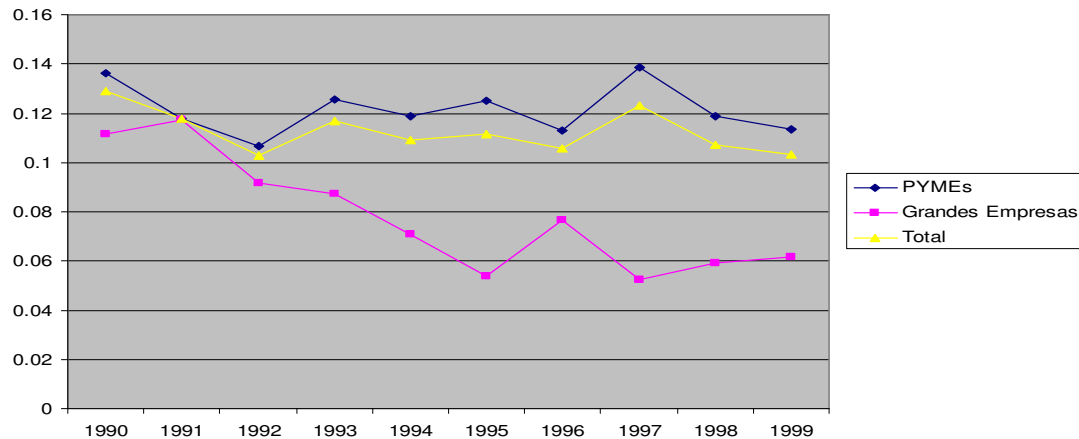
eficiencia técnica para las empresas pequeñas y medianas mantiene una trayectoria irregular. Una posible interpretación podría ser la homogeneización en el tiempo de la tecnología de las empresas de mayor tamaño.

**Gráfico 6.1. Eficiencia técnica promedio por tamaño de las empresas. 1990-1999.**



Fuente: Elaboración propia a partir de la ESEE

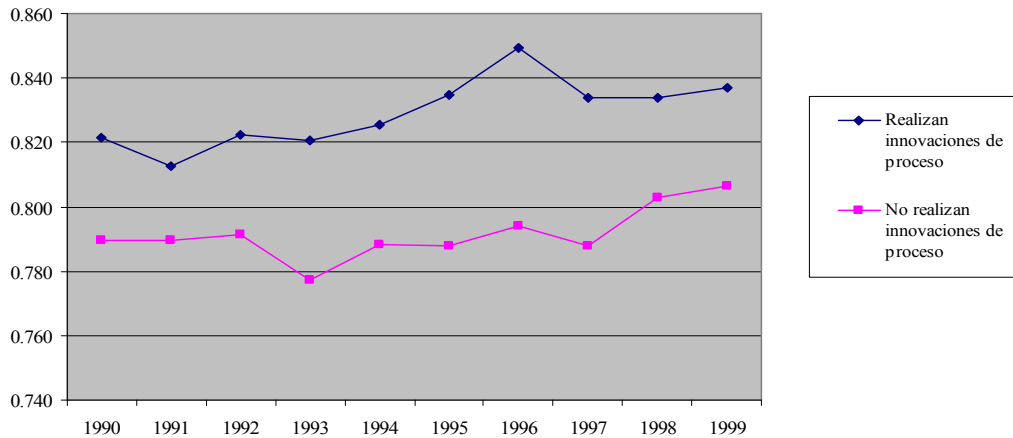
**Gráfico 6.2. Desviación estándar del nivel de eficiencia técnica por tamaño de las empresas. 1990-1999.**



Fuente: Elaboración propia a partir de la ESEE

Si se realiza un análisis de la eficiencia técnica distinguiendo entre empresas que han obtenido innovaciones de proceso y aquellas que no lo han hecho, se observa que la eficiencia técnica de las primeras es superior en todos los años noventa.

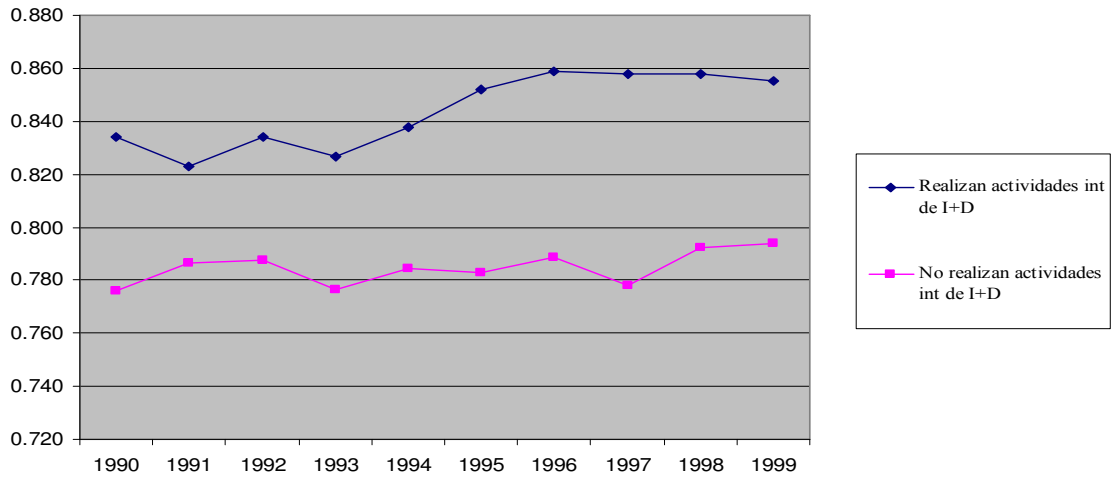
**Gráfico 6.3. Eficiencia técnica promedio de empresas innovadoras y no innovadoras de proceso**



**Fuente:** Elaboración propia a partir de la ESEE

En el gráfico 6.4 se observan los índices de eficiencia técnica promedio de las empresas que han realizado actividades internas de I+D frente a aquellas empresas que no han realizado tales actividades; siendo destacable la brecha existente entre ambos tipos de empresas a lo largo de toda la década, la cual aumenta a partir del año 1993.

**Gráfico 6.4. Eficiencia técnica promedio de empresas que realizan actividades I+D y empresas que no realizan I+D**



**Fuente:** Elaboración propia a partir de la ESEE

## 7. Eficiencia técnica de la empresa, competencia y estructura de mercado

### 7.1. Modelo teórico

El modelo más simple de la relación entre cuota de mercado y costes de las empresas es un modelo de Cournot con producto homogéneo (ver Clarke y Davies (1982)). La característica más interesante de estos modelos es que la cuota de mercado correspondiente a una empresa particular está determinada por su propio nivel de coste relativo a la media simple de los niveles de costes posibles de todas las empresas en la industria.

Se supone una industria con una curva inversa de demanda igual a  $p = f(Q)$

donde  $Q = \sum_{i=1}^N q_i$ , el output del mercado, es la suma de los outputs de todas las empresas.

Además cada empresa tiene una función de costes con coste variable constante,  $c_i$ , y un coste fijo  $F_i$ .

La función de beneficios para una empresa  $i$  está dada por:

$$\pi_i = [f(Q) - c_i]q_i - F_i$$

función que la empresa maximiza, siendo la variable de decisión  $q_i$ . La condición de primer orden para que se alcance el máximo beneficio es que:

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial q_i} = (p - c_i) + q_i \frac{dp}{dQ} \frac{\partial Q}{\partial q_i} = 0 \quad (7.1)$$

Puede ser introducido el comportamiento competitivo de las empresas considerando que:

$$\frac{\partial Q}{\partial q_i} = \frac{\partial q_i}{\partial q_i} + \frac{\partial Q_{-1}}{\partial q_i} = 1 + \lambda_i$$

donde,  $Q_{-1} = Q - q_i$  es la cantidad de producción total de la industria menos la cantidad de producción de la empresa  $i$ ;

y  $\lambda_i$  es la expectativa que tiene la empresa  $i$  acerca de la reacción de sus rivales, en términos de nivel de producción, ante una variación en su cantidad de producción individual. A este parámetro se le denomina *variación conjetural*<sup>59</sup>.

Así, si la variación conjetural de una empresa  $i$  es mayor que cero,  $\lambda_i > 0$ , puede interpretarse que existe una expectativa de comportamiento colusorio, en el sentido de que ante una variación en la producción de la empresa  $i$ , el resto de competidores tenderán a variar su output de manera conjunta. El caso extremo se produce cuando

$\lambda_i = \frac{1 - s_i}{s_i}$ , donde  $s_i$  es la cuota de mercado de la empresa  $i$ . Dicha variación

conjetural indica que en el mercado existe expectativa de colusión total por parte de las empresas, dado que, ante una variación en el nivel de producción de la empresa  $i$ ,

---

<sup>59</sup> Una explicación más detallada sobre el concepto de variación conjetural en aplicaciones empíricas de modelos de oligopolio, se encuentra en Bresnahan (1989). Este artículo, además, es una buena aproximación a la corriente actualmente dominante dentro de la economía industrial aplicada denominada Nueva Organización Industrial Empírica (NEIO, en términos anglosajones).

el resto de empresas ajustan su producción de manera que todas conservan su cuota de mercado inicial.

Si  $\lambda_i = 0$ , para cualquier empresa que forma parte del mercado, se estará produciendo una situación de competencia en cantidades, siendo éste el resultado que predice el modelo de Cournot. Es decir, ante una variación en el nivel de producción de una empresa individual, el resto de empresas que integran la industria no variará su nivel de producción.

Sin embargo, si  $\lambda_i < 0$  existe una expectativa de comportamiento competitivo en la industria en el sentido de que la empresa, en este caso, prevé que ante una variación de la producción el resto de empresas variarán su nivel de producción en sentido contrario.

La ecuación (7.1) puede modificarse para llegar a una expresión en función del margen precio-coste:

$$\frac{p - c_i}{p} = \frac{s_i}{\eta} (1 + \lambda_i) \quad (7.2)$$

Si se despeja la ecuación en función de la cuota de mercado:

$$s_i = \left(1 - \frac{c_i}{p}\right) \frac{\eta}{1 + \lambda_i} \quad (7.3)$$

Tal y como se observa en la expresión (7.3), la cuota de mercado de una empresa está inversamente relacionada con el coste de producción de dicha empresa. Dado que el precio de mercado es endógeno, se van a realizar una serie de

transformaciones de tal manera que se tenga una expresión que relacione la cuota de mercado con una serie de variables exógenas. La expresión (7.2) puede sumarse para todas las empresas que forman parte de la industria  $j = 1, 2, \dots, n$  para obtener:

$$n - \frac{\sum_{j=1}^N c_j}{p} = \frac{1}{\eta} + \frac{\sum_{j=1}^N s_j \lambda_j}{\eta}$$

$$p = \frac{\bar{c}}{1 + \frac{\sum_{j=1}^N s_j \lambda_j}{n\eta}} \quad (7.4)$$

donde  $\bar{c} \equiv \sum_{j=1}^N c_j / n$  es la media de los costes de producción del conjunto de empresas que forman la industria. Sustituyendo por  $p$  dentro de (7.3) se obtiene la siguiente expresión:

$$s_i = \frac{\eta}{1 + \lambda_i} - \frac{\eta}{1 + \lambda_i} \left( 1 - \frac{1 + \sum_{j=1}^N s_j \lambda_j}{n\eta} \right) \frac{c_i}{\bar{c}} \quad (7.5)$$

La expresión que aparece en paréntesis determina el mark-up del precio sobre el coste medio de producción de las empresas, que puede ser interpretado como un índice del grado de competencia en el mercado, de manera que valores pequeños de la expresión mostrarían mercados poco competitivos. Si la expresión entre paréntesis fuera igual a uno, mostraría un mercado perfectamente competitivo.



En el caso general, en el que la variación conjetural difiere para cada una de las empresas, la relación entre la cuota de mercado y el grado de ineficiencia técnica es de tipo no lineal, tal y como señalan Hay y Liu (1997):

$$s_i = \frac{\eta}{1 + \lambda_i} - \frac{c_i}{\bar{c}} \frac{(n\eta - 1)}{n(1 + \lambda_i)} + \frac{1}{(1 - \mu)} \frac{c_i}{\bar{c}} \frac{1}{n(1 + \lambda_i)} \sum_{j=1}^n \frac{\lambda_j}{1 + \lambda_j} \left[ \eta - \frac{c_j}{n\bar{c}} (n\eta - 1) \right] \quad (7.6)$$

Dado que a partir de la expresión (7.6) no se puede determinar el signo de  $\partial s_i / \partial (c_i / \bar{c})$ , se realiza el supuesto de que la variación conjetural es idéntica para todas las empresas que forman parte de la industria, estableciéndose la siguiente relación:

$$s_i = \frac{\eta}{1 + \lambda_i} - \frac{\eta}{1 + \lambda_i} \left( 1 - \frac{1 + \lambda}{n\eta} \right) \frac{c_i}{\bar{c}} \quad (7.7)$$

En la situación en la que  $\lambda$  toma valores entre -1 y 0,  $-1 < \lambda < 0$ ; es decir, cuando existe una expectativa de comportamiento competitivo en el mercado, el coeficiente asociado al nivel de ineficiencia técnica de la empresa  $i$  es negativo, lo cual quiere decir que existirá una relación lineal negativa entre los niveles de ineficiencia de las empresas y la cuota de mercado de dicha empresa<sup>60</sup>. Si la expectativa es que se compita en cantidades de producción, produciéndose un resultado a la Cournot, el coeficiente permanece negativo aunque su valor en términos absolutos será menor que en situaciones cercanas a la competencia perfecta. Además, a partir de la expresión (7.6) se puede observar que una disminución en el

<sup>60</sup> Si existe una relación lineal negativa entre las cuotas de mercado y el grado de ineficiencia técnica de las empresas, existirá una relación positiva entre las cuotas de mercado y el grado de eficiencia técnica de las empresas, por definición de la eficiencia técnica.

número de empresas que forman parte de la industria reduce también el valor absoluto del coeficiente asociado a la ineficiencia técnica.

Se puede afirmar, por tanto, que bajo el supuesto de igualdad en la variación conjetural para todas las empresas, el coeficiente asociado a la ineficiencia técnica podría ser una variable *proxy* del grado de competencia en el mercado.

## 7.2. Especificación econométrica

En esta sección se pretende estimar empíricamente la relación que se obtiene en el modelo teórico enunciado en el apartado anterior.

La expresión empírica que se pretende estimar es la siguiente:

$$Cmdo_{it} = \beta_i + \beta_t + \lambda Cmdo_{t-1} + \alpha_1 Eft_{it} + \varepsilon_{it} \quad (7.8)$$

donde  $Cmdo_{it}$  es el logaritmo de la cuota de mercado para la empresa  $i$  en el periodo temporal  $t$ <sup>61</sup>;  $\beta_i$  representa los efectos individuales de las diferentes empresas que integran la muestra y que reflejan los diferentes factores específicos inobservables, constantes en el tiempo;  $\beta_t$  refleja los efectos temporales comunes para todas las empresas;  $Cmdo_{t-1}$  es el logaritmo de la cuota de mercado para la empresa  $i$  en el periodo temporal  $t-1$ ;  $Eft_{it}$  es el logaritmo de la eficiencia técnica, que se define como  $Eft_{it} = \exp(-u_{it})$ , donde  $u_{it}$  es el grado de ineficiencia técnica de las empresas industriales obtenido en la estimación de la frontera estocástica.

<sup>61</sup> La definición de cuota de mercado aparece en el Anexo 1.

Dado que en el apartado anterior se ha demostrado teóricamente que la relación entre la cuota de mercado y el grado de ineficiencia de una empresa es de tipo no lineal, se ha especificado una relación del tipo log-lineal. Además se supone que la cuota de mercado de cada empresa  $i$  en el periodo  $t$  dependerá en cierta medida de la cuota de mercado que hubiese tenido en el periodo temporal anterior,  $t-1$ . Se está considerando, por tanto, un modelo dinámico con efectos inobservables constantes en el tiempo.

Para eliminar los efectos individuales de las diferentes empresas,  $\beta_i$ , se toma en diferencias la ecuación (7.8) para obtener:

$$\Delta Cmo_{it} = \Delta\beta_i + \lambda\Delta Cmo_{i(t-1)} + \alpha_1\Delta Eft_{it} + \Delta\varepsilon_{it} \quad (7.9)$$

Dado que se puede considerar la variable eficiencia técnica de las empresas como variable endógena, ya que por una parte, la eficiencia técnica va a determinar en cierta medida la cuota de mercado, pero, por otra, la cuota de mercado de las empresas puede influir en la eficiencia técnica de las empresas, se procederá a instrumentalizarla. Por otra parte, el hecho de realizar la transformación de primeras diferencias en el modelo, hace que la variable,  $Cmo_{i(t-1)}$  esté correlacionada con el término de error,  $\varepsilon_{it}$  (Nickell, 1996). Por tanto, se utilizarán como instrumentos válidos, todos los retardos de las variables  $Cmo$  y  $Eft$  a partir de  $t-2$  en adelante. El

método de estimación que se va a emplear es el Método Generalizado de Momentos (Arellano y Bond, 1991)<sup>62</sup>.

Los estimadores GMM que utilizan retardos como instrumentos basándose en el supuesto de que las perturbaciones son ruido blanco son inconsistentes en presencia de perturbaciones autocorrelacionadas. Por lo que se hace necesario un contraste de especificación adicional. Si las perturbaciones en la especificación original son ruido blanco, el modelo transformado en primeras diferencias presentará correlación serial de primer orden en las perturbaciones, pero no de segundo orden. Para contrastar la hipótesis de ausencia de correlación serial de segundo orden, Arellano y Bond (1991) establecen los estadísticos  $m_1$  y  $m_2$ , cuyas hipótesis nulas son la ausencia de correlación serial en las perturbaciones del modelo de primer y de segundo orden, respectivamente.

Otro contraste de especificación que se emplea con GMM es el contraste de restricciones de sobreidentificación, que consiste en contrastar si dichas restricciones son o no estadísticamente iguales a cero, bajo la hipótesis nula de validez de las condiciones de ortogonalidad.

---

<sup>62</sup> A partir del trabajo de Anderson y Hsiao (1982), en el que se propone un modelo dinámico para datos de panel estimado en primeras diferencias para eliminar efectos inobservables y con uso de diferentes retardos en niveles y en diferencias de la variable dependiente para instrumentalizar las variables dependientes retardadas, Arellano y Bond (1991) proponen un estimador GMM que tenga en cuenta instrumentos adicionales que permitan mejorar la eficiencia de la estimación.

### 7.3. Resultados

En la tabla 7.1 se presentan los resultados de las estimaciones. Para analizar la robustez empírica de nuestra hipótesis de partida, se ha procedido a estimar diferentes especificaciones empíricas demostrando que en todas ellas los resultados son similares. Así el modelo (1) es el expresado en la ecuación (7.9) del apartado anterior, el cual se ha estimado mediante GMM en dos etapas, considerando la variable Eficiencia técnica ( $Eft_t$ ) endógena. El modelo (2) es igual a (7.1) salvo que se considera una variable independiente adicional, el retardo de la eficiencia técnica, ( $Eft_{(t-1)}$ ), considerando ambas como variables endógenas. El modelo (3) se estima mediante GMM en dos etapas y considera que la variable eficiencia técnica así como sus retardos,  $Eft_t$ ,  $Eft_{(t-1)}$  y  $Eft_{(t-2)}$  son variables estrictamente exógenas. Por último, el modelo (4) se estima mediante GMM en una etapa considerando las variables  $Eft_t$ ,  $Eft_{(t-1)}$  y  $Eft_{(t-2)}$  estrictamente exógenas.

Tal y como se observa en la tabla 7.1, el coeficiente asociado a la variable eficiencia técnica en el periodo  $t$   $Eft_t$ , tiene en todos los modelos signo positivo y es estadísticamente significativo. Dicho coeficiente varía entre 1,821 del modelo (1) y 1,281 del modelo (3). Mientras los retardos de dicha variable  $Eft_{(t-1)}$  y  $Eft_{(t-2)}$  parecen ser estadísticamente iguales a cero salvo en el caso del modelo (2) donde el coeficiente asociado a la variable  $Eft_{(t-1)}$  tiene signo positivo y es estadísticamente significativo.

**Tabla 7.1. Estimación de la relación entre niveles de eficiencia técnica de las empresas y cuotas de mercado a través de modelos dinámicos**

Periodo de muestra: 1990-1999  
 Número de empresas: 464  
 Número de observaciones: 3248  
 Método de estimación: GMM

Variable dependiente: Cuota de mercado

VARIABLES INDEPENDIENTES	(1)	(2)	(3)	(4)
Cuota de mercado (t-1)	-0.013 (-0.82)	-0.027 (-1.56)	-0.018 (-0.86)	-0.017 (-0.81)
Eficiencia técnica t	1.821 (6.56)	1.559 (5.53)	1.281 (7.14)	1.339 (7.36)
Eficiencia técnica (t-1)	-	0.345 (3.17)	0.070 (0.43)	0.105 (0.59)
Eficiencia técnica (t-2)	-	-	-0.017 (-0.12)	-0.019 (-0.11)
Tamaño	0.236 (1.46)	0.203 (1.23)	0.220 (0.97)	0.301 (1.24)
Constante	0.039 (0.63)	0.057 (0.91)	0.0018 (0.17)	0.003 (0.27)
VARIABLES ARTIFICIALES DEL SECTOR	Incluidas	Incluidas	Incluidas	Incluidas
VARIABLES ARTIFICIALES DE AÑO	Incluidas	Incluidas	Incluidas	Incluidas
$m_1$	13.48 (0.00)	13.6 (0.00)	12.8 (0.00)	-29.63 (0.00)
$m_2$	0.96 (0.33)	0.39 (0.69)	0.19 (0.84)	0.24 (0.81)
Test de Sargan	77.92 (70)	69.2 (69)	25.57 (34)	25.34 (34)

**Fuente:** Elaboración propia a partir de la ESEE

**Nota:** Los t-ratios aparecen entre paréntesis, salvo en el caso de los contrastes. Para los contrastes de correlación serial de las perturbaciones son p-valores, mientras que, en el caso del test de Sargan, son grados de libertad.

Por otra parte, el coeficiente asociado al retardo de la variable dependiente  $Cm_{do,t-1}$  es negativo y estadísticamente igual a cero. La evidencia empírica muestra entonces que la cuotas de mercado de periodos anteriores no afectan a la cuota de

mercado, no existiendo un impacto a largo plazo de la eficiencia técnica en la cuotas de mercado.

En todos los modelos se han introducido variables de control como el tamaño de las empresas, sector productivo al que pertenecen, y variables temporales.

Para comprobar la correcta especificación de los modelos se realizan tres contrastes. Tal y como se observa en la tabla, en los cuatro modelos se rechaza la hipótesis nula de ausencia de correlación serial en las perturbaciones de primer orden, no pudiéndose rechazar la hipótesis nula en el caso de las perturbaciones de segundo orden. En cuanto al contraste de restricciones de sobreidentificación (test de Sargan), no se puede rechazar la hipótesis nula de validez de los instrumentos utilizados en el modelo. Se demuestra, por tanto, que los cuatro modelos están correctamente especificados.

Si se comparan los resultados de la tabla 7.1 con los de la tabla 7.2 donde se ha estimado el mismo modelo de forma estática a través de MCO en niveles, efectos fijos y efectos aleatorios, se observa que los resultados obtenidos anteriormente no difieren significativamente.

De nuevo, el coeficiente asociado a la eficiencia técnica es positivo y estadísticamente significativo.

Tal y como muestra el test de especificación de Hausman, se rechaza la hipótesis de nula de que los estimadores en niveles y en desviaciones estimen los mismos parámetros poblacionales, o lo que es lo mismo, que los efectos individuales inobservables no estén correlacionados con las variables explicativas  $x_{it}$ .

**Tabla 7.2. Estimación de la relación entre niveles de eficiencia técnica de las empresas y cuotas de mercado a través de modelos estáticos**

Periodo de muestra: 1990-1999

Número de empresas: 464

Número de observaciones: 3248

Variable dependiente: Cuota de mercado

VARIABLES INDEPENDIENTES	MCO	Intragrupos (Efectos fijos)	Entregrupos (Efectos aleatorios)	MCG
Eficiencia técnica t	1.796 (12.39)	1.476 (12.85)	2.042 (7.28)	1.644 (15.14)
Tamaño	2.471 (58.36)	0.348 (2.72)	2.697 (28.59)	1.919 (25.15)
Constante	-4.722 (-42.86)	-4.427 (-9.71)	-3.822 (-16.03)	-4.442 (-19.91)
VARIABLES ARTIFICIALES DEL SECTOR	Incluidas	Incluidas	Incluidas	Incluidas
VARIABLES ARTIFICIALES DE AÑO	Incluidas	Incluidas	Incluidas	Incluidas
R-cuadrado	0.504	0.2492	0.4767	0.4982
Prueba de F	242.90 F( 28, 4611)	74.87 F(19,444)	22.09 F(23,4153)	1615.28 Wald chi2(28)
Test de especificación de Hausman				243.96 chi2( 23)

**Fuente:** Elaboración propia a partir de la ESEE

**Nota:** Entre paréntesis se muestran los t-ratios, salvo en el caso de los contrastes, que muestran grados de libertad.

Se demuestra por tanto la robustez de la influencia de la variable eficiencia técnica en las cuotas de mercado de las empresas industriales.

Sin embargo, tal y como se ha mostrado en el modelo teórico suponiendo la misma variación conjetural de todas las empresas que integran la industria, se podía considerar el coeficiente asociado a la ineficiencia técnica un indicador del grado de competencia de la industria.



A partir de esta hipótesis teórica, en la tabla 7.3, aparecen las estimaciones del modelo que relaciona el grado de eficiencia técnica con las cuotas de mercado para cada uno de los sectores productivos definidos en la ESEE<sup>63</sup>. De nuevo se estima mediante el Método Generalizado de Momentos (GMM), usando como instrumentos los retardos en niveles de la variable eficiencia técnica.

Así se observa que para sectores tradicionalmente concentrados<sup>64</sup> como son los sectores relativos a Metales férreos y no férreos; Productos minerales no metálicos y Vehículos automóviles y motores, el coeficiente asociado a la eficiencia técnica es estadísticamente igual a cero. Mientras, en sectores con menor grado de concentración como son Papel, artículos de papel, impresión; Máquinas agrícolas e industriales y Productos metálicos el coeficiente asociado a la eficiencia técnica es positivo y estadísticamente significativo<sup>65</sup>. Se observa que la especificación de los modelos sectoriales son correctas en todos los casos ya que en ningún caso se rechaza la hipótesis nula de ausencia de correlación serial de segundo orden en las

---

<sup>63</sup> No se ha estimado el modelo para los sectores 6, 9, 12 y 14 por no disponer de una muestra suficientemente grande para la estimación GMM.

<sup>64</sup> En Anexo 8 aparece índices de concentración en ventas del año 1993 elaborados por Bajo y Salas (1998) para la industria española.

<sup>65</sup> El hecho de que sectores altamente atomizados como son el de Madera y muebles de madera o Textiles y vestido no tengan coeficientes mayores se debe a un problema de selección de datos. Hay que recordar que en este trabajo se dispone de un panel completo de datos, lo que quiere decir que sólo están aquellas empresas que han contestado durante diez años la encuesta. No se tienen en cuenta por tanto las entradas y salidas de empresas en el mercado o aquellas empresas que contestan parcialmente la encuesta. Con un panel de datos incompleto, los coeficientes asociados a estos sectores serían presumiblemente mayores.

perturbaciones y tampoco se puede rechazar la hipótesis nula del contraste de Sargan con lo que los instrumentos son válidos para cada una de las estimaciones.

A partir de estos resultados se puede afirmar que, en sectores productivos con alta concentración o con comportamientos cooperativos entre las empresas, la eficiencia técnica de las empresas es un factor mucho menos importante en la cuota de mercado de las empresas que en sectores más atomizados o con un mayor comportamiento competitivo, tal y como predecía el modelo teórico desarrollado en apartados anteriores.

Otro factor que puede hacer que las cuotas de las empresas varíen, aparte del grado de competencia del sector y del grado de concentración, pero que no ha sido tenido en cuenta en el modelo teórico es la diferenciación del producto. Sería de esperar que las cuotas de mercado de aquellas empresas que forman parte de sectores con mayor grado de diferenciación del producto serán menos sensibles al grado de eficiencia técnica individual de las empresas. Hay y Liu (1997) justifican esta afirmación con el modelo de diferenciación horizontal del producto más simple: el modelo de Hotelling con dos productos situados una línea de mercado imaginaria con costes de transporte lineales. Si se supone que uno de los productos tiene costes de producción menores, el productor impondrá precios menores logrando cuotas de mercado mayores a costa de la cuota de mercado de su competidor. Si se supone que los costes de transporte son mayores (es decir los productos son más diferenciados y por tanto más difíciles de sustituir) el efecto competencia debido a asimetría en costes se reduce.

**Tabla 7.3. Estimación sectorial de la relación entre niveles de eficiencia técnica de las empresas y cuotas de mercado a través de modelos dinámicos**

	Especificación del modelo					Tests estadísticos			Número de observaciones
	Cuota de mercado (t-1)	Eficiencia técnica t	Eficiencia técnica (t-1)	Eficiencia técnica (t-2)	Constante	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	Test de Sargan	
S1.= Metales férreos y no férreos	-0.018 (-0.09)	0.844 (1.04)	-	-	-0.012 (-0.14)	-1.92 (0.06)	0.01 (0.99)	1.27 (70)	102
S2.= Productos minerales no metálicos	-0.094 (-4.39)	1.408 (1.65)	-	-	-0.063 (-5.50)	-3.27 (0.00)	0.35 (0.73)	31.63 (70)	320
S3.= Productos químicos	-0.110 (-2.71)	1.595 (6.04)	-	-	0.855 (4.83)	-3.07 (0.00)	1.53 (0.12)	19.98 (70)	239
S4.= Productos metálicos	-0.159 (-13.42)	2.615 (9.08)	-	-	0.105 (8.67)	-4.47 (0.00)	-1.39 (0.16)	45.13 (70)	382
S5.= Máquinas agrícolas e industriales	0.066 (1.27)	4.362 (4.91)	-	-	-0.114 (-2.20)	-3.79 (0.00)	-0.83 (0.41)	16.93 (70)	191
S7.= Material y accesorios eléctricos	0.011 (0.36)	1.697 (5.01)	-	-	-0.037 (-0.94)	-4.36 (0.00)	-1.48 (0.14)	25.43 (70)	267
S8.= Vehículos automóviles y motores	0.024 (0.44)	1.270 (0.57)	-	-	-0.040 (-1.46)	-4.09 (0.00)	-0.48 (0.63)	18.69 (70)	231
S10.= Carne, preparados y conservas de carne	-0.113 (-1.01)	1.522 (2.22)	1.565 (1.80)	-0.590 (-0.50)	0.097 (1.40)	-4.72 (0.00)	-1.17 (0.24)	61.91 (68)	91
S11.= Productos alimenticios y tabaco	-0.038 (-2.81)	1.442 (5.21)	-	-	-0.085 (-6.97)	-4.77 (0.00)	-1.15 (0.25)	43.02 (70)	432
S13.= Textiles y vestido	-0.004 (-0.37)	1.302 (2.78)	-	-	-0.029 (-1.05)	-4.92 (0.00)	-2.27 (0.02)	54.52 (70)	403
S15.= Madera y muebles de madera	-0.189 (-2.07)	1.351 (3.16)	0.143 (0.36)	-0.251 (-0.72)	-0.136 (-2.79)	-6.33 (0.00)	-0.46 (0.64)	27.66 (34)	193
S16.= Papel, artículos de papel, impresión	-0.055 (-0.72)	3.088 (3.81)	0.502 (0.76)	0.236 (0.37)	-0.128 (-1.53)	-7.88 (0.00)	0.42 (0.68)	24.42 (34)	257
S17.= Productos caucho y plástico	-0.025 (-0.67)	1.436 (2.16)	-	-	-0.096 (-1.97)	-2.61 (0.01)	-0.05 (0.96)	16.96 (70)	212

**Fuente:** Elaboración propia a partir de la ESEE

## 8. Conclusiones

En este trabajo se han determinado los factores de ineficiencia técnica de las empresas manufactureras españolas y se ha contrastado cómo la competencia, medida a partir de la pendiente de la relación entre las cuotas de mercado y la eficiencia técnica, aumenta los incentivos que tienen las empresas para ser eficientes desde el punto de vista técnico y lograr mayores cuotas de mercado y por tanto mayor nivel de beneficios. Para calcular los niveles de eficiencia técnica se ha estimado una frontera estocástica de producción de tipo Cobb-Douglas para determinar el nivel de eficiencia técnica de 464 empresas a lo largo del periodo 1990-1999 englobadas en 18 sectores industriales, con elasticidades de capital y trabajo, progreso tecnológico y términos independientes para cada sector. Por otra parte, se ha evaluado la existencia de efectos de escala en la frontera de producción y la existencia de progreso técnico neutral para cada uno de los 18 sectores industriales.

Las ventajas del modelo de frontera estocástica de Battese y Coelli (1995) utilizado en este trabajo son varias. En primer lugar, y a diferencia de los modelos clásicos de panel (efectos fijos y aleatorios) permite que la eficiencia técnica varíe a lo largo del tiempo; en este caso, durante 10 años. En segundo lugar, permite diferenciar el componente de eficiencia técnica, del componente de error que expresa fenómenos aleatorios. En tercer lugar permite separar los efectos de ineficiencia de los efectos del progreso tecnológico. La desventajas principales son que no tiene en

cuenta posibles efectos inobservables constantes en el tiempo y que es necesario imponer una determinada forma funcional a los efectos de ineficiencia técnica.

En la estimación de la frontera se rechaza la estimación mediante Mínimos Cuadrados, dado que el parámetro gamma es igual a 0,867. Este resultado indica que la mayoría de la variación residual se debe al efecto de ineficiencia técnica, siendo menor el efecto del error aleatorio. Además, el test ratio máxima-verosimilitud generalizado de un sola cola provee un estadístico igual a 645,65; mayor que el valor crítico al 5%, 2,71. Se acepta, por tanto, la existencia de distintos niveles de eficiencia en las empresas. Por otra parte, en la estimación de la frontera de producción no se puede rechazar la hipótesis de rendimientos a escala para 10 de los 18 sectores. Para el resto de sectores se rechaza la hipótesis de existencia de rendimientos constantes a escala, existiendo rendimientos crecientes a escala. Hay evidencia de progreso tecnológico neutral en la frontera sólo para 5 sectores productivos. La eficiencia media de las empresas manufactureras españolas durante los años noventa se sitúa entre el 79% y el 82%, aunque existen diferencias de acuerdo con el sector al que pertenecen.

Con respecto a las variables explicativas del nivel de eficiencia técnica se observa por un lado, que las empresas con una mayor utilización de su capacidad productiva son más eficientes desde el punto de vista técnico, que aquellas empresas con una baja utilización de la capacidad. La antigüedad de la empresa también está asociada a mayores niveles de eficiencia técnica de las empresas. Por otra parte, el hecho de que las empresas introduzcan innovaciones de proceso afecta positivamente a la

eficiencia técnica de las empresas, lo mismo sucede con la realización de actividades internas de I+D y de la exportación de bienes y servicios.

En cuanto a la localización geográfica de las empresas en los polos de crecimiento regionales, se puede demostrar que aquellas empresas que se localizan en el Cornisa Cantábrica, Centro y Sur son menos eficientes que las localizadas en el Arco Mediterráneo, mientras que las empresas localizadas en el Valle del Ebro y en Madrid son más eficientes desde el punto de vista técnico que las empresas del Arco Mediterráneo.

Las empresas pertenecientes a los sectores Producción a gran escala, Proveedores especializados y las Empresas de base científica son más eficientes que las empresas pertenecientes al macrosector Dominado por los proveedores. Las empresas del sector Producción a gran escala serían las más eficientes desde el punto de vista técnico, estando en segundo lugar las Empresas de base científica, seguidas de los Proveedores especializados. En último lugar se encontrarían las empresas pertenecientes al sector Dominado por los proveedores.

Se observa que existe una tendencia decreciente de la ineficiencia técnica de las empresas manufactureras españolas a lo largo del periodo de estudio, independiente de la tendencia de la frontera de producción. Si se considera que sólo existe cambio tecnológico en 5 de los 18 sectores de la muestra de empresas, quiere decir que la mayor parte de los incrementos en la productividad de las empresas españolas vendrían dados por incrementos en el nivel de eficiencia técnica y no por la existencia de progreso tecnológico.

Si se realiza un estudio de la eficiencia técnica desagregado por el tamaño de las empresas, se observa que el incremento en el promedio de la eficiencia técnica en las empresas manufactureras durante los años 90 se debe principalmente al crecimiento en la eficiencia técnica de las grandes empresas.

Por último se demuestra empíricamente, a través de modelos dinámicos de panel, en primer lugar la relación positiva entre eficiencia técnica relativa de las empresas industriales y su cuota de mercado. En segundo lugar, a través de estimaciones más desagregadas a nivel sectorial se observa que en aquellos sectores con una alta concentración de las ventas, con comportamientos poco cooperativos o con productos más diferenciados, existen menos incentivos a ser más eficientes desde el punto de vista técnico que aquellos sectores donde la concentración es muy baja y existen comportamientos más competitivos. Dicho resultado corrobora el modelo teórico en el que se señalaba la importancia de la competencia entre empresas como mecanismo para incentivar a las empresas a mejorar su eficiencia técnica relativa logrando así mayores cuotas de mercado y por tanto, mayores tasas de rentabilidad.

## Referencias

Aigner, D.J. y S.F. Chu (1968), "On Estimating the Industry Production Function", *American Economic Review*, 58, 826-839.

Aigner, D., C. Lovell y P. Schmidt (1977), "Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models", *Journal of Econometrics*, 6, 21-37.

Álvarez Pinilla, A. (coord.) (2001), "La Medición de la Eficiencia y la Productividad", Ediciones Pirámide.

Álvarez, R. y G. Crespi (2003), "Determinants of Technical Efficiency in Small Business", *Small Business Economics*, 20, 3, 233-244.

Anderson, T. W., y C. Hsiao (1982), "Formulation and Estimation of Dynamic Models Using Panel Data", *Journal of Econometrics*, 18, 578-606.

Arellano, M., y S. Bond (1991), "Some Test of Specification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and an Application to Employment Equations". *Review of Economic Studies*, 58, 277-297.

Arellano, M. y O. Bover (1991), "La Econometría de Datos de Panel", *Investigaciones Económicas*, vol. XIV, nº 1, 3-45.



Bain, J.S. (1951), "Relation of Profit Rate to Industry Concentration: American Manufacturing, 1936-1940", *Quarterly Journal of Economics*, 65 (August), 293-324.

Bajo, O. y R. Salas (1998), "Índices de concentración para la economía española: Análisis a partir de las fuentes tributarias". *Economía Industrial*, nº 320, pp. 101-116.

Battese, G.E. 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.

— (1993), "A Stochastic Frontier Production Function Incorporating a Model for Technical Inefficiency Effects", Working Paper, n. 69, Department of Econometrics & Applied Statistics, University of New England.

— (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*, 21:3, 169-179.

- Bauer P.W. (1990), “Decomposing TFP Growth in the Presence of Cost Inefficiency, Nonconstant Returns to Scale, and Technological Progress”, *Journal of Productivity Analysis*, 1, 287-299.
- Bhattacharyya, A., E. Parker y K. Rafee (1994), “An Examination of the Effect of Ownership on the Relative Efficiency of Public and Private Water Utilities”, *Land Economics*, 70:2 (May), 197-209.
- Becchetti, L., D. A. Londono-Bedoya y L. Paganetto (2003), “ICT Investment, Productivity and Efficiency: Evidence at Firm Level using a Stochastic Frontier Approach”, *Journal of Productivity Analysis*, 20, 143-167.
- Bernard, A. y J.B. Jensen (1999), “Excepcional Performance Exporter: Cause, Effect or Both”, *Journal of International Economics*, 47(1), 1-26.
- Bresnahan, T. (1989), “Empirical Studies of Industries with Market Power”, en Schmalensee, R., Willig, R., (eds.) *Handbook of Industrial Organization*, Vol. II, pp. 1011-1057.
- Caves, R.E. y D.R. Barton (1990), “*Efficiency in U.S. Manufacturing Industries*”, The MIT Press.
- Chirwa, E.W. (2004), “Industry and Firm Effects of Privatization in Malawian Oligopolistic Manufacturing”, *Journal of Industrial Economics*, vol. 52, nº. 2, 277-290.

Clarke, R. y S. Davies (1982), "Market Structure and Price-Cost Margins", *Economica*, 49, 277-287.

Clarke, R., S.W. Davies, y M. Waterson (1984), "The Profitability-Concentration Relation: Market Power or Efficiency?". *Journal of Industrial Economics*, 32(4), 435-450.

Coelli, T.J. (1995), "Estimators and Hypothesis Tests for a Stochastic Frontier Function: A Monte Carlo Analysis", *Journal of Productivity Analysis*, 6, 247-268.

— (1996), "A Guide to FRONTIER Version 4.1: A Computer Program for Stochastic Frontier Production and Cost Function Estimation", CEPA Working Paper, 96/07, University of New England.

Coelli, T.J., D.S. Prasada Rao y G.E. Battese (1998), "*An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*", Kluwer Academic Publishers.

Cornwell, C., P. Schmidt y R.C. Sickles (1990), "Production Frontiers with Cross-Sectional and Time-Series Variation in Efficiency Levels", *Journal of Econometrics*, 46, 185-200.

Cowing, T. y R. Stevenson (eds.) (1981), "*Productivity Measurement in Regulated Industries*", Nueva York, Academic Press.

Cowling, K. y M. Waterson (1976), "Price-Cost Margins and Market Structure", *Economica*, 43, 267-274.

Crépon, B., E. Duguet y J. Mairesse (1998), “Research, Innovation , and Productivity: An Econometric Analysis at the Firm Level”, *Economics of Innovation and New Technology*, 7, 139-164.

Cuesta, R.A. (2000), “Modelos con Eficiencia Técnica Variante en el Tiempo”, en A. Álvarez Pinilla (ed.), *La Medición de la Eficiencia y la Productividad*, Ediciones Pirámide.

De la Fuente, A. (1998), “Fronteras de Producción Eficiente y Convergencia Regional: un comentario al trabajo de Maudos, Pastor y Serrano”. *Revista Española de Economía*, Vol. 15, nº 2. 265-271.

Demsetz, H. (1973), “Industry Structure, Market Rivalry, and Public Policy”, *Journal of Law and Economics*, 16 (April), 1-10.

Demsetz, H. (1974), “Two Systems of Belief about Monopoly”, en H. Goldschmidt, H.M. Mann y J.F. Weston (eds.), *Industrial Concentration: the New Learning* (Little-Brown, Boston).

Denny, M., M. Fuss y L. Waverman (1981), “The Measurement and Interpretation of Total Factor Productivity in Regulated Industries with an Application to Canadian Telecommunications”, en T. Cowing y R. Stevenson (eds.), *Productivity Measurement in Regulated Industries*, Nueva York, Academic Press, 172-218.

- Deprins, D., L. Simar y H. Tulkens (1984), "Measuring Labour Efficiency in Post Offices", en M. Marchand, P. Pestiau y H. Tulkens (eds.), *The Performance of Public Enterprises: Concepts and Measurements*, Amsterdam: North-Holland.
- Färe, R., R. Grabowski y S. Grosskopf (1985a), "Technical Efficiency of Philippine Agriculture", *Applied Economics*, 17, 205-214.
- Färe, R., S. Grosskopf y J. Logan (1985b), "The Relative Performance of Publicly-Owned and Privately-Owned Electric Utilities", *Journal of Public Economics*, 26, 89-106.
- Farrell, M.J (1957), "The Measurement of Productive Efficiency", *Journal of the Royal Statistic Society, Series A*, 120, 253-281.
- Fariñas, J.C. y J. Jaumandreu (1999), "Diez Años de Encuesta sobre Estrategias Empresariales (ESEE)", *Economía Industrial*, 329.
- Fecher, F. y S. Perelman (1992), "Productivity Growth and Technical Efficiency in OECD Industrial Activities". En *Industrial Efficiency in Six Nations*, R.E. Caves (Ed.), The MIT Press, 459-488.
- Førsund, F., K. Lovell, y P. Schmidt (1980), "A Survey of Frontier Production Function and of their Relationship to Efficiency Measurement", *Journal of Econometrics*, 13, 5-25.
- Fried, H.O., K. Lovell y S. Schmidt (1993), "*The Measurement of Productive Efficiency. Techniques and Applications*", Oxford University Press.

- García, A., C. Rodríguez, J. Jaumandreu (2002), “Innovación y Empleo: Evidencia a Escala de Empresa”, *Economía Industrial*, nº 348, 111-118.
- Green, A. y D. Mayes (1991), “Technical Inefficiency in Manufacturing Industries”, *The Economic Journal*, 101, 523-538.
- Greene, W.H. (1999), “*Análisis Económico*”, Prentice Hall.
- Griliches, Z. (1990), “Patent Statistics as Economic Indicators: A Survey”. *Journal of Economic Literature*, Vol. 28, 1661-1707.
- Griliches, Z. (1998), “*R&D and Productivity*”, Chicago University Press.
- Gumbau, M. (1998), “La Eficiencia Técnica de la Industria Española”, *Revista de Española de Economía*, vol. 15, nº 1, 67-84.
- Gumbau, M. y J. Maudos (1996), “Eficiencia Productiva Sectorial en las Regiones Españolas: una Aproximación de Frontera”, *Revista Española de Economía*, 13, nº 2, 239-260.
- Gumbau, M. y J. Maudos (2002), “The Determinants of Efficiency: the Case of the Spanish industry”, *Applied Economics*, vol. 34, nº 15, 1941-1948.
- Hay, D.A. y G.S. Liu (1997), “The Efficiency of Firms: What Difference Does Competition Make?”, *The Economic Journal*, 107 (May), 597-617.

- Huergo, E. (2005), “El Diagnóstico de Poder de Mercado en Economía Industrial: Una revisión de la literatura empírica española del siglo XX”, *WUSTL Economic Working Paper. Industrial Organization*, nº 0504003.
- Jovanovic, B. (1982), “Selection and the Evolution of Industry”, *Econometrica*, vol. 50, 649-670.
- Kalimajaran, K. P. y R. T. Shand (1999), “Frontier Production Functions and Technical Efficiency Measures”, *Journal of Economics Surveys*, Vol. 13, no. 2, 149-171.
- Klette, T. y Z. Griliches (2000), “Empirical Patterns of Firm Growth and R&D-Investment: A Quality Ladder Model Interpretation”, *Economic Journal*, 110, 363-387.
- Kumbhakar, S.C. (1990), “Production Frontiers, Panel Data and Time-Varying Technical Efficiency”, *Journal of Econometrics*, 46, 201-211.
- Kumbhakar, K., S. Ghosh y T.J. McGuckin (1991), “A Generalised Production Frontier Approach for Estimating Determinants of Inefficiency un U.S. Dairy Farms”, *Journal of Business and Economic Statistics* 9, 279-286.
- Lee, Y.H. y P. Smith (1993), “A Production Frontier Model with Flexible Temporal Variation in Technical Inefficiency”, en H.O. Fried, C.A.K. Lovell y S.S. Schmidt (Eds.) *The Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications*, Oxford University Press, 237-255.

Lundvall, K. y G.E. Battese (2000), “Firm Size, Age and Efficiency: Evidence from Kenyan Manufacturing Firms”, *Journal of Development Studies*, vol. 36, No. 3, 146-163.

Mahadevan, R. (2000), “How Technically Efficient are Singapore’s Manufacturing Industries”, *Applied Economics*, 32, 2007-2014.

Martin, S. (1988), “The Measurement of Profitability and the Diagnosis of Market Power”, *International Journal of Industrial Organization*, 6, 301-321.

Martín, A. y C. Suárez (1997), “El Stock de Capital para las Empresas de la Encuesta de Estrategias Empresariales”, Documento interno nº 13, Programa de Investigaciones Económicas, Fundación Empresa Pública.

Martín, A. y C. Suárez (2000), “Technical Efficiency of Spanish Manufacturing Firms: a Panel Data Approach”, *Applied Economics*, n. 32, 1249-1258.

Maudos, J., J.M. Pastor y L. Serrano (2000), “Crecimiento de la productividad y su descomposición en progreso técnico y cambio de eficiencia: una aplicación sectorial y regional en España (1964-1993)”, *Investigaciones Económicas*, vol. 24(1), 177-205.

Mayes, D. G., C. M. Harris y M. Lansbury (1994), *Inefficiency in Industry*, Harvester Wheatsheaf, Hemel Hempstead.



Meeusen, W. y J. van den Broeck (1977), "Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Function with Composed Error", *International Economic Review*, 18, 435-444.

Morrison, C.J. (1993), "*A Microeconomic Approach to the Measurement of Economic Performance: Productivity Growth, Capacity Utilization and Related Performance Indicators*", Springer-Verlag, Nueva York.

Nadiri, M.I. y M. Schankerman (1981), "The Structure of Production, Technological Change and the Rate of Growth of Total Factor Productivity in the U.S. Bell System", en T. Cowing y R. Stevenson (eds.), *Productivity Measurement in Regulated Industries*, Nueva York, Academic Press.

Nickell, S.J. (1996), "Competition and Corporate Performance", *Journal of Political Economy*, vol. 104, no. 4, 724-746.

Nishimizu, M. y J.M. Page (1982), "Total Factor Productivity Growth, Technical Progress and Technical Efficiency Change: Dimensions of Productivity Change in Yugoslavia. 1965-78", *Economic Journal*, 92, 920-936.

OECD (1997), "*Oslo Manual: Proposed Guidelines for Collecting and Interpreting Technological Innovation Data*", OECD, Paris.

Parisi, M.L., F. Schiantarelli, A. Sembenelli (2002), "Productivity, Innovation Creation and Absorption, and R&D: Micro Evidence for Italy", Boston College Working Papers in Economics, No. 526

- Pavitt, K. (1984), "Sectoral patterns of technical change: Towards a taxonomy and theory". *Research Policy*, 13, 343-373.
- Pedraja, F., J. Ramajo y J. Salinas (1999), "Eficiencia productiva del sector industrial español: un análisis espacial y sectorial", *Papeles de Economía Española*, nº 80, 51-68.
- Perelman, S. (1995), "R&D, Technological Progress and Efficiency Change in Industrial Activities", *Review of Income and Wealth*, 41 (3), 349-366.
- 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.
- Prior, D. (1990), "La productividad industrial de las CCAA", *Investigaciones Económicas*, 14 (2), 257-267.
- Prior, D. y V. Salas (1994), "La eficiencia técnica de las cajas de ahorros españolas y sus factores determinantes", *Papeles de Economía Española*, nº 58, 141-154.
- Ravenscraft, D. (1983), "Structure-Profit Relationships at the Line of Business and Industry Level", *Review of Economics and Statistics*, 65 (February), 22-31.
- Reifschneider, D. y R. Stevenson (1991), "Systematic Departures from the Frontier: A Framework for the Analysis of Firm Inefficiency", *International Economic Review* 32, 715-723.

Schmidt, P. y R.C. Sickles (1984), "Production Frontiers and Panel Data", *Journal of Business & Economic Statistics*, vol. 2, No. 3, 367-374.

Schmalensee, R. (1985), "Do Markets Differ Much?", *American Economic Review*, vol. 75, n° 3 (June), 341-351.

Schmalensee, R. (1987), "Collusion versus Differential Efficiency: Testing Alternative Hypothesis", *Journal of Industrial Economics*, vol. 35, n° 4, 399-425.

Sidhu, S.S. (1974), "Relative Efficiency in Wheat Production in the Indian Punjab", *American Economic Review*, vol. 64, n° 4 (September), 742-751.

Sleuwaegen, L. y M. Goedhuys (2003), "Technical Efficiency, Market Share and Profitability of Manufacturing Firms in Côte d'Ivoire: the Technology Trap". *Cambridge Journal of Economics*, vol. 27, n° 6, 851-866.

Solow, R. (1957), "Technical Change and the Aggregate Production Function", *Review of Economics and Statistics*, 39(3), 312-320.

Tirole, J. (1990), "*La Teoría de la Organización Industrial*". Ariel Economía.

Tybout, J., J. De Melo y V. Corbo (1991), "The Effects of Trade Reforms on Scale and Technical Efficiency: New Evidence from Chile", *Journal of International Economics*, 31, 231-250.

## **Anexos**

### ***Anexo 1. Construcción de variables***

*Actividades de I+D externas:* Variable artificial que recoge si la empresa contrató actividades de I+D en el ejercicio.

*Actividades de I+D internas:* Variable artificial que recoge si la empresa realizó actividades de I+D en el ejercicio.

*Año de constitución de la empresa:* Variable que recoge el año de constitución de la empresa.

*Cuota de mercado:* Se calcula como el cociente entre las ventas de una empresa y las ventas sectoriales incluidas exportaciones. Dichas ventas sectoriales se obtienen de la Encuesta Industrial de las Empresas que realiza el INE.

*Exportación:* Variable artificial que indica si la empresa realizó exportaciones.

*Macroárea:* Seis variables artificiales que indican la localización geográfica de la empresa, o del principal establecimiento, si la empresa está localizada en varias regiones (*Arco mediterráneo* si la empresa está situada en Comunidad Valenciana, Cataluña, Murcia o Islas Baleares; *Cornisa cantábrica* si la empresa está situada en Cantabria, Asturias, Galicia y País Vasco; *Valle del Ebro:* si la empresa está ubicada en Navarra, La Rioja o Aragón; *Centro:* si la empresa está ubicada en Castilla y León o Castilla La Mancha; *Madrid;* *Sur:* si la empresa está ubicada en Andalucía, Extremadura o Islas Canarias).

*Obtención innovaciones de proceso:* Variable artificial que indica si la empresa obtuvo innovaciones de proceso en el ejercicio. La ESEE define la innovación de proceso como la introducción en la empresa de alguna modificación importante en el proceso de producción, como por ejemplo, introducción de nueva maquinaria o nuevos métodos de organización de producción. La definición de innovación de proceso no coincide con la dada por el Manual de Oslo, el cuál opta por una definición más restringida; dado que no considera innovación de proceso todas las compras de nueva maquinaria, validando únicamente aquellas compras de maquinaria que mejoran los métodos de producción de la empresa. Así, el Manual de Oslo no considera innovaciones de proceso por ejemplo, aquellas compras de maquinaria que únicamente aumentan la capacidad de producción de la empresa.

*Personal total medio:* Se obtiene sumando el personal fijo a tiempo completo, la mitad del personal asalariado fijo a tiempo parcial (ambos conceptos a 31 de diciembre) y los eventuales medios.

*Sectores:* Dieciocho variables artificiales de sector (Metales férreos y no férreos; Productos minerales no metálicos; Productos químicos; Productos metálicos; Máquinas agrícolas e industriales; Máquinas de oficinas y procesos de datos; Material y accesos eléctricos; Vehículos automóbiles y motores; Otro material de transporte; Carne, preparados de y conservas de carne; Productos alimenticios y tabaco; Bebidas; Textiles y vestido; Cuero, piel y calzado; Madera y muebles de madera; Papel, artículos de papel, impresión; Productos de caucho y plástico; Otros productos manufactureros).

*Sectores Pavitt*: Cuatro variables artificiales que indican la naturaleza sectorial de la empresa (*Dominado por los proveedores* si la empresa pertenece a los sectores del Textil; Vestido; Madera y corcho; Cartón y papel; Edición, impresión y reproducción; Muebles; Cuero y calzado; Otras manufacturas. *Producción a gran escala* si la empresa pertenece a los sectores Extractivos; Alimentación y bebidas; Coque y refinado de petróleo, Minerales no metálicos; Manufacturas metálicas; Automóviles; Naval; Otro material de transporte; Tabaco; Metales férreos y no férreos; Electricidad, gas y agua. *Proveedores especializados* si la empresa pertenece a los siguientes sectores Maquinaria; Maquinaria de oficina, cálculo y ordenadores; Máquinas eléctricas. *Empresas de base científica* si la empresa pertenece a los siguientes sectores Química; Farmacia; Caucho y plástico; Componentes electrónicos; Aparatos de radiocomunicación y TV; Aeroespacial; Óptica y relojería).

*Stock de capital*: El capital de reposición en términos corrientes se calcula de forma iterativa a partir de una estimación inicial y de los datos de inversión de las empresas en bienes de equipo (exceptuando construcciones y activos financieros), actualizados a través de la media de un índice de precios de bienes de capital y usando estimaciones sectoriales de tasas de depreciación. El capital en términos reales se obtiene deflactando el valor corriente de reposición. Más detalles de la construcción de esta variable se encuentran en Martín y Suárez (1997).

$$KNR_t = (1-d) KNR_{t-1} \frac{P_t}{P_{t-1}} + I_t$$

donde  $P$  es el índice de precios del capital,  $d$  es la tasa de depreciación del capital e  $I$  es la inversión en bienes de equipo.

*Tamaño:* Variable artificial de tamaño. Dicha variable está dividida en dos categorías: menos trabajadores de 200 trabajadores y más de 200 trabajadores.

*Tendencia:* Variable que toma el valor 0 para el año 1990, el valor 1 para el año 1991, y así sucesivamente hasta el año 1999, en el que la variable tomará el valor 9.

*Utilización de la capacidad:* Porcentaje medio durante el año de la utilización de capacidad estándar de producción de la empresa.

*Valor añadido:* Suma de ventas, variación de existencias y de otros ingresos de gestión, menos las compras y los servicios exteriores. Para obtener el valor añadido en términos reales, se deflacta la serie mediante índices de precios sectoriales obtenidos del INE con base 1990 y clasificación CNAE 74.

**Anexo 2. Función de Máxima-verosimilitud del modelo de Battese y Coelli (1995)**

Este modelo se estima mediante máxima-verosimilitud, obteniéndose los coeficientes de eficiencia técnica a partir de esperanzas condicionales, dados los supuestos del modelo, descritos por Battese y Coelli (1993). Los parámetros de la varianza  $\sigma^2$  y  $\sigma_v^2$ , como se señala en Battese y Corra (1977), se reemplazan por  $\sigma_s = \sigma^2 + \sigma_v^2$  y  $\gamma = (\sigma^2 / \sigma_s^2)$ , por lo que  $\gamma$  tomará valores entre cero y uno, e indicará la contribución de la varianza del parámetro de eficiencia con relación a la varianza total<sup>66</sup>.

El logaritmo de la función de Máxima-verosimilitud resulta entonces:

$$L^*(\theta^*; y) = -\frac{1}{2} \left( \sum_{i=1}^N T_i \right) [\ln 2\pi + \ln(\sigma_s^2)] - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^{T_i} \left[ \frac{(y_{it} - x_{it}\beta + z_{it}\delta)^2}{\sigma_s^2} \right] - \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^{T_i} [\ln \Phi(d_{it}) - \ln \Phi(d_{it}^*)]$$

donde  $d_{it} = \frac{z_{it}\delta}{(\gamma\sigma_s^2)^{\frac{1}{2}}}$

$$d_{it}^* = \frac{\mu_{it}^*}{[\gamma(1-\gamma)\sigma_s^2]^{\frac{1}{2}}}$$

$$\mu_{it}^* = (1-\gamma)z_{it}\delta - \gamma(y_{it} - x_{it}\beta)$$

<sup>66</sup> La  $\gamma$ -parametrización facilita la estimación máximo verosímiles, tal y como señala Coelli (1995).



$$\sigma_* = [\gamma(1-\gamma)\sigma_s^2]^{\frac{1}{2}}$$

y  $\theta^* = (\beta', \delta', \sigma_s^2, \gamma)'$

$\Phi(\cdot)$  es la función de distribución de una variable estocástica normal. De esa forma, se obtienen estimaciones de Máxima-verosimilitud de  $\beta$ ,  $\delta$ ,  $\sigma_s^2$  y  $\gamma$ , las que serán consistentes y asintóticamente eficientes. Como evaluación de los resultados, se contrastará la hipótesis que  $\gamma = 0$ , lo que es equivalente a aceptar que  $\sigma_U^2 = 0$ , en cuyo caso no debería incluirse  $u_i$  en el modelo. Es decir, se rechazaría la representación de ineficiencia técnica de esa forma, por lo cual se podría estimar consistentemente mediante Mínimos Cuadrados Ordinarios.

**Anexo 3. Estadísticos descriptivos de la estimación**

Variable sector	Media	Desviación típica	Variable sector	Media	Desviación típica
Y1/L1	54.70	31.53	Y10/L10	19.23	7.79
L1	310.49	260.59	L10	61.25	94.97
K1	25243.99	32209.60	K10	972.58	1576.52
Y2/L2	36.04	23.50	Y11/L11	24.85	18.35
L2	157.12	187.90	L11	135.90	233.13
K2	5732.02	9659.22	K11	3320.67	6260.92
Y3/L3	40.34	23.14	Y12/L12	64.62	32.86
L3	152.57	185.27	L12	399.44	457.39
K3	9131.72	30280.17	K12	42869.77	72121.45
Y4/L4	29.72	18.36	Y13/L13	20.50	12.92
L4	122.36	200.60	L13	214.52	570.41
K4	2966.18	5951.49	K13	8939.25	73323.48
Y5/L5	29.86	14.66	Y14/L14	16.00	7.68
L5	163.40	6.61	L14	57.27	63.95
K5	3305.02	6509.15	K14	372.64	643.24
Y6/L6	31.28	9.80	Y15/L15	17.28	9.57
L6	278.26	311.62	L15	72.28	120.13
K6	3741.51	3528.41	K15	2705.84	9179.41
Y7/L7	35.78	17.16	Y16/L16	32.25	20.47
L7	397.12	487.52	L16	124.04	184.42
K7	8565.53	13755.20	K16	10089.86	31016.92
Y8/L8	33.51	15.57	Y17/L17	27.21	11.80
L8	526.91	755.18	L17	137.69	164.89
K8	12691.81	13578.43	K17	3310.50	4234.63
Y9/L9	29.57	11.47	Y18/L18	25.74	9.07
L9	235.21	208.35	L18	81.84	107.59
K9	5202.20	5196.77	K18	1655.23	2509.24

Y, K = Miles de euros; L = número de trabajadores

**Fuente:** Elaboración propia a partir de la ESEE

**Anexo 4A. Eficiencia Técnica. Promedios sectoriales (1990-1999).**

Sector	Medias sectoriales										Promedio
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	
S1.= Metales férreos y no férreos	0.818	0.826	0.808	0.816	0.827	0.795	0.843	0.809	0.865	0.837	0.824
S2.= Productos minerales no metálicos	0.834	0.814	0.816	0.803	0.817	0.834	0.826	0.823	0.835	0.836	0.824
S3.= Productos químicos	0.797	0.831	0.837	0.835	0.827	0.830	0.840	0.779	0.837	0.834	0.825
S4.= Productos metálicos	0.831	0.797	0.813	0.824	0.832	0.811	0.818	0.826	0.841	0.831	0.822
S5.= Máquinas agrícolas e industriales	0.815	0.813	0.805	0.786	0.782	0.832	0.842	0.826	0.832	0.831	0.816
S6.= Máquinas de oficina y proceso de datos	0.851	0.842	0.873	0.794	0.812	0.840	0.860	0.854	0.869	0.864	0.846
S7.= Material y accesorios eléctricos	0.827	0.806	0.823	0.784	0.840	0.827	0.848	0.824	0.839	0.825	0.824
S8.= Vehículos automóviles y motores	0.848	0.851	0.851	0.824	0.849	0.851	0.861	0.863	0.869	0.861	0.853
S9.= Otro material de transporte	0.853	0.810	0.825	0.705	0.752	0.848	0.842	0.824	0.835	0.854	0.815
S10.= Carne, preparados y conservas de carne	0.805	0.818	0.788	0.841	0.840	0.813	0.773	0.780	0.734	0.787	0.798
S11.= Productos alimenticios y tabaco	0.768	0.795	0.804	0.809	0.781	0.796	0.801	0.793	0.804	0.823	0.797
S12.= Bebidas	0.754	0.828	0.805	0.777	0.822	0.793	0.819	0.794	0.852	0.840	0.808
S13.= Textiles y vestido	0.723	0.749	0.750	0.726	0.751	0.749	0.753	0.759	0.756	0.765	0.748
S14.= Cuero, piel y calzado	0.738	0.798	0.759	0.759	0.784	0.746	0.805	0.792	0.770	0.766	0.772
S15.= Madera y muebles de madera	0.733	0.734	0.758	0.723	0.695	0.720	0.758	0.749	0.749	0.767	0.739
S16.= Papel, artículos de papel, impresión	0.779	0.758	0.790	0.791	0.799	0.807	0.799	0.812	0.800	0.784	0.792
S17.= Productos caucho y plástico	0.826	0.833	0.824	0.822	0.844	0.812	0.823	0.815	0.852	0.851	0.830
S18.= Otros productos manufacturados	0.834	0.840	0.777	0.848	0.854	0.846	0.823	0.831	0.836	0.830	0.832
Máximo	0.853	0.851	0.873	0.848	0.854	0.851	0.861	0.863	0.869	0.864	
Mínimo	0.723	0.734	0.750	0.705	0.695	0.720	0.753	0.749	0.734	0.765	
Promedio	0.802	0.808	0.806	0.793	0.806	0.808	0.819	0.809	0.821	0.821	

**Fuente:** Elaboración propia a partir de la ESEE

**Anexo 4B. Eficiencia Técnica. Desviaciones típicas sectoriales (1990-1999).**

Sector	Desviaciones estándar sectoriales										Promedio
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	
S1.= Metales férreos y no férreos	0.165	0.095	0.076	0.094	0.059	0.198	0.060	0.207	0.039	0.075	0.107
S2.= Productos minerales no metálicos	0.088	0.094	0.086	0.120	0.096	0.082	0.089	0.090	0.073	0.080	0.090
S3.= Productos químicos	0.133	0.075	0.056	0.082	0.091	0.056	0.063	0.195	0.086	0.100	0.094
S4.= Productos metálicos	0.084	0.118	0.086	0.068	0.060	0.109	0.119	0.078	0.059	0.072	0.085
S5.= Máquinas agrícolas e industriales	0.125	0.113	0.074	0.099	0.142	0.062	0.068	0.072	0.072	0.083	0.091
S6.= Máquinas de oficina y proceso de datos	0.050	0.055	0.044	0.115	0.073	0.052	0.039	0.043	0.023	0.039	0.053
S7.= Material y accesorios eléctricos	0.081	0.139	0.072	0.165	0.054	0.101	0.047	0.108	0.070	0.111	0.095
S8.= Vehículos automóviles y motores	0.085	0.056	0.077	0.070	0.047	0.058	0.051	0.057	0.039	0.050	0.059
S9.= Otro material de transporte	0.064	0.135	0.077	0.103	0.100	0.075	0.057	0.053	0.053	0.052	0.077
S10.= Carne, preparados y conservas de carne	0.085	0.053	0.116	0.046	0.032	0.065	0.127	0.147	0.222	0.206	0.110
S11.= Productos alimenticios y tabaco	0.174	0.114	0.092	0.093	0.128	0.091	0.094	0.105	0.099	0.085	0.107
S12.= Bebidas	0.170	0.112	0.093	0.110	0.089	0.089	0.065	0.145	0.056	0.097	0.103
S13.= Textiles y vestido	0.170	0.141	0.151	0.167	0.153	0.151	0.155	0.155	0.167	0.138	0.155
S14.= Cuero, piel y calzado	0.103	0.065	0.079	0.079	0.098	0.189	0.080	0.059	0.103	0.093	0.095
S15.= Madera y muebles de madera	0.156	0.152	0.105	0.148	0.150	0.168	0.143	0.165	0.157	0.125	0.147
S16.= Papel, artículos de papel, impresión	0.096	0.162	0.119	0.098	0.091	0.067	0.130	0.074	0.079	0.115	0.103
S17.= Productos caucho y plástico	0.085	0.086	0.103	0.089	0.057	0.094	0.072	0.150	0.055	0.057	0.085
S18.= Otros productos manufacturados	0.042	0.045	0.159	0.037	0.036	0.051	0.083	0.048	0.064	0.045	0.061
Máximo	0.174	0.162	0.159	0.167	0.153	0.198	0.155	0.207	0.222	0.206	
Mínimo	0.042	0.045	0.044	0.037	0.032	0.051	0.039	0.043	0.023	0.039	
Promedio	0.109	0.101	0.093	0.099	0.086	0.098	0.086	0.108	0.084	0.090	

**Fuente:** Elaboración propia a partir de la ESEE

**Anexo 5A. Estimación de la función de producción frontera con Cambio Tecnológico Neutral. Modelo normal truncado.**

Estimación Máxima Verosimilitud (B&C, 1992). Modelo Normal Truncado

Sector	Constante		Tendencia		Ln(L)		Ln(K/L)	
S1.= Metales férreos y no férreos	6.865	(23.554)	0.038	(2.936)	0.127	(1.402)	0.212	(3.362)
S2.= Productos minerales no metálicos	0.684	(1.702)	0.040	(5.244)	0.101	(2.943)	0.145	(4.353)
S3.= Productos químicos	-0.329	(-0.495)	0.029	(2.977)	0.076	(1.575)	0.292	(4.169)
S4.= Productos metálicos	0.889	(2.602)	0.029	(4.335)	0.021	(0.616)	0.152	(5.393)
S5.= Máquinas agrícolas e industriales	1.519	(3.558)	0.029	(3.032)	0.046	(0.865)	0.062	(1.891)
S6.= Máquinas de oficina y proceso de datos	1.888	(1.831)	0.040	(2.097)	-0.020	(-0.202)	0.057	(0.384)
S7.= Material y accesorios eléctricos	1.696	(1.936)	0.076	(7.226)	0.080	(1.600)	-0.008	(-0.087)
S8.= Vehículos automóviles y motores	0.980	(1.063)	0.055	(5.215)	-0.009	(-0.179)	0.144	(1.329)
S9.= Otro material de transporte	2.323	(2.431)	0.052	(3.175)	0.138	(1.304)	-0.130	(-1.291)
S10.= Carne, preparados y conservas de carne	0.797	(0.867)	0.004	(0.625)	-0.021	(-0.349)	0.143	(1.261)
S11.= Productos alimenticios y tabaco	-0.806	(-1.951)	-0.007	(-0.508)	-0.016	(-0.689)	0.360	(10.762)
S12.= Bebidas	-0.366	(-0.395)	0.038	(1.824)	0.133	(1.318)	0.274	(2.159)
S13.= Textiles y vestido	0.842	(2.623)	0.032	(5.024)	-0.027	(-1.168)	0.136	(5.887)
S14.= Cuero, piel y calzado	0.880	(1.077)	0.031	(2.269)	0.086	(1.214)	0.044	(0.337)
S15.= Madera y muebles de madera	1.207	(1.348)	0.023	(2.194)	0.156	(3.185)	-0.024	(-0.200)
S16.= Papel, artículos de papel, impresión	1.103	(1.334)	0.049	(4.948)	0.103	(2.713)	0.073	(0.825)
S17.= Productos caucho y plástico	0.044	(0.051)	0.024	(2.709)	0.048	(1.040)	0.222	(2.344)
S18.= Otros productos manufacturados	0.579	(0.591)	0.044	(2.521)	0.059	(0.581)	0.153	(1.392)
Número Total de Observaciones	4640		Nota: los estadísticos-t aparecen entre paréntesis					
Número de Empresas	464							
Número de años	10							
Sigma-cuadrado	0.252	14.284						
Gamma	0.549	26.362						
Mu	0.744	12.638						
Eta	-0.027	-4.055						
Función log Máxima Verosimilitud	-2108.1293							
Test ratio Max Verosimilitud Generalizado de una cola	1419.35							

**Fuente:** Elaboración propia a partir de la ESEE

**Anexo 5B. Estimación de la función de producción frontera con Cambio Tecnológico Neutral. Modelo Semi normal.**

Estimación Máxima Verosimilitud (B&C, 1992). Modelo Semi Normal

Sector	Constante		Tendencia		Ln(L)		Ln(K/L)	
S1.= Metales férreos y no férreos	6.493	(13.448)	0.031	(2.430)	0.215	(3.087)	0.159	(1.702)
S2.= Productos minerales no metálicos	0.596	(1.129)	0.029	(3.798)	0.172	(5.951)	0.130	(3.848)
S3.= Productos químicos	-0.296	(-0.500)	0.019	(2.196)	0.273	(6.741)	0.137	(3.805)
S4.= Productos metálicos	1.140	(2.269)	0.018	(2.787)	0.159	(5.672)	-0.009	(-0.283)
S5.= Máquinas agrícolas e industriales	1.704	(3.030)	0.018	(1.926)	0.082	(2.651)	0.009	(0.183)
S6.= Máquinas de oficina y proceso de datos	1.254	(0.919)	0.025	(1.262)	0.122	(0.654)	0.022	(0.288)
S7.= Material y accesorios eléctricos	1.754	(2.784)	0.067	(7.851)	-0.007	(-0.161)	0.099	(2.564)
S8.= Vehículos automóviles y motores	0.840	(1.260)	0.043	(4.943)	0.155	(2.676)	0.025	(0.557)
S9.= Otro material de transporte	2.562	(3.074)	0.040	(2.543)	-0.126	(-1.526)	0.111	(1.183)
S10.= Carne, preparados y conservas de carne	-0.214	(-0.316)	-0.005	(-0.709)	0.243	(3.663)	0.084	(1.550)
S11.= Productos alimenticios y tabaco	-0.790	(-1.499)	-0.026	(-2.117)	0.379	(13.568)	-0.002	(-0.087)
S12.= Bebidas	0.092	(0.103)	0.022	(1.204)	0.311	(3.063)	0.006	(0.105)
S13.= Textiles y vestido	1.161	(2.304)	0.023	(3.529)	0.107	(4.658)	-0.001	(-0.058)
S14.= Cuero, piel y calzado	1.271	(1.798)	0.025	(1.939)	-0.025	(-0.288)	0.145	(2.026)
S15.= Madera y muebles de madera	1.006	(1.740)	0.008	(0.877)	0.052	(1.073)	0.099	(2.321)
S16.= Papel, artículos de papel, impresión	0.902	(1.556)	0.037	(4.394)	0.101	(2.396)	0.141	(3.868)
S17.= Productos caucho y plástico	0.244	(0.368)	0.013	(1.591)	0.205	(3.919)	0.065	(1.726)
S18.= Otros productos manufacturados	0.809	(1.080)	0.030	(1.928)	0.160	(2.222)	0.004	(0.051)
Número Total de Observaciones	4640		Nota: los estadísticos-t aparecen entre paréntesis					
Número de Empresas	464							
Número de años	10							
Sigma-cuadrado	0.480	12.079						
Gamma	0.752	34.456						
Eta	-0.019	-2.533						
Función log Máxima Verosimilitud	-2146.470							
Test ratio Max Verosimilitud Generalizado de una cola	1342.665							

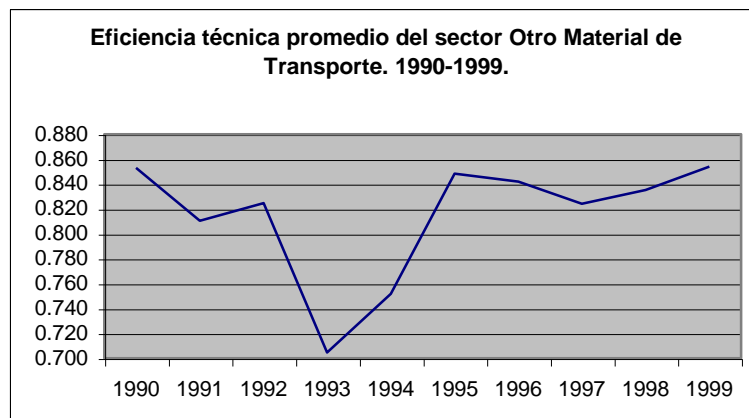
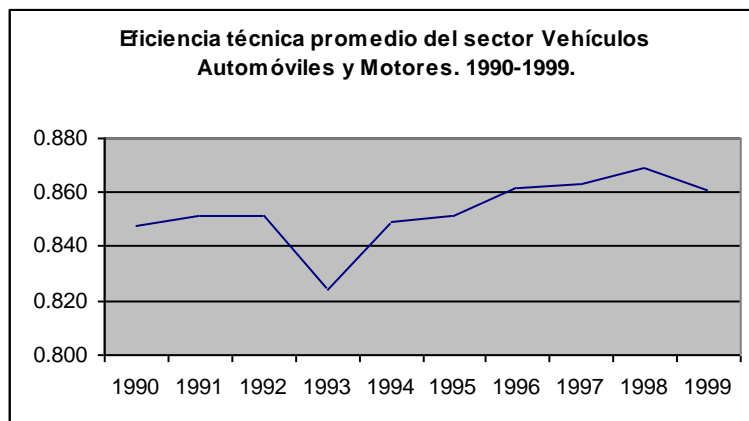
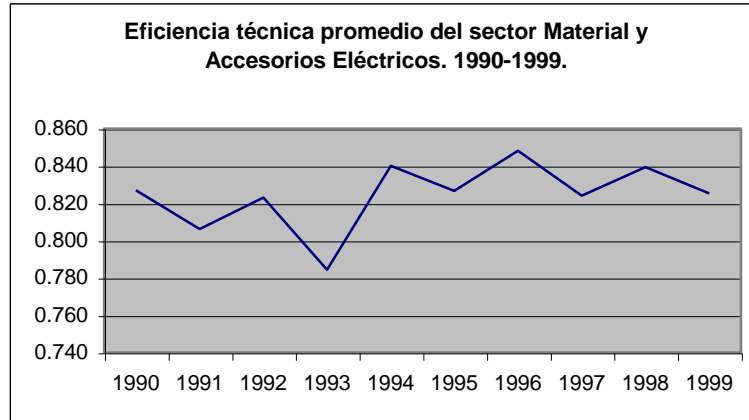
**Fuente:** Elaboración propia a partir de la ESEE

**Anexo 6. Estimación de la función de producción frontera con Cambio Tecnológico Neutral. Modelo Mínimos Cuadrados Ordinarios.**

Sector	Constante		Tendencia		Ln(L)		Ln(K/L)	
S1.= Metales férreos y no férreos	5.573	(18.302)	0.008	(0.523)	0.018	(0.278)	0.372	(5.808)
S2.= Productos minerales no metálicos	1.159	(3.421)	0.020	(2.492)	0.115	(5.858)	0.158	(7.169)
S3.= Productos químicos	0.591	(1.647)	0.014	(1.532)	0.154	(7.108)	0.219	(8.381)
S4.= Productos metálicos	0.953	(2.837)	0.005	(0.654)	0.003	(0.162)	0.246	(10.901)
S5.= Máquinas agrícolas e industriales	1.326	(3.836)	-0.001	(-0.104)	0.063	(2.378)	0.174	(6.710)
S6.= Máquinas de oficina y proceso de datos	4.426	(4.591)	0.019	(0.782)	-0.010	(-0.240)	-0.199	(-1.654)
S7.= Material y accesorios eléctricos	1.689	(4.630)	0.053	(5.842)	0.098	(5.065)	0.075	(2.412)
S8.= Vehículos automóviles y motores	1.368	(3.013)	0.036	(3.646)	0.050	(2.099)	0.142	(3.088)
S9.= Otro material de transporte	1.714	(2.937)	0.011	(0.589)	0.056	(1.053)	0.103	(1.262)
S10.= Carne, preparados y conservas de carne	1.061	(2.294)	-0.016	(-2.286)	0.219	(5.410)	0.088	(1.812)
S11.= Productos alimenticios y tabaco	-0.696	(-2.049)	-0.018	(-1.240)	0.029	(1.982)	0.415	(20.052)
S12.= Bebidas	-1.341	(-2.270)	-0.012	(-0.550)	0.013	(0.227)	0.545	(6.507)
S13.= Textiles y vestido	0.762	(2.338)	0.011	(1.649)	0.040	(2.995)	0.197	(11.799)
S14.= Cuero, piel y calzado	0.904	(1.754)	0.015	(0.951)	0.140	(2.366)	0.119	(1.513)
S15.= Madera y muebles de madera	1.123	(3.003)	-0.004	(-0.423)	0.154	(5.478)	0.087	(2.588)
S16.= Papel, artículos de papel, impresión	1.452	(3.898)	0.029	(3.163)	0.139	(5.535)	0.093	(2.699)
S17.= Productos caucho y plástico	-0.037	(-0.089)	0.003	(0.295)	0.121	(5.376)	0.285	(7.271)
S18.= Otros productos manufacturados	1.230	(2.861)	0.023	(1.313)	0.093	(2.283)	0.143	(2.982)
Número Total de Observaciones	4640		Nota: los estadísticos-t aparecen entre paréntesis					
Número de Empresas	464							
Número de años	10							

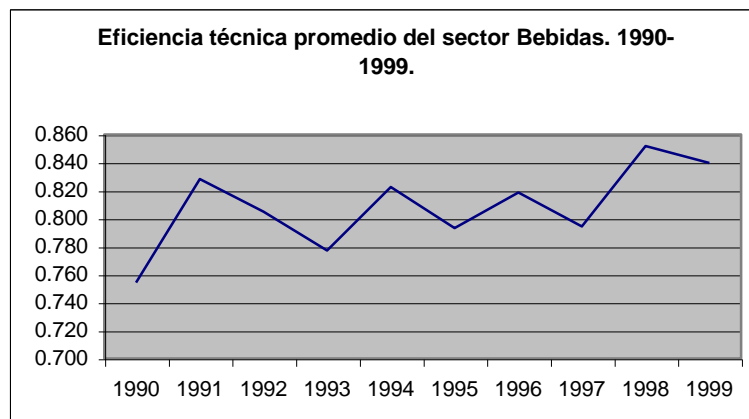
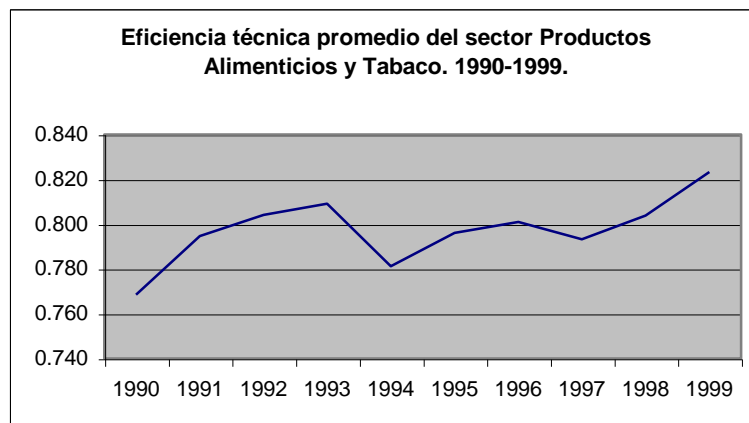
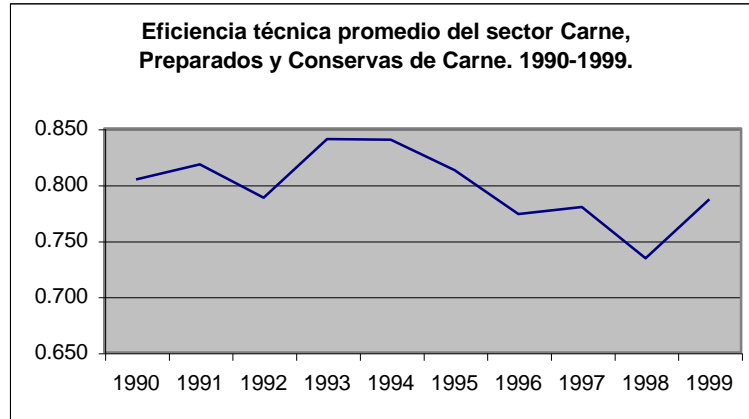
**Fuente:** Elaboración propia a partir de la ESEE

### Anexo 7. Gráficos Eficiencia Técnica Promedio

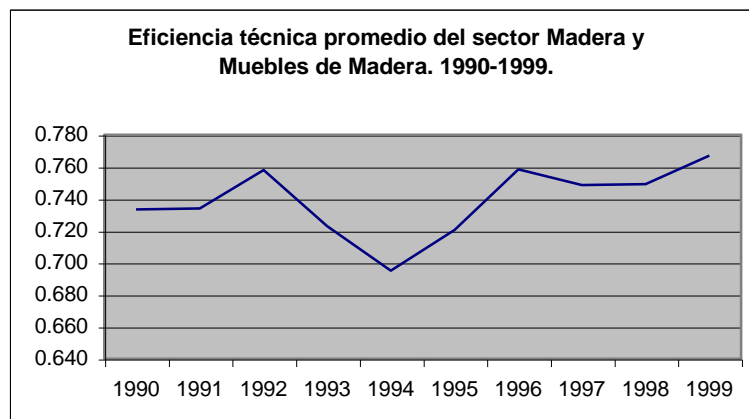
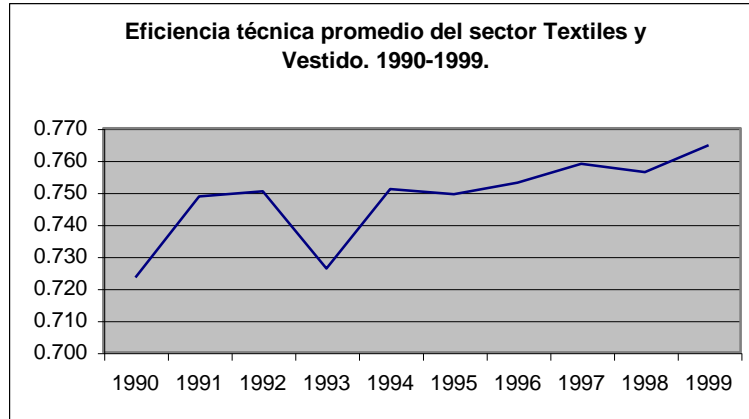




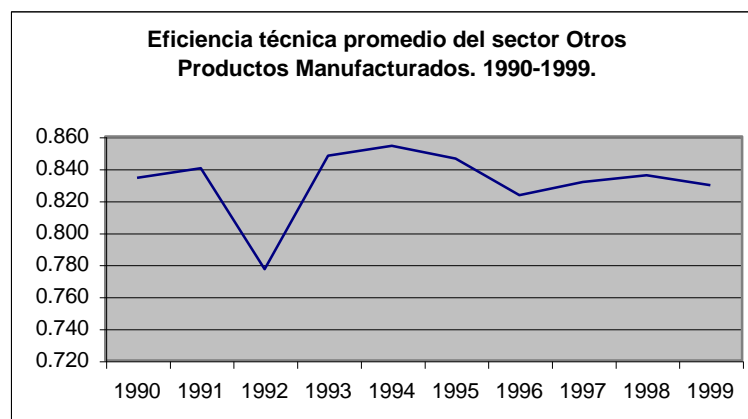
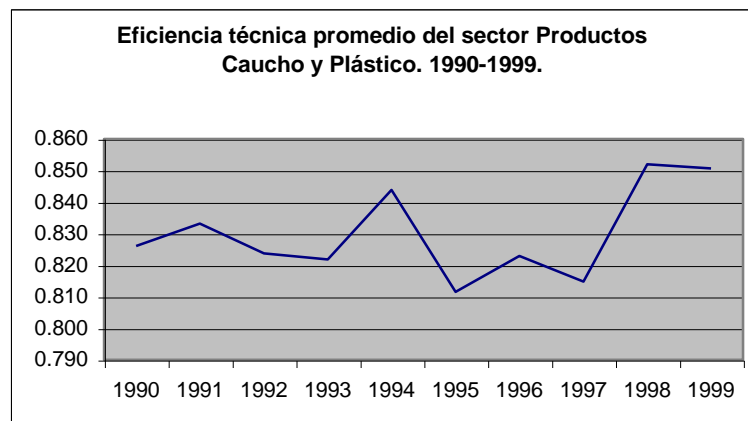
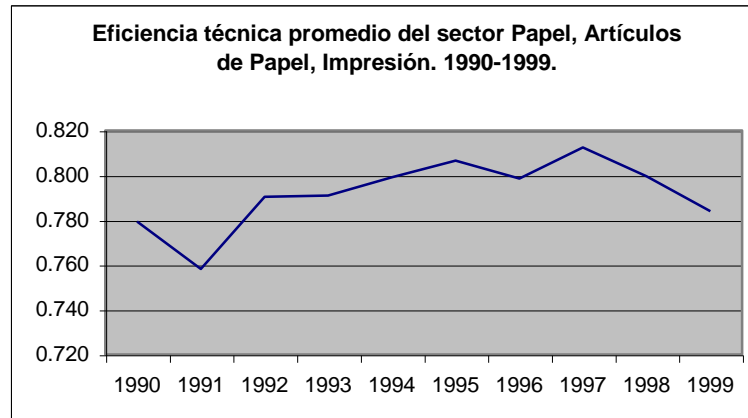
**Anexo 7. Gráficos Eficiencia Técnica Promedio (cont.)**



**Anexo 7. Gráficos Eficiencia Técnica Promedio (cont.)**



### Anexo 7. Gráficos Eficiencia Técnica Promedio (cont.)



**Anexo 8. Índices de concentración en ventas, 1993**

Sectores productivos	RC (4)	RC (10)	Herfindahl
Minerales de hierro y productos siderúrgicos	0.5776	0.7401	0.1123
Minerales y productos no férreos	0.5169	0.6927	0.0852
Cemento, cal, yeso y sus derivados	0.1739	0.2736	0.0135
Vidrio	0.4524	0.5872	0.074
Tierra cocida. Productos cerámicos	0.2102	0.2815	0.0285
Otros minerales y derivados no metálicos	0.1018	0.1628	0.0055
Productos químicos	0.177	0.2918	0.0141
Productos metálicos	0.033	0.0707	0.0013
Máquinas agrícolas e industriales	0.0769	0.1488	0.0035
Máquinas de oficinas, y material eléctrico y electrónico	0.2041	0.3185	0.0168
Vehículos automóviles y motores	0.5403	0.7823	0.0885
Otros medios de transporte	0.4637	0.6489	0.066
Productos alimenticios	0.0655	0.1139	0.0027
Bebidas y tabaco	0.3335	0.4589	0.0711
Productos textiles	0.0527	0.0836	0.0018
Cuero, artículos de piel y calzado	0.0446	0.0936	0.0019
Madera y muebles de madera	0.0444	0.0679	0.0009
Artículos de papel. Edición y artes gráficas	0.067	0.1344	0.0033
Productos del caucho y del plástico	0.2444	0.2945	0.028
Otras industrias manufactureras	0.5403	0.7823	0.0885

**Fuente:** Bajo y Salas (1998)

Estos índices están tomados del trabajo de Bajo y Salas (1998) los cuales estiman a partir de datos de la publicación del Instituto de Estudios Fiscales, Las empresas españolas en las fuentes tributarias del año 2003.

Los índices que se definen son los siguientes:

- 1) El *ratio de concentración*, que constituye la medida más simple:

$$CR(n) = \sum_{i=1}^n s_i$$

donde  $s_i$  es la cuota de mercado de la empresa  $i$ -ésima en un determinado sector siendo igual a

$$s_i = \frac{x_i}{\sum_{i=1}^n x_i} \text{ siendo } x_i \text{ las ventas de la empresa } i\text{-ésima.}$$

y  $n$  es el número de las empresas mayores del sector en términos de ventas. En este caso se han tomado como valores 4 y 10.

2) El *índice de Herfindahl*, o suma de los cuadrados de las cuotas de las empresas:

$$H = \sum_{i=1}^n s_i^2$$





