

# ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA INDUSTRIA ESPAÑOLA Y SU POTENCIAL DE AHORRO.

.....  
**ALFONSO ARANDA**

CIRCE. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

**SABINA SCARPELLINI**

CIRCE. Centro Politécnico Superior

**MARISA FEIJÓ**

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales  
*Universidad de Zaragoza*

**EL INCREMENTO ESPERADO DEL CONSUMO DE ENERGÍA MUNDIAL, FUNDAMENTALMENTE EL DE LOS PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLO, HA INTENSIFICADO LA PREOCUPACIÓN POR EL AUMENTO DE LAS EMISIONES QUE SE GENERARÁN**

11

como consecuencia de dicho incremento. La Cumbre de Río (1992) o el Protocolo de Kyoto (1997) son un claro ejemplo de este hecho. Según este último, España no debería aumentar sus emisiones en el período 2008-2012 más allá de un 15% respecto al nivel de 1990. Los países desarrollados impulsan dos tipos de acciones (relacionadas entre sí) encaminadas a la consecución de los objetivos mencionados: el aumento de la participación de las energías renovables en su estructura energética y la promoción de medidas dirigidas al uso racional de la energía.

La energía es uno de los factores clave en el progreso de un territorio, puesto que cualquier actividad socioeconómica implica su consumo. La preocupación existente por el ahorro de los recursos fósiles, por mejorar la competitividad de los procesos, por disminuir la contaminación ambiental y la dependencia energética con terceros, etc., ha impulsado a los principales organismos mundiales hacia la búsqueda del ahorro de energía.

No obstante, evitar el consumo innecesario de recursos, que es lo que habitualmente se entiende por ahorro de energía,

no es el único modo de alcanzar los objetivos mencionados. El empleo de la fuente de energía más adecuada para cada uso (teniendo en cuenta criterios ambientales y de eficiencia de proceso además de los económicos) y la utilización de tecnologías, como la cogeneración, que permiten integrar varios procesos, también contribuyen en ese sentido. Por este motivo, el término utilizado habitualmente cuando se describen medidas encaminadas a minimizar el impacto económico y ambiental que genera el consumo de energía es el uso racional de la energía (URE), ya que incluye a todas ellas.

El uso racional de la energía, además de contribuir a alcanzar los objetivos de desarrollo globales de un territorio, tiene enormes ventajas tanto para el productor de cualquier bien de consumo, o de servicio, como para el consumidor de los mismos. El productor de bienes o servicios reduce el coste de sus factores de producción, por lo que elabora un producto más competitivo en el mercado y minimiza las emisiones asociadas a su actividad y, con ello, reduce el coste de las instalaciones y de los tratamientos necesarios para adecuarse a la normativa asociada.

## OBJETIVOS

Este artículo se plantea conseguir dos objetivos fundamentales:

**El primero** de ellos es obtener las demandas condicionadas de los factores que participan en el proceso productivo de las empresas, para posteriormente calcular para cada factor las distintas medidas de eficiencia económica (EE), centrandó el análisis en el uso óptimo (eficiente) de los factores energéticos. Este análisis se realiza dentro del marco de la Teoría de la Producción Microeconómica, estimando de forma paramétrica las funciones de producción de los diferentes sectores de la industria, que nos permitirá plantear un problema de minimización del coste para un volumen de producción dado.

12 Este análisis de eficiencia se considera útil para la elaboración de políticas medioambientales dirigidas al ahorro de recursos energéticos en la industria española. Las medidas de ahorro se dirigirán no necesariamente hacia las empresas que más recursos emplean, sino hacia aquellas que los utilizan ineficientemente. En consecuencia, se puede identificar el nivel de ahorro potencial que se puede conseguir con el uso eficiente de los componentes energéticos utilizados en el proceso productivo.

**El segundo** objetivo es analizar, mediante la realización de diagnósticos energéticos a diferentes instalaciones, los potenciales de ahorro energético y económico que se pueden alcanzar con medidas amortizables en un plazo de tiempo razo-

nable en la actual coyuntura económica y energética (entre tres y cinco años).

La profundidad con la que se realizan los diagnósticos y su cantidad deben ser fruto del compromiso que existe entre la exactitud de los datos, su validez temporal (el desarrollo tecnológico y la evolución de los precios de mercado obligan a revisar continuamente los resultados), el grado de sensibilización que permiten alcanzar, el número de usuarios a los que inciden los diagnósticos en sí mismos y la difusión que se alcanza en el resto de la población y, por último, sus costes temporales y económicos.

Este compromiso ha conducido a desarrollar el trabajo realizando unos 160 diagnósticos, ya que con ellos se puede, en un tiempo razonable, alcanzar una precisión adecuada para que la difusión de los resultados permita lograr la realización de acciones encaminadas hacia el uso eficaz de la energía.

La evolución del consumo de energía final por sectores constata la existencia de un sector industrial de elevado consumo específico, ya que en el territorio español el consumo del sector industrial supone el 32% del total.

El análisis del consumo de energía final por fuentes denota que los productos derivados del petróleo y del gas natural suponen el 70% del total, mientras que la energía eléctrica obtenida con recursos propios (el carbón y derivados y las energías renovables) supone, aproximadamente, el 20%.

Estos dos objetivos conjuntamente nos permitirán identificar aquellos sectores industriales que se caracterizan por un mayor grado de ineficiencia en el uso de energía y que, por tanto, deberían ser objeto de una atención prioritaria por parte de las autoridades públicas y además nos permitirán ayudar a diseñar una política industrial de ahorro energético.

## METODOLOGÍA

Para conseguir los objetivos mencionados se ha dividido el artículo en dos partes:

1] Para llevar a cabo el primer objetivo, es decir, determinar el grado de eficiencia energética de los sectores industriales considerados, se han utilizado los datos de la Encuesta Industrial de Empresas de 1995, elaborada por el Instituto Nacional de Estadística, que comprende un corte transversal del total de empresas españolas con 20 o más trabajadores agrupadas en 100 sectores industriales.

Estos datos han sido utilizados para estimar fronteras de producción Cobb-Douglas estocásticas para los principales sectores industriales, según la clasificación de la CNAE. Más tarde, estas fronteras nos han servido para obtener las funciones de demanda condicionada que minimizan el coste de producción, las cuales han sido utilizadas como el estándar para calcular la eficiencia en la utilización de los *inputs* energéticos.

Para medir las diferencias de eficiencia entre empresas, se ha utilizado el marco de la Teoría de la Producción. Farrell (1957) propone medir la ineficiencia en un sentido relativo, como la desviación respecto a los mejores resultados obtenidos por las empresas del sector. Este análisis se plasma en una frontera de producción que representa el comportamiento eficiente de una unidad productiva, y que relaciona el uso de unos *inputs* directos, normalmente trabajo, capital y materias primas, con el máximo *output* que se puede obtener, dado el estado de la tecnología.

La estimación de fronteras de producción requiere información muy precisa sobre cantidades físicas de *inputs* utilizadas y de *outputs* obtenidas que, en el marco de estudios industriales, es muy difícil de obtener. Esto normalmente lleva a utilizar como *proxy* sus valores monetarios y así, el valor de la producción se utiliza como *proxy* del *output*, y los diferentes *inputs* se miden en términos físicos o monetarios según la disponibilidad de datos. Por otro lado, la literatura considera que el volumen de materias primas es proporcional al de *output*, de forma que, para obtener una estimación razonable de la frontera de producción, este *input* se resta de los dos lados de la función.

Así pues, el modelo de producción empleado en la mayoría de los trabajos so-

bre eficiencia industrial (Green y Mayers, 1991; Caves, 1988; Harris, 1989) utiliza el valor añadido como una medida del *output* y los *inputs* trabajo y capital como variables exógenas. Además, esta especificación básica de la función de producción se extiende con frecuencia para incorporar cierto grado de heterogeneidad entre empresas. En este sentido, una hipótesis fundamental de nuestro trabajo es que algunas empresas se desvían de los mejores resultados del sector debido al uso de tecnologías obsoletas, lo que se plasma en el uso ineficiente de los recursos energéticos. Con el fin de capturar este tipo de ineficiencia, hemos separado el gasto total en energía del resto de materias primas, incorporando al modelo tres *inputs* energéticos, electricidad, gas y otros combustibles, como variables exógenas en la parte derecha de la frontera.

Finalmente, debemos señalar que el uso de *proxis* monetarias en la función de producción dificulta sensiblemente la interpretación económica de las ineficiencias observadas. El problema surge porque la actividad de las empresas industriales no se limita a combinar *inputs* directos (trabajo, capital y energía) para generar *output*, sino que la competencia entre empresas abarca también aspectos estratégicos, por ejemplo, la diferenciación de producto, que se plasman en la utilización de *inputs* indirectos, como la publicidad. Obviamente, si expresamos la función de producción en términos monetarios, las desviaciones de la frontera observadas pueden deberse a errores en la utilización de este tipo de *inputs*. Por tanto, con el fin de poder aislar mejor aquellas ineficiencias relacionadas con el uso de los recursos energéticos, representaremos la eficiencia técnica a través de la siguiente frontera de producción ampliada, que incorpore tanto los *inputs* directos (trabajo, capital y energía) como los indirectos (publicidad):

$$Q = f(L, K, A, E, G, F) \quad [I]$$

donde Q representa el valor añadido; L, los gastos de personal; K, las dotaciones para la amortización del inmovilizado; A, los gastos en publicidad, y, finalmente, E, G y F, los gastos en electricidad, gas y otros combustibles (incluyendo carbón, gasoil y fuel oil), respectivamente.



La estimación de las funciones de demanda que minimizan el coste de producción se aborda en la literatura de distintas formas, según los datos de que disponga el analista (Schmidt y Lovell, 1979). En nuestro caso, disponemos de datos de corte transversal sobre el valor añadido y el gasto realizado por cada empresa en cada uno de los *inputs*, pero no tenemos la información necesaria para descomponer el gasto en precios y cantidades. Sin embargo, esto no constituye ningún problema, dado que sólo pretendemos analizar el grado de ineficiencia económica en la utilización de energía y, por tanto, que la naturaleza de las ineficiencias estimadas sea técnica o asignativa es, para nuestro objetivo, irrelevante.

Así pues, el modelo planteado constituye una adaptación del marco teórico propuesto por Bravo-Ureta y Rieger (1991) a los datos de que disponemos para obtener la demanda de energía. Comenzamos estimando la ecuación [I], expresada en términos monetarios, y obteniendo la demanda condicionada de gasto de cualquier *input* mediante la resolución de un problema de minimización del coste total de producción sujeto a un nivel dado de producción. En concreto, si denotamos por  $x_j$  el gasto realizado en el *input*  $j$  ( $j=1, 2, \dots, n$ ), el problema de minimización condicionada del coste de produc-

ción para cada empresa, se puede plantear como:

$$\begin{aligned} & \text{Min } \sum_{j=1}^n x_j \\ \text{s. a. } & Q = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ & x_j \geq 0 \end{aligned}$$

donde los precios de los *inputs* están normalizados a la unidad. La solución de este problema permitirá obtener la demanda condicionada de gasto en el *input*  $j$  como una función del nivel de producción de cada empresa:

$$x_j(Q) \quad j=1, 2, \dots, n$$

Estas  $n$  funciones de demanda también pueden ser utilizadas para calcular el mínimo coste al que cada empresa puede obtener su nivel actual de valor añadido;  $Q_i$ , donde el subíndice  $i = 1, 2, \dots, m$ , denota a una de las  $m$  empresas del sector:

$$C(Q_i) = \sum_{j=1}^n x_j(Q_i)$$

Partiendo de las funciones de demanda condicionada de energía, podemos estudiar el potencial de ahorro energético que existe en el conjunto de la industria española. A este respecto, cabe destacar que, por definición, la ineficiencia técnica implica que las empresas podrían obtener su nivel actual de *output* utilizando menos *inputs*. Sin embargo, la condición de eficiencia asignativa puede suponer un reajuste en la combinación de los *inputs* utilizados que lleve a un aumento en el consumo de alguno de ellos.

Esto nos permitirá calcular el potencial de ahorro energético correspondiente al total de empresas, el cual podría considerarse como un punto de referencia en el diseño de una política energética para la industria española.

Este desarrollo metodológico, basado en la realización de diagnósticos energéticos a las empresas, se ha dividido en cinco fases, en las que se incide a continuación:

- Selección de los sectores y subsectores objeto de estudio.
- Selección de entidades a analizar dentro de dichos sectores y subsectores.

- Medidas a analizar en cada entidad estudiada.

- Modo de realización de los diagnósticos a dichas entidades.

- Extrapolación de los resultados de los diagnósticos del sector industrial.

Se ha pretendido detectar el mayor ahorro energético posible y sensibilizar y dar información al mayor número posible de usuarios.

Dada la extensión del sector industrial y el alcance de este estudio, se ha decidido seleccionar únicamente aquellos subsectores que, por su elevado consumo o por su importancia por el número de empresas y empleados, resultan especialmente interesantes para los objetivos de este trabajo. Los subsectores industriales que han sido incluidos finalmente en el estudio son Metal, Químico y Agroalimentario.

El presente estudio se ha centrado en industrias de tamaño medio, ya que son en las que se puede esperar un mayor ahorro energético porcentual y, como consecuencia, unas importantes ventajas socioeconómicas.

Ha sido necesario seleccionar una muestra de empresas a analizar para cada uno de los tres sectores industriales (o partes de los mismos), con objeto de, mediante inferencia estadística, extrapolar los resultados al total del correspondiente sector (o parte del mismo). En cuanto al tamaño de la muestra, en la literatura estadística se nombra con frecuencia el valor de 30 como separación entre muestras grandes y pequeñas, por lo que parece conveniente para este trabajo no escoger un valor inferior a éste. Por otra parte, un valor superior supondría una limitación importante en cuanto al número de sectores a estudiar. Se han eliminado de la muestra tanto las industrias con un consumo muy inferior como las de un consumo muy superior a la media.

**En el sector metal** se han excluido de la población objeto de estudio las industrias con un número de empleados inferior o igual a 5, así como las pertenecientes a subsectores que, en un

CUADRO 1 EMPRESAS VISITADAS DEL SECTOR METAL		
CNAE	Entidades seleccionadas	Actividad desarrollada
Nº empleados <=15		
27	4	Metalurgia
28	12	Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipos mecánicos
29	11	Industria de la construcción de maquinaria equipo mecánico
31	1	Fabricación de maquinaria y material eléctrico
34	2	Fabricación de vehículos de motor remolques y semirremolques
Nº empleados >15		
28	10	Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipos mecánicos
29	13	Industria de la construcción de maquinaria equipo mecánico
31	2	Fabricación de maquinaria y material eléctrico
34	5	Fabricación de vehículos de motor remolques y semirremolques

FUENTE: Elaboración propia.

principio, presentan bajo consumo energético (CNAE 28.1, 28.2, 31.5, 32.x y 33.x). Se las ha denominado industrias muy pequeñas. El resto de empresas se han dividido en industrias pequeñas (número de empleados superior a 5 e inferior a 15) y en industrias medianas: número de empleados mayor o igual a 15 y consumos energéticos inferiores a 20.000 tep/año.

También se han excluido de la población las industrias del sector con consumos energéticos superiores a 20.000 tep/año (se las ha denominado industrias grandes). El resto de industrias del sector presentan un consumo inferior a los 9.000 tep/año (cuadro 1).

**En el sector químico** se han excluido de la población las industrias con un número de empleados inferior o igual a 2. Al igual que en los demás sectores objeto de estudio, se han excluido de la población las industrias con consumos energéticos superiores a 20.000 tep/año (cuadro 2).

**En el sector agroalimentario** se han excluido de la población las industrias con un número de empleados inferior o igual a 5, exceptuando las cooperativas,

puesto que con un número pequeño de empleados pueden ser objeto de importantes medidas de ahorro. También se han excluido de la población las empresas que presenta un consumo energético superior a 20.000 tep/año. Todas las demás industrias del sector presentan un consumo inferior a los 5.000 tep/año (cuadro 3).

•••••

## SISTEMAS Y EQUIPOS A ANALIZAR EN LOS DIAGNÓSTICOS

### EQUIPOS Y SISTEMAS TÉRMICOS

*Calderas:* regulación en la combustión, limpieza de la caldera, reducción de pérdidas de calor a través de las paredes, instalación de economizador.

*Hornos:* recuperación de calor de los gases de escape, recuperación de calor del producto, operación y mantenimiento.

*Secaderos:* recirculación de gases de combustión, recuperación de calor del producto, operación y mantenimiento.

## ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA INDUSTRIA ESPAÑOLA...

*Colectores solares térmicos:* para la generación de calor aprovechando la radiación solar.

*Redes de tuberías:* aislamientos, diseños de redes, etc.

*Cambios en las fuentes de energía utilizadas:* combustibles fósiles por biomasa o por gas natural, sustitución de energía eléctrica por térmica, aprovechamiento de calores residuales, etc.

### EQUIPOS Y SISTEMAS ELÉCTRICOS

*Motores eléctricos:* sustitución de motores antiguos, instalación de dispositivos de arranque de motores y variadores de velocidad.

*Instalaciones de refrigeración:* cambio de tipo de condensador y mejora en su funcionamiento, regulación del presostato de alta de los compresores, control de descarche de los evaporadores, centralización y control de los grupos compresores, control de la temperatura en climatización, instalación de sistemas de acumulación de frío, instalación de ciclos de absorción.

*Equipos de elevación y transporte horizontal:* instalación de variadores de frecuencia, gestión y optimización del flujo de personas y mercancías.

*Iluminación:* selección del tipo de lámpara, control y mantenimiento de lámparas.

### FACTURAS ELÉCTRICAS

*Acceso a libre mercado.*

*Optimización de la factura eléctrica* (para clientes reglados en tarifa).

### COGENERACIÓN, TRIGENERACIÓN, POLIGENERACIÓN Y AUTOGENERACIÓN

Con objeto de que este trabajo tenga la máxima aplicabilidad, una vez analizadas todas las industrias seleccionadas en un determinado grupo (industrias pequeñas del sector agroalimentario, industrias medianas del sector metal, etc.),

CUADRO 2  
EMPRESAS VISITADAS EN EL SECTOR QUÍMICO

CNAE	Entidades seleccionadas	Actividad desarrollada
24.1	9	Fabricación de productos químicos básicos
24.2	1	Fabricación de pesticidas y otros productos agroquímicos
24.3	8	Fabricación de pinturas, barnices y revestimientos similares; tintas de imprenta y masillas
24.4	7	Fabricación de productos farmacéuticos
24.5	2	Fabricación de jabones, detergentes y otros artículos de limpieza y abrillantamiento. Fabricación de perfumes y productos de belleza e higiene

FUENTE: Elaboración propia.

CUADRO 3  
EMPRESAS VISITADAS DEL SECTOR AGROALIMENTARIO

CNAE	Entidades seleccionadas	Actividad desarrollada
Nº empleados <=10		
15.1	5	Industria cárnica
15.3	5	Preparación y conservación de frutas y hortalizas
15.4	3	Fabricación de grasas y aceites (vegetales y animales)
15.5	1	Industrias lácteas
15.6	1	Fabricación de productos de molinería, almidones y productos amiláceos
15.7	3	Fabricación de productos para la alimentación animal
15.8	8	Fabricación de otros productos alimenticios
15.9	4	Elaboración de bebidas
Nº empleados >10		
15.1	7	Industria cárnica
15.3	4	Preparación y conservación de frutas y hortalizas
15.4	1	Fabricación de grasas y aceites (vegetales y animales)
15.6	3	Fabricación de productos de molinería, almidones y productos amiláceos
15.7	1	Fabricación de productos para la alimentación animal
15.8	10	Fabricación de otros productos alimenticios
15.9	4	Elaboración de bebidas

FUENTE: Elaboración propia.

se ha llevado a cabo la extrapolación de los resultados obtenidos, mediante inferencia estadística, al conjunto del grupo al que pertenecen.

En todo el proceso de extrapolación, se ha hecho especial hincapié en el porcentaje de ahorro medio de la población en función del período de amortización de las distintas medidas. Para obtener esta información, se ha comenzado por selec-

cionar un valor de nivel de confianza usual en la práctica estadística de 0,95. Dado que no se conoce la desviación típica poblacional, se ha construido dicho intervalo a partir del cálculo del estimador de la media,  $m$ , y de su error típico muestral,  $e$ , mediante la expresión  $(m - te, m + te)$ , donde  $t$  es el percentil 0,975 de la distribución  $t$  de Student con  $n-1$  grados de libertad, siendo  $n$  el tamaño de la muestra considerada.

RESULTADOS

Siguiendo la *primera metodología*, los datos utilizados en el artículo provienen de la citada Encuesta Industrial de Empresas del año 1995, que contiene información sobre 24.000 empresas clasificadas en 100 sectores industriales. No obstante, sólo aquellas empresas con 20 o más trabajadores suministran información sobre el consumo de energía, lo que restringe la muestra disponible a 9.984 observaciones agrupadas en 66 sectores.

En este trabajo concretamente se analiza el comportamiento del sector Agroalimentario y del sector Metálico. Los datos han sido utilizados para estimar fronteras de producción paramétricas para cada uno de los sectores industriales y, más tarde, derivar las funciones de demanda condicionada de los *inputs*. Siguiendo a Zellner, Kmenta y Dreeze (1966), adoptamos la práctica habitual de utilizar un modelo uniecuacional asumiendo que las empresas maximizan el beneficio esperado. Con respecto a la forma funcional de la frontera de producción, ésta debe ser suficientemente simple como para que puedan derivarse analíticamente las correspondientes funciones de demanda de *inputs*. Esto nos lleva a optar por una Cobb-Douglas, cuya especificación estocástica se obtiene añadiendo un término de error  $\varepsilon$ :

$$\ln Q = \beta_0 + \beta_1 \ln L + \beta_2 \ln K + \beta_3 \ln A + \beta_4 \ln E + \beta_5 \ln G + \beta_6 \ln F + \varepsilon$$

Para estimar esta ecuación vamos a seguir el enfoque de frontera estocástica propuesto por Aigner, Lovell, y Schmidt (1977) y Meeusen y Van den Broeck (1977). Según este enfoque, el término de error comprende dos elementos independientes; un componente simétrico con media cero, que se asocia con factores aleatorios (por ejemplo, errores de medida, mal tiempo, huelgas, etc.), y un componente asimétrico que representa ineficiencia y que refleja el hecho de que, quitando el componente puramente aleatorio, el *output* de cada empresa se debe situar sobre la frontera o debajo de ella. Una vez obtenida la frontera, los residuos se pueden estimar siguiendo el enfoque propuesto por Jondrow, Lovell, Materov y

CUADRO 4  
ÍNDICES DE EFICIENCIAS SECTORIALES

CNAE		L(Q*)/L	K(Q*)/K	P(Q*)/P	TE(Q*)/TE	C(Q*)/C
Sector agroalimentario						
151	Cárnico	0,452	0,312	0,000	1,772	0,523
1581-1582	Pan y elaborados	0,928	0,913	0,033	0,362	0,790
1591-1597	Bebidas alcohólicas	0,269	0,248	0,372	2,036	0,363
	MEDIA	0,550	0,491	0,135	1,390	0,559
Sector metal						
28	<b>Fabricación productos metálicos</b>	<b>0,588</b>	<b>1,258</b>	<b>0,423</b>	<b>0,902</b>	<b>0,655</b>
2811	Estructuras metálicas	0,556	1,446	0,590	2,108	0,676
2812	Carpintería metálica	0,464	1,771	0,000	1,649	0,585
2851	Tratamiento metálico	0,669	1,751	0,092	0,826	0,793
2852	Mecánica	0,289	0,919	0,000	0,073	0,346
286	Herramientas y ferretería	0,713	0,544	1,149	0,295	0,691
287	Productos metálicos diver.	0,835	1,119	0,708	0,459	0,840
29	<b>Industrias construcc. maquinaria y equip.</b>	<b>0,671</b>	<b>1,266</b>	<b>1,651</b>	<b>0,495</b>	<b>0,716</b>
291	Fabric. de máquinas	0,661	0,061	3,137	0,887	0,684
292	Fabric. de otras máquinas	0,681	2,471	0,165	0,102	0,749
	MEDIA	0,590	0,642	0,296	0,766	0,602

FUENTE: Elaboración propia.

Schmidt (1982), según los cuales la media condicional de  $u$  dado viene dada por:

$$E(u|\varepsilon) = \sigma_* \left( \frac{f^*(\lambda\varepsilon/\sigma)}{1 - F^*(\lambda\varepsilon/\sigma)} - \frac{\lambda\varepsilon}{\sigma} \right)$$

donde  $f^*$  y  $F^*$  son, respectivamente, la función de densidad normal estándar y la función de distribución evaluadas en  $\lambda\varepsilon/\sigma$ , y donde  $\sigma_*^2 = (\sigma_u^2 \sigma_v^2 / \sigma)$ . Estas ecuaciones nos permiten obtener estimaciones de  $u$  y  $v$  que podemos utilizar para eliminar el elemento puramente aleatorio del componente de eficiencia. Así pues, restando  $v$  de los términos de la frontera de producción se obtiene:

$$Q^* = f(x_1, x_2, \dots, x_n) - u = Q - v$$

donde  $Q^*$  es el *output* observado, una vez ajustado por la perturbación estadística capturada por  $v$ .

Partiendo de las fronteras estimadas, y siguiendo la metodología descrita en la sección anterior, se obtienen las funciones de demanda condicionada de los *inputs*, así como índices de eficiencia en términos relativos para todos los factores productivos. Los resultados agregados por sectores apa-

recen en el cuadro 4, donde el *input* TE representa el consumo total de energía (en unidades monetarias),  $TE = E + G + F$ .

Así, por ejemplo, el nivel de eficiencia económica en el sector de Pan y elaborados es del 79%, lo que indica que el valor añadido generado por este sector se podría obtener incurriendo en un 21% menos de coste. Desagregando los resultados por *inputs*, se observa que el consumo energético debería disminuir en un 63,8%, mientras que el uso de trabajo, capital y publicidad debería reducirse en un 7,2%, 8,7% y 96,7%, respectivamente. Del cuadro 4 también se deduce que el grado de eficiencia económica global varía en los dos sectores industriales analizados. Cabe destacar que estas variaciones entre los niveles de eficiencia intersectoriales no sólo reflejan la ineficiencia mencionada anteriormente, sino que también se relacionan con diferencias estructurales entre los distintos sectores, tales como: grado de concentración, apertura a la competencia exterior, etc.

En lo relativo al uso de energía, el primer tema interesante es averiguar si, pa-

ra cada sector, el comportamiento eficiente de las empresas se traduciría en un aumento o en una disminución de sus emisiones de gases contaminantes. En este sentido, observamos que en los sectores, Cárnico, Bebidas alcohólicas, Estructuras metálicas y Carpintería metálica se observa que  $TE(Q^*) > TE$ , lo que indica que la actualización tecnológica en estos sectores llevaría a un mayor consumo energético. Además, para la mayoría de estos sectores (el 66%), el mayor consumo de energía va acompañado de un aumento en el uso de capital y de una reducción considerable en el gasto en mano de obra. Esto sugiere que la tendencia de las empresas será sustituir sus actuales procesos de producción, intensivos en mano de obra, por otros más intensivos en capital aunque a su vez más consumidores de energía.

## LOS RESULTADOS POR SECTORES

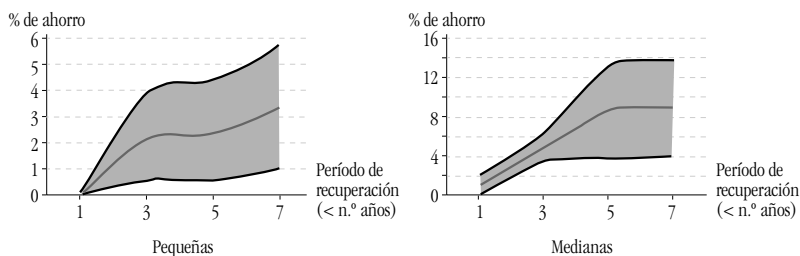
En cuanto a los resultados obtenidos por la **segunda metodología** vamos a verlos separados por sectores.

### SECTOR METAL

La principal particularidad de este sector es el elevado porcentaje que en el consumo total representa la energía eléctrica, más del 50%, debido sobre todo al elevado número de talleres de mecanizado y calderería existentes, es decir, la gran cantidad de tornos, mandrinadoras, taladros, cizallas, plegadoras, troqueles, prensas, máquinas de soldadura, etc. La pertenencia al sector de grandes fundiciones, cuyo principal consumo se produce en los hornos de inducción necesarios para fundir el metal y las importantes cadenas de montaje existentes en las empresas del automóvil, causan esta elevada demanda de electricidad.

La demanda térmica, utilizada principalmente en sistemas de calefacción, procesos de recubrimiento de metales, túneles de secado de pintura y calentamiento de cucharas en fundiciones, se satisface, en la gran mayoría de los casos, con gas natural y propano. Aproximadamente el 90% del consumo del sector se debe a es-

GRÁFICO 1  
EVOLUCIÓN DEL AHORRO TÉRMICO ESPERADO  
SECTOR METAL



FUENTE: Elaboración propia.

tos dos combustibles; un 6% lo representa el calor proveniente de centrales de cogeneración (que utilizan gas natural en casi todos los casos); y el 4% restante se cubre con gasóleo y fuel. No obstante, el gasóleo es importante en cuanto a número de equipos que lo utilizan, ya que es el principal combustible en las industrias con bajo consumo.

Para realizar la extrapolación a todo el sector metal se van a proporcionar los porcentajes de ahorro medio y el intervalo de confianza al 95% en que se pueden mover dichos valores, reflejados como ahorro mínimo y máximo esperado.

Se va a separar el análisis de las posibilidades de ahorro energético en ahorro térmico, eléctrico y total. Así mismo, se estudiarán las posibilidades de ahorro económico por optimización de la factura eléctrica. Además, como se explicó en la metodología, se ha dividido el sector en empresas pequeñas y medianas, para obtener los resultados con mayor claridad.

**Ahorro térmico.** En el grupo de empresas pequeñas, la única medida de ahorro térmico que se ha encontrado es la regulación de la combustión en equipos generadores de calor. Con esta medida, los ahorros elevados, asociados generalmente a equipos de potencia media-alta, se amortizan rápidamente debido a que la inversión necesaria para llevar a cabo esta propuesta es relativamente pequeña. Sin embargo, en este conjunto de empresas existen varios equipos térmicos de baja potencia con consumos asociados no muy elevados, por lo que las inversiones necesitan hasta de seis y siete años

para su recuperación. Esto explica la curva de evolución del conjunto de estas empresas, que, al tercer año, alcanza una tasa de ahorro del 2,4%, manteniéndose casi estable hasta el sexto año. A lo largo del sexto y séptimo año se amortizan las inversiones en los equipos pequeños.

En las empresas medianas los equipos térmicos son generalmente de mayor potencia, de manera que los ahorros tanto térmicos como económicos también son más importantes, lo que hace que la mayoría de las regulaciones de combustión se amorticen en menos de tres años. Así, el fuerte incremento en la tasa de ahorro que presenta el conjunto de empresas medianas entre el tercer y el cuarto año, que incrementa la tasa de ahorro del 5% al 8,7%, no se debe a ninguna regulación de combustión, sino a la sustitución de equipos; por ejemplo, hornos térmicos, que requieren una inversión más notable y alarguen la recuperación hasta el quinto año.

Para las empresas medianas dicho ahorro supone casi el 5%. El 17% de dicho ahorro se obtiene regulando de forma eficiente la combustión en sistemas consumidores de combustibles fósiles y el 40% del potencial ahorro se debe a mejor aprovechamiento de los gases de escape de dichos sistemas. El 43% restante se debe a políticas de sustitución de equipos térmicos por equipos nuevos más eficientes.

Cuando se considera el conjunto de las sesenta empresas visitadas, la gráfica resultante se aproxima mucho a la curva del grupo de empresas medianas. Esto es debido a que el consumo térmico de este conjunto representa el 93% del consumo

térmico total de las sesenta instalaciones, de manera que la influencia del grupo de empresas pequeñas no es significativa.

En el gráfico 1 se observa la evolución del porcentaje de ahorro térmico mínimo, medio y máximo esperado en el grupo de industrias pequeñas y medianas del sector del metal en función del período de recuperación.

**Ahorro eléctrico.** Las medidas de mayor aplicación en las empresas analizadas se centran en la eliminación de consumos eléctricos con fines térmicos que podrían ser satisfechos por otras fuentes de energía, la renovación de equipos antiguos (principalmente motores) con bajos rendimiento y la racionalización del consumo mediante el uso de sistemas de regulación y control.

La evolución de la tasa de ahorro eléctrico de las empresas pequeñas refleja que son pocas las medidas de ahorro amortizables en un espacio de tiempo razonable. La regulación del presostato de los sistemas de frío, la recuperación de calor que elimina el consumo de unas resistencias eléctricas de baja potencia (60% de ahorro) y la regulación de los compresores de aire mediante variadores de frecuencia (25% de ahorro) hacen que la tasa de ahorro alcance algo más de un 1% cuando se considere un período de retorno de la inversión de dos años. La situación permanece casi estable hasta el tercer año, puesto que hasta ese año no se puede amortizar la sustitución de algunos motores antiguos.

18

Sin embargo, el aumento tan significativo de la tasa de ahorro de este conjunto de industrias que se produce ese año se debe a la amortización de una instalación de placas solares para el calentamiento de agua que, aunque supone una importante reducción del consumo eléctrico de las resistencias eléctricas utilizadas con este fin, requiere una inversión importante. Con esta medida se eleva la tasa de ahorro eléctrico de este conjunto de empresas hasta un 4,35%, permaneciendo ya estable en este valor.

La evolución de la tasa de ahorro eléctrico del conjunto de empresas medianas es significativamente distinta. En este conjunto de empresas, las únicas medidas de ahorro eléctrico que se han encontrado

son la sustitución de motores y el uso de variadores de frecuencia para realizar el control de compresores y extractores.

Cuando se considera un período de amortización de tres años se tiene una tasa de ahorro de algo más del 6 %, ya que en este tiempo se pueden amortizar inversiones destinadas a la regulación mediante variadores de frecuencia (60% de ahorro) y la sustitución de un importante número de motores antiguos (40% de ahorro). Realmente, los motores y los equipos que inducen mayores ahorros al aplicarles las medidas mencionadas se amortizan en este tiempo y esto causa que la curva de evolución apenas presente tasas de ahorro eléctrico superiores al considerar plazos de amortización mayores. Sólo a lo largo del séptimo año se produce otro aumento significativo debido fundamentalmente a que se amortizan en este año más sustituciones de motores.

Las inversiones necesarias para la consecución de estos ahorros son, en general, importantes debido principalmente a los elevados precios de los variadores de frecuencia, motores e instalaciones de placas solares.

En el gráfico 2 se observa la evolución del porcentaje de ahorro eléctrico mínimo, medio y máximo esperado en el grupo de industrias pequeñas y medianas del sector del metal en función del período de recuperación.

**Ahorro total.** Para las pequeñas empresas, el porcentaje de ahorro total medio por industria (térmico y eléctrico) que podría obtenerse con medidas amortizables en un período inferior a tres años es del orden del 1,5%. El bajo valor de los valores de ahorro energético (térmico, eléctrico y total) es un claro reflejo de la realidad de este grupo de industrias: muy bajo consumo energético y, por lo tanto, pocas posibilidades de ahorro.

El porcentaje de ahorro total medio por industria (térmico y eléctrico) que podría obtenerse con medidas amortizables en un período inferior a tres años es del 5,5% para las empresas medianas.

En el gráfico 3 se observa la evolución del porcentaje de ahorro mínimo, medio y má-

ximo esperado en el grupo de industrias pequeñas y medianas del sector del metal en función del período de recuperación.

A partir de los datos mostrados, pueden comprobarse nuevamente las importantes diferencias que existen entre las industrias pequeñas y medianas del sector del metal, ya que estas últimas, aun estando formadas por casi la mitad de empresas que las pequeñas, presentan un potencial de ahorro energético más de diez veces superior.

**Ahorro en la factura eléctrica.** En cuanto a la optimización de la factura eléctrica, los ahorros más sustanciales se deben al acceso al libre mercado. Esta medida lleva asociada una inversión nula en muchos de los casos, de manera que ya en el primer año se alcanzan tasas de ahorro económico del 5,5% en las empresas pequeñas y del 7,1% en el grupo de medianas.

Casi en el 90% de los casos estudiados se podría disminuir el coste que representa la energía eléctrica en su cuenta de resultados mediante la compensación de la energía reactiva, la optimización de la factura o el acceso al libre mercado. Alguna de las empresas tienen varias instalaciones con contratos independientes, por lo que se les pueden aplicar a la vez diferentes medidas como el acceso al libre mercado y la optimización de la factura.

La medida que presenta ahorros más cuantiosos es el acceso al libre mercado, donde los períodos de amortización dependen de si la empresa dispone o no de contrato en alta tensión. En el primero de los casos la inversión es nula o prácticamente nula, mientras que si el contrato es en baja tensión es necesario construir un centro de transformación. Esta medida hace que se demore el retorno de la inversión hasta el quinto año en las empresas pequeñas. La optimización de la factura es la medida que se ha propuesto en más ocasiones; así, el 50% de las empresas medianas podrían llevarla a cabo amortizando la inversión en menos de tres años.

En las empresas pequeñas el porcentaje de ahorro económico por industria que podría obtenerse con medidas relativas a la optimización del suministro eléctrico amortizables en un período inferior a tres años es de algo más del 7%. Dicho ahorro



se materializa en un 65% de las ocasiones mediante el acceso al libre mercado, un 20% optimizando la factura, y el resto mediante la compensación de la energía reactiva que las empresas deben pagar a las suministradoras de electricidad.

En las empresas medianas el porcentaje de ahorro económico medio por industria que podría obtenerse con medidas relativas a la optimización del suministro eléctrico amortizables en un período inferior a tres años es del 10,5%. El ahorro corresponde en un 70% al acceso a libre mercado, que se amortiza antes de dos años, un 18% a la optimización de la factura y el resto a la compensación de la energía reactiva consumida. Como se observa en el gráfico 4, en este tipo de empresas la inmensa mayoría de las medidas tienen un periodo de recuperación inferior a tres años.

Nótese que, contra lo que cabría esperar, debido a su mayor consumo, las posibilidades de optimización de las tarifas en las empresas medianas son superiores a las de las pequeñas. Esto es debido, sin ninguna duda, a las mayores posibilidades de acceso al libre mercado de las primeras. No obstante, en ambos grupos de industrias se trata de porcentajes de ahorro muy importantes.

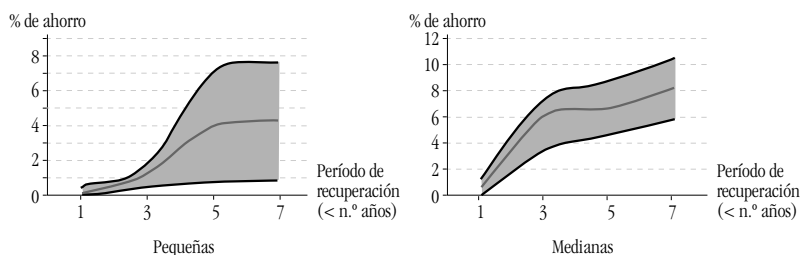
### SECTOR QUÍMICO

Aunque no se ha podido llegar a ninguna conclusión siguiendo la primera metodología de la Teoría de la Producción, sí se han conseguido resultados al realizar diagnósticos particulares en las empresas, por lo que se estima oportuno detallarlos en este apartado.

Los valores medios de consumo de energía entre 1992 y 1997 muestran que el consumo de electricidad es preponderante frente al resto, alcanzando por sí solo el 53% de todo el consumo energético del sector. El 47% restante se debe, además de al consumo de combustibles tales como el gasoil, el gas natural, el fuel y el propano, al de calor procedente de las centrales de cogeneración asociadas a empresas de este sector.

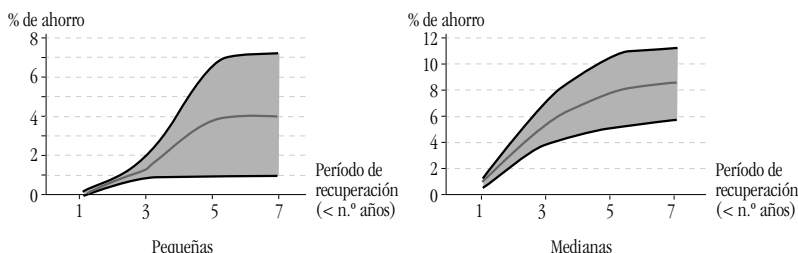
Debido al reducido número de empresas resultante en comparación con el sector

GRÁFICO 2  
EVOLUCIÓN DEL AHORRO ELÉCTRICO ESPERADO



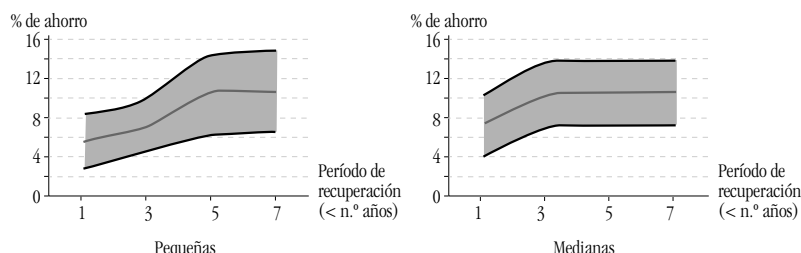
FUENTE: Elaboración propia.

GRÁFICO 3  
EVOLUCIÓN DEL AHORRO ESPERADO EN EL METAL



FUENTE: Elaboración propia.

GRÁFICO 4  
EVOLUCIÓN DEL AHORRO EN LA FACTURA ELÉCTRICA



FUENTE: Elaboración propia.

metal, por ejemplo, y al contrario de lo realizado con los sectores metal y agroalimentario, no se ha considerado conveniente separar la población en varios grupos. No obstante, esto no quiere decir que la población sea todo lo homogénea que, desde el punto de vista energético, sería deseable, ya que existen importantes diferencias entre las industrias que la componen.

Así, en la población resultante coexisten industrias con consumos energéticos ele-

vados (entre 1.000 y 16.000 tep/año), muchas de ellas con grandes equipos consumidores de energía eléctrica (hornos eléctricos y de cubas electrolíticas), junto con industrias muy pequeñas dedicadas, por ejemplo, a la fabricación de pinturas y barnices que presentan un consumo energético, tanto térmico como eléctrico, muy bajo (inferior a 10 tep/año).

Al igual que en el sector metal se va a realizar en este epígrafe la extrapolación de los resultados de la muestra a todo el

sector químico, proporcionándose principalmente datos de porcentajes medios de ahorro esperado por industria, así como el intervalo de confianza al 95% en el que pueden moverse dichos valores (ahorro mínimo y máximo esperado).

**Ahorro térmico.** El porcentaje de ahorro térmico medio que podría obtenerse con medidas amortizables en un período inferior a tres años es de más del 4%. Un 85% de este ahorro es debido al aprovechamiento de gas de síntesis (con una inversión nula, ya que actualmente en muchos casos se quema en antorcha), un 7% a la recuperación de calor en calderas y un 3% a la regulación de la combustión en las mismas. El resto de medidas estudiadas, como el cambio de calderas, la instalación de plantas de trigeneración o la mejora de aislamientos, se reparten el resto del ahorro potencial calculado.

Las recuperaciones de calor propuestas, así como las regulaciones de quemadores y la instalación de aislamientos, se recuperarían rápidamente, todas ellas antes del primer año, por lo que la curva de evolución empieza directamente en una tasa de ahorro del 2,7%. A lo largo del segundo año se amortizaría la sustitución de equipos; por ejemplo, calderas de fuel con baja eficiencia por gas natural, haciendo que la tasa de ahorro térmico se eleve al 4,04%. A partir de este momento, la curva parece no evolucionar y, de hecho, sólo faltaría por amortizar la inversión de la construcción de las plantas de trigeneración. Esto no sucedería hasta mediados del cuarto año, quedando la tasa de ahorro definitivamente estabilizada en el 4,19%.

El gráfico 5 muestra la evolución del porcentaje de ahorro térmico mínimo, medio y máximo esperado en el sector químico en función del período de recuperación.

**Ahorro eléctrico.** En el gráfico 6 se puede observar cómo con medidas cuyo período de recuperación es inferior al año se podría alcanzar una tasa de ahorro eléctrico del 3,5%. Este ahorro estaría motivado por la regulación del presostato de los equipos de frío, las modificaciones de la toma de aire en equipos de aire comprimido y por la amortización de varias inversiones en variadores de frecuencia. A lo

largo del segundo año se consiguen amortizar las inversiones asociadas a los ahorros eléctricos más cuantiosos, de manera que la tasa de ahorro alcanzada es del 9,04%, lo que implica que en este tiempo se podría amortizar el 85% del ahorro eléctrico total propuesto al conjunto de la muestra, considerando un plazo máximo de retorno de la inversión de siete años.

A lo largo del tercer año se amortizaría la inversión en algún variador de frecuencia, pero no es hasta el quinto año cuando se produce un aumento significativo de la tasa de ahorro eléctrico, debido a que, en ese tiempo, se amortizan las inversiones en variadores de frecuencia y en sustitución de motores con ahorros eléctricos aún cuantiosos, elevando la tasa de ahorro eléctrico hasta un 10,5%. A lo largo del sexto y séptimo años, al igual que a lo largo del tercero, todavía se seguirían amortizando algunas inversiones en variadores de frecuencia pero los ahorros eléctricos asociados serían ya muy poco cuantiosos. Así, la tasa de ahorro eléctrico finalmente alcanzable al séptimo año sería del 10,6%.

El gráfico 6 muestra la evolución del porcentaje de ahorro eléctrico mínimo, medio y máximo esperado en el sector químico en función del período de recuperación.

Nótese que aunque el ahorro económico es mucho mayor que en el caso anterior, se consigue con medidas que requieren un período de recuperación más dilatado.

**Ahorro total.** El porcentaje de ahorro total medio (térmico y eléctrico) que podría obtenerse con medidas amortizables en un período inferior a tres años es de casi el 5%.

Observamos que dado que el sector químico es muy intensivo en el consumo de energía, con no demasiados altos porcentajes de ahorro se consiguen elevados valores de ahorro absoluto. El gráfico 7 muestra la evolución del porcentaje de ahorro total mínimo, medio y máximo esperado en el sector químico en función del período de recuperación.

**Ahorro en la factura eléctrica.** El porcentaje de ahorro económico que podría obtenerse con medidas relativas a la opti-

mización del suministro eléctrico amortizables en un período inferior a tres años es de algo más del 5%. El 75% de este ahorro es debido al posible acceso al libre mercado; el 15%, a la compensación de la energía reactiva, y el resto a la optimización de la factura eléctrica.

En el gráfico 8 se muestra la evolución del porcentaje de ahorro económico por optimización del suministro eléctrico mínimo, medio y máximo esperado en el sector químico en función del período de recuperación. En este gráfico se observa cómo ya en el primer año la tasa de ahorro económico alcanzable está próxima al 2%.

## SECTOR AGROALIMENTARIO

Aunque la demanda de energía térmica es en general la más importante, la energía eléctrica tiene un fuerte peso en la estructura energética de muchas de las empresas agroalimentarias. Si se toman los valores medios de lo ocurrido entre 1992 y 1997 se constata que el 39% de todo el consumo se satisfizo mediante energía eléctrica, mientras que el 61% restante de la demanda energética fue resuelto con combustibles como el gasoil, el gas natural, etc.

La gran diversidad de actividades que engloba este sector, el gran número de empresas que incluye y su dispersión geográfica y, por último, el relativamente bajo consumo de energía de cada una de ellas en comparación con las que pertenecen a otros sectores de actividad industrial, condicionan las medidas de ahorro que se pueden aplicar y su repercusión en el potencial de ahorro energético.

Al igual que en los sectores vistos anteriormente, se realiza en este epígrafe la extrapolación de los resultados de la muestra a todo el sector agroalimentario, proporcionándose principalmente datos de porcentajes medios de ahorro esperado por industria, así como el intervalo de confianza al 95% de dicho valor, expresado como ahorro mínimo y máximo esperados. De cara a conseguir una adecuada extrapolación se va a distinguir entre industrias pequeñas y medianas. Al igual que en la mayor parte del capítulo, en esta extrapolación no se ha considerado el grupo de las deshidratadoras debido a

que su alto consumo y ahorro de energía supone una muy importante fuente de distorsión para el conjunto de industrias pequeñas.

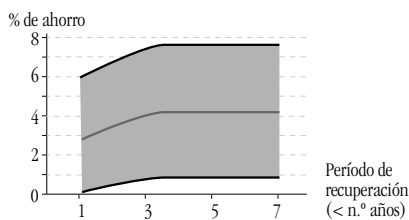
**Ahorro térmico.** En las empresas pequeñas el porcentaje de ahorro térmico medio por industria, dentro de este grupo, que podría obtenerse con medidas amortizables en un período inferior a tres años es de más del 10%. La medida de ahorro térmico que con menor inversión más cantidad de energía ahorra es la regulación de la combustión en los generadores de calor, amortizable en menos de un año.

Por ello, el grupo de empresas pequeñas sin deshidratadoras comienza teniendo un porcentaje de energía ahorrada frente a la energía térmica consumida de casi el 7%. En el segundo año se recuperarían las medidas encaminadas a conseguir regulaciones de generadores de calor de menor potencia, que elevan el porcentaje de ahorro en este grupo hasta el 10%. La amortización en el cuarto año de la inversión requerida para recuperadores de calor eleva la curva del porcentaje de ahorro de estas empresas hasta el 12%.

El porcentaje de ahorro térmico medio por industria, dentro del grupo de industrias medianas, que podría obtenerse con medidas amortizables en un período inferior a tres años es del 2,5%. También para este grupo hay que comentar que el bajo valor de la inversión, comparado con el ahorro económico alcanzable, es debido a que se trata de medidas de ahorro rápidamente recuperables. Aunque los ahorros conseguidos con las medidas amortizables en el primer año son superiores en valor absoluto a los conseguidos con la mismas medidas en las empresas pequeñas, como el consumo térmico total del grupo es mucho más elevado, la energía ahorrada sólo supone el 2% de ahorro. La amortización de las recuperaciones de calor durante el cuarto año y de sistemas de cogeneración el séptimo eleva este porcentaje hasta casi el 4% final.

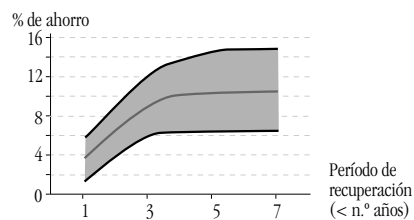
El gráfico 9 muestra la evolución del porcentaje de ahorro térmico mínimo, medio y máximo esperado en el grupo de industrias pequeñas y medianas del sector agroalimentario en función del período de recuperación.

GRÁFICO 5  
EVOLUCIÓN DEL AHORRO TÉRMICO EN EL SECTOR QUÍMICO



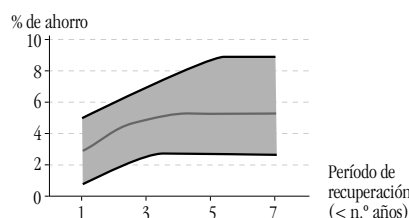
FUENTE: Elaboración propia.

GRÁFICO 6  
EVOLUCIÓN DEL AHORRO ELÉCTRICO EN EL SECTOR QUÍMICO



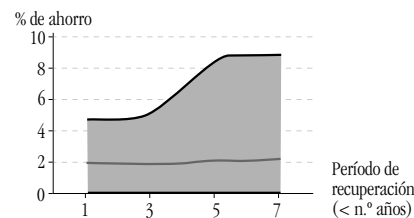
FUENTE: Elaboración propia.

GRÁFICO 7  
EVOLUCIÓN DEL AHORRO EN EL SECTOR QUÍMICO



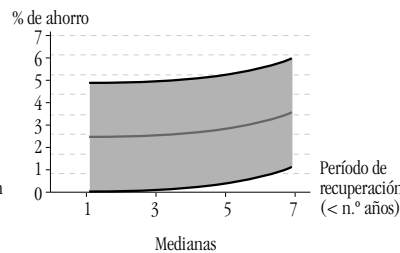
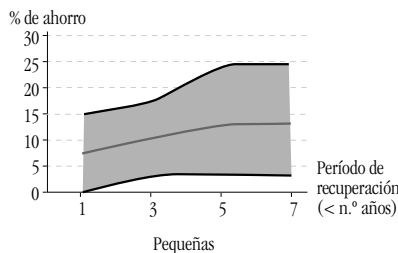
FUENTE: Elaboración propia.

GRÁFICO 8  
AHORRO EN LA FACTURA ELÉCTRICA EN EL SECTOR QUÍMICO



FUENTE: Elaboración propia.

GRÁFICO 9  
EVOLUCIÓN DEL AHORRO TÉRMICO EN EL SECTOR AGROALIMENTARIO



FUENTE: Elaboración propia.

**Ahorro eléctrico.** En las pequeñas empresas, el porcentaje de ahorro eléctrico medio por industria que podría obtenerse con medidas amortizables en un período inferior a tres años es del 17,8%. El ahorro económico es mucho mayor que en el caso anterior, aunque se conseguiría con medidas con un mayor período de recuperación. El 94% de este ahorro es debido a la instalación de variadores de frecuencia en los motores, repartiéndose el resto de medidas en la regulación del presostato de los equipos de frío, dismi-

nución de la temperatura de condensación en estos mismos equipos, aislamientos en las líneas de distribución de frío y la sustitución de motores.

Como ya se ha comentado varias veces, la regulación de los presostatos de los equipos de frío genera grandes ahorros de energía eléctrica con nulas inversiones. Por este motivo las empresas pequeñas presentan un 7% de ahorro con inversiones recuperables en menos de un año. La amortización durante el tercer año de

la inversión necesaria para instalar variadores eleva el porcentaje de ahorro hasta el 17%. Esta cantidad aumenta hasta el 21% final debido a las recuperaciones de otros variadores de frecuencia y a cambios de motores antiguos por unos nuevos de mayor eficiencia.

En cuanto a las empresas definidas de tamaño medio, el porcentaje de ahorro eléctrico medio por industria que podría obtenerse con medidas amortizables en un período inferior a tres años es de algo más del 8%. El 53% del ahorro se consigue regulando el presostato de los equipos de frío, dependiendo que sea invierno o verano, y el 45% instalando variadores de frecuencia en los motores eléctricos.

La regulación del presostato de los equipos de frío supone que el porcentaje de ahorro alcance casi el 5% con medidas amortizables en menos de un año. La cantidad de energía que se ahorra con esta medida en cada empresa es, en general, mayor que en las empresas pequeñas, puesto que la potencia que tienen instalada en los equipos de frío es, normalmente, más elevada. A pesar de ello, como el consumo eléctrico total del grupo es mayor, el porcentaje de energía ahorrada con esta medida es inferior al del grupo de empresas pequeñas. La amortización durante el segundo año de variadores de frecuencia en motores de gran potencia eleva la cantidad de energía ahorrada hasta el 7%, que crece hasta el 9% final con la amortización de otros variadores.

A la vista de estos números, se puede deducir que, aunque no de forma tan llamativa como en el caso del ahorro térmico, se sigue tratando de medidas rápidamente recuperables, en muchos casos con inversión nula, como es el caso de la regulación de presostatos de equipos de producción de frío.

El gráfico 10 muestra la evolución del porcentaje de ahorro eléctrico mínimo, medio y máximo esperado en el grupo de industrias pequeñas y medianas del sector agroalimentario en función del período de recuperación.

**Ahorro total.** El porcentaje de ahorro total medio (térmico y eléctrico) por indus-

tria pequeña que podría obtenerse con medidas amortizables en un período inferior a tres años es de algo más del 15%.

El porcentaje de ahorro total medio (térmico y eléctrico) por industria mediana que podría obtenerse con medidas amortizables en un período inferior a tres años es de casi el 5%. Nótese que, debido al mayor consumo de las empresas medianas, aunque en porcentaje el potencial de ahorro (térmico, eléctrico y total) es mucho menor que en el caso de las pequeñas, en términos absolutos es sustancialmente mayor.

El gráfico 11 muestra la evolución del porcentaje de ahorro total mínimo, medio y máximo esperado en el grupo de industrias pequeñas y medianas del sector agroalimentario en función del período de recuperación.

**Ahorro en la factura eléctrica.** El porcentaje medio por industria de tamaño pequeño de ahorro económico que podría obtenerse con medidas relativas a la optimización del suministro eléctrico amortizables en un período inferior a tres años es de algo más del 6%. El 78% de este ahorro se consigue mediante el acceso a libre mercado, el 14% mediante la optimización de la factura y el resto compensando la energía reactiva consumida mediante baterías de condensadores.

El cambio de la tarifa contratada supone, cuando es rentable realizarlo, la obtención de un gran ahorro económico sin necesidad de realizar ninguna inversión. Por ello, la existencia en el grupo de empresas pequeñas de casos en los que se podría aplicar esta medida y de empresas de gran facturación eléctrica que podrían acceder al libre mercado con inversión prácticamente nula por contratar actualmente en alta tensión, supondría que este grupo de empresas podría ahorrar con medidas amortizables antes del primer año casi el 3% de toda su factura eléctrica. En general, con el cambio de potencia contratada se consiguen, en valor absoluto, menores ahorros que con otras formas de optimizar la factura, por lo que la amortización de varias de estas medidas a partir del segundo año no contribuye de forma sustancial al incremento de la tasa de ahorro.

El porcentaje de ahorro económico medio por industria de tamaño mediano que podría obtenerse con medidas relativas a la optimización del suministro eléctrico amortizables en un período inferior a tres años es del 5,6%. Los porcentajes de distribución de las medidas encajan con los que se dan en las empresas de tamaño más pequeño, siendo el ahorro de casi el 2%. La recuperación de varios cambios a libre mercado (actualmente con contrato en baja tensión) cada año y de algunas compensaciones de energía reactiva produce que la tasa de ahorro crezca continuamente hasta el 6,5% final.

El gráfico 12 muestra la evolución del porcentaje de ahorro económico por optimización del suministro eléctrico mínimo, medio y máximo esperado en el grupo de industrias pequeñas del sector agroalimentario en función del período de recuperación.

## CONCLUSIONES

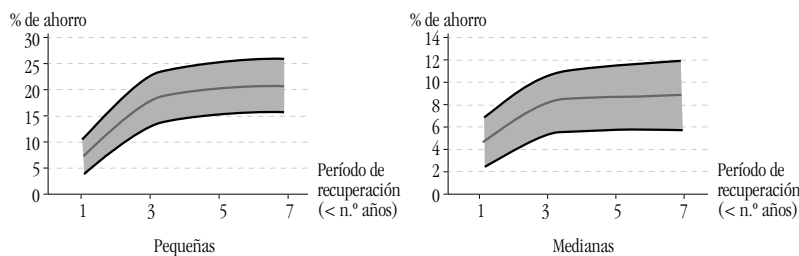
En este artículo se han planteado dos objetivos. El primero de ellos es obtener las demandas condicionadas de los factores que participan en el proceso productivo de las empresas, calculando para cada factor las distintas medidas de eficiencia económica y centrando el análisis en el uso eficiente de los factores energéticos. El segundo de los objetivos es analizar, mediante la realización de diagnósticos energéticos a diferentes instalaciones, los potenciales de ahorro energético y económico que se pueden alcanzar con medidas amortizables en un plazo de tiempo razonable en la actual coyuntura económica y energética. Para conseguir estas dos metas se han utilizado dos metodologías diferentes, de acuerdo con la información disponible y con el objetivo final de conseguir homogeneizar las conclusiones más relevantes. El uso de dos enfoques diferentes enriquece la información aportada con el fin de poder hacer un diagnóstico de la eficiencia de las industrias utilizando y contrastando toda la información disponible.

Utilizando las cifras de la Encuesta Industrial de Empresas de 1995, se observa

que alguno de los sectores considerados presentan varias ineficiencias que indican que la actualización tecnológica en estos sectores llevaría a un mayor consumo energético. Por ejemplo, para los sectores de Estructuras metálicas y Carpintería metálica un incremento en el consumo de energía va acompañado de un aumento en el uso de capital y de una reducción considerable en el gasto en mano de obra. Esto sugiere que las empresas tenderán a sustituir sus actuales procesos de producción, intensivos en mano de obra, por otros más intensivos en capital y por tanto en consumo energético. Por otro lado, hay sectores tales como el Cárnico y el de Bebidas alcohólicas que sugieren un mayor aumento del consumo energético para conseguir el óptimo económico a cambio de disminuir la mano de obra (más de un 70% en el sector de bebidas) sin necesidad de un aporte extraordinario de capital. Esta conclusión no deja de ser paradójica en un contexto ecoeficiente, puesto que para conseguir la eficiencia económica debemos aumentar el consumo energético. Dicho resultado podría variar de forma importante si, por ejemplo, consideráramos las externalidades derivadas del consumo energético o si aplicamos la directiva de la Unión Europea «el que contamina, paga».

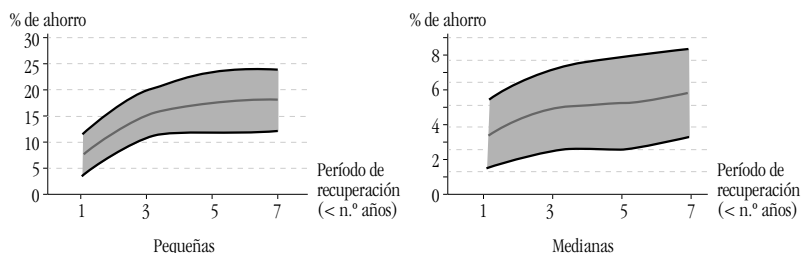
Frente a este resultado, un enfoque físico e ingenieril de los sistemas de producción mediante el análisis desagregado por sectores y realizando un diagnóstico energético a las empresas lleva a resultados que detectan un potencial de ahorro y eficiencia energética en los sectores analizados para conseguir mejores resultados productivos. Existen lógicamente disparidades al contrastar los datos de ambas metodologías debido fundamentalmente a dos motivos. El primero es que la metodología seguida es muy distinta en cada enfoque valorando los *inputs* base del estudio en términos monetarios en un caso y en energéticos en otro. La segunda causa tiene su origen en esto último: el coste monetario por unidad de energía consumida en un mercado como el energético está sujeto a sustanciales cambios debido al ajuste de la oferta y la demanda en los mercados internacionales así como al tipo de fuente energética empleada y a la intervención

GRÁFICO 10  
EVOLUCIÓN DEL AHORRO ELÉCTRICO EN EL SECTOR AGROALIMENTARIO



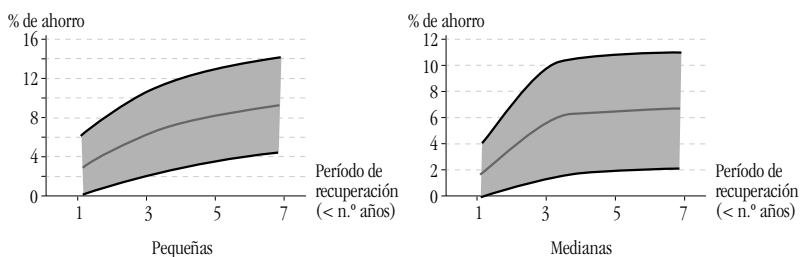
FUENTE: Elaboración propia.

GRÁFICO 11  
EVOLUCIÓN DEL AHORRO TOTAL EN EL SECTOR AGROALIMENTARIO



FUENTE: Elaboración propia.

GRÁFICO 12  
EVOLUCIÓN DEL AHORRO EN LA FACTURA. SECTOR AGROALIMENTARIO



FUENTE: Elaboración propia.

de los mercados mediante acuerdos u otro tipo de negociación que afecte al precio final de la termia consumida.

A pesar de que las metodologías son diferentes es necesario este tipo de análisis paralelo para detectar y corregir todas las posibles ineficiencias, puesto que los resultados obtenidos pueden ser contrarios, como se ha visto en este caso. Desde un punto de vista económico, la solución a la eficiencia es consumir más energía. Desde un punto de vista físico, los proce-

sos son mejorables mediante una disminución del consumo utilizando equipos más eficientes energéticamente hablando.

El análisis agregado de toda esta información (económica y física) puede permitir diseñar planes de eficiencia energética concentrados en aquellos sectores más ineficientes llegando a un equilibrio entre los intereses económicos y los ambientales. Esta información puede dirigirse hacia el desarrollo de medidas que favorezcan el uso de tecnologías limpias, y

fomentar el uso de energías renovables en aras de cumplir con los compromisos del Protocolo de Kioto.

Como se ha puesto de manifiesto, un análisis económico de la eficiencia energética resulta insuficiente cuando la finalidad es reducir el deterioro ambiental y el consumo de recursos, puesto que la valoración monetaria de los mismos no refleja el impacto medioambiental que induce el consumo de aquéllos. Las instituciones que crean las políticas económicas y ambientales a seguir deberían de tener estos aspectos en cuenta para no caer en soluciones altamente ineficientes. Un análisis biofísico de los *inputs* materiales y energéticos que entran a formar parte de los procesos productivos podría asignarles un sistema de precios adecuado para optar por las soluciones económico-ambientales más correctas y no al revés.

En resumen, nuestro análisis de eficiencia podría servir en el diseño de una política industrial que permitiera realizar una regulación energética que ayudara a las industrias a conseguir un mayor grado de eficiencia en el consumo de sus inputs energéticos desde el punto de vista tanto económico como energético.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Ciclo de absorción:** Modalidad de refrigeración distinta a la tradicional de compresión, cuyas mayores diferencias estriban en la sustitución de parte del consumo eléctrico por consumo térmico proveniente de una fuente de calor.

**Cogeneración:** Generación conjunta de calor y electricidad, lo que hace que al aprovechar el calor residual de proceso se mejore sustancialmente el rendimiento del sistema frente a otro en el que sólo se genere electricidad.

**Economizador:** Sistema destinado a aprovechar parte de la energía de los gases de salida de una caldera para precalentar el fluido de trabajo o el aire de combustión o cualquier otro fluido del proceso productivo, hablándose en estos casos no ya de economizadores sino de recuperadores de calor, término más genérico que incluye a todos estos equipos.

**Regulación del presostato de alta de los compresores:** Las presiones de trabajo de los grupos compresores de los equipos de frío están limitadas por la presión de aspiración (presión de baja o de evaporación) y la pre-

sión de descarga (presión de alta o de condensación). Cuando el medio que refrigera el condensador (aire, agua, etc.) presenta temperaturas de funcionamiento diferentes según cuál sea la época del año, se debe regular la presión de descarga del compresor mediante el presostato para, de esta forma, adecuar su operación a las condiciones ambientales.

**Trigeneración:** Generación conjunta de calor, electricidad y frío, este último a través del calor mediante un ciclo de absorción.

**TEP:** Unidad energética. Tonelada Equivalente de Petróleo.  $10^7$  kcal.

**Variador de velocidad** (también llamados variadores de frecuencia): Para los motores eléctricos que deben trabajar con curvas de carga continuamente cambiantes resulta interesante poder modificar la velocidad del motor consiguiendo que siempre trabaje en condiciones óptimas, de manera que no esté suministrando un exceso de potencia que, en definitiva, es energía desaprovechada.

## BIBLIOGRAFÍA

- AIGNER, D. J., LOVELL, C. A. y SCHMIDT, P. (1977): «Formulation and estimation of stochastic frontier production function models», *Journal of Econometrics*, 6, pp. 21-37.
- BRAVO-URETA, B. E. y RIEGER, L. (1991): «Dairy Farm Efficiency Measurement Using Stochastic Frontiers and Neoclassical Duality», *American Journal of Agricultural Economics*, 73, pp. 421-428.
- CAVES, R. E. (1988): *The Measurement of Technical Inefficiency for US Manufacturing Industry*, Harvard University.
- CENTRO PARA EL AHORRO Y DESARROLLO ENERGÉTICO Y MINERO (1984): *Manual de Eficiencia Energética Térmica en la industria*, Grupo EVE.
- CEPYME ARAGÓN (1999): *Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en las Pymes*.
- CHILTON, C. y PERRY, R. H. (1973): *Manual del Ingeniero Químico*, vol. II, McGraw-Hill, 5ª ed.
- EUROPEAN COMMISSION (1999): *Energy in Europe. 1999-Annual Energy Review*.
- EFICIENCIA ENERGÉTICA (1995): *Conservación i gestió de l'energia*. Dossier convertidores de frecuencia, traducción al castellano, pp. 17-22, Departamento de Ingeniería Eléctrica de la U.P.C.
- FARRELL, M. J. (1957): «The measurement of productive efficiency», *Journal of the Royal Statistic Society, Series A (General)*, vol. 120, pp. 253-290.
- FRAILE, J. (1992): *Máquinas eléctricas*, R.O.P.
- GREEN, A. y MAYES, D. (1991): «Technical inefficiency in manufacturing industries», *The Economic Journal*, 101, pp. 523-538.

HARRIS, C. M. (1989): «Technical Inefficiency of Australian Manufacturing Industry», *Bureau of Industry Economics*, Occasional Paper 4, Canberra.

IDAE. COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS (1993): Dirección General de la Energía (DG XVII). Seminario europeo sobre ahorro y diversificación de energía en el transporte público urbano, Madrid, 1-3 de diciembre.

IDAE. MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGÍA (1999): *Plan de Fomento de las Energías Renovables en España*, Madrid, diciembre.

INSTITUT CATALÀ D'ENERGIA (1998): Departament d'Indústria i Energia. Review of Energy Efficient Technologies in the Refrigeration Systems of the Agrofood Industry. Office for Official Publications of the European Communities.

JONDROW, J., LOVELL, A. K., MATEROV, I. S. y SCHMIDT, P. (1982): «On the Estimation of Technical Inefficiency in the Stochastic Frontier Production Function Model», *Journal of Econometrics*, 19, pp. 233-238.

LOBOSCO, O. S. y DIAS, J. L. (1989): *Selección y aplicación de motores eléctricos*, Siemens.

MEEUSEN, W. y VAN DEN BROECK, J. (1977): «Efficiency Estimation From Cobb-Douglas Production Function with Composed Error», *International Economic Review*, 18, pp. 435-444.

MERINO AZCÁRRAGA, J. M. (1997): *Convertidores de frecuencia para motores de corriente alterna*, Mc Graw Hill.

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGÍA: Comisaría de la Energía y Recursos Minerales. Centro de estudios de la Energía. Técnicas de Conservación Energética en la Industria; tomo II: *Ahorro en Procesos*, Ministerio de Industria y Energía.

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGÍA (1982): Comisaría de la Energía y Recursos Minerales. Centro de Estudios de la Energía. Técnicas de Conservación Energética en la Industria.

SCHMIDT, P. y LOVELL, C. A. K. (1979): «Estimating Technical and Allocative Inefficiency Relative to Stochastic Production and Cost Functions», *Journal of Econometrics*, 9, pp. 343-366.

SERRANO IRIDANE GARAY, L. (1989): *Fundamentos de máquinas eléctricas rotativas*, Marcombo.

VIAN ORTUÑO, A. (1976): *Curso de Introducción a la Química Industrial*, Alhambra, 1ª edición.

ZELLNER, A. J., KMENTA, J. y DREEZE, J. (1966): «Specification and Estimation of Cobb-Douglas Production Function Models», *Econometrica*, 34, pp. 784-795.