

LA DEMANDA INDUSTRIAL DE ENERGIA. UNA ESTIMACION INTEGRAL POR ETAPAS

JOSE A. DELFINO *

1. Introducción ¹

En las dos últimas décadas el consumo industrial de energía creció muy lentamente, pues lo hizo a un ritmo del 0,3% anual, alcanzando en 1987 un máximo de 8,7 millones de toneladas equivalentes de petróleo (TEP). Un análisis más detallado muestra, además, que el comportamiento de los productos energéticos fue variado, pues la demanda de algunos se elevó en forma apreciable mientras que la de otros disminuyó bastante, lo que provocó un cambio en su composición. El Gas natural aumentó su participación de un quinto a poco menos de la mitad del total y la Electricidad de un décimo a un cuarto, mientras que la del Carbón y los Combustibles derivados del petróleo se redujo de casi la mitad a sólo un décimo, como se aprecia en el Cuadro 1. Esa sustitución estuvo también asociada a cambios en sus precios relativos, que en líneas generales se movieron en la dirección contraria, pues el de los Combustibles creció el 4% anual con respecto al del Gas natural y el de éste lo hizo el 6% con relación al de la Electricidad, por ejemplo. En el mismo período la producción industrial estuvo virtualmente estancada y los salarios, el costo del capital y el precio de los demás insumos aumentaron ligeramente

* Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Económicas. Instituto de Economía y Finanzas.

¹ Este trabajo es una versión revisada del presentado en la XXX Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Política que tuvo lugar en Río Cuarto entre el 9 y el 11 de Agosto de 1995. El autor desea agradecer los valiosos comentarios realizados por Lidia R. Elías de Dip, Alicia B. Giachero y otros miembros de la entidad que participaron en las discusiones, y responsabilizarse por los errores que aún subsistan.

con respecto al de la energía².

Cuadro 1
CONSUMO INDUSTRIAL DE ENERGIA
(Miles de TEP)

Años	Carbón		Gas oil	Fuel oil	Gas		Electri- cidad	Total
	Mine- ral	Resi- dual			Natu- ral	Licua- do		
1970	116	193	1.092	3.112	2.260	18	424	7.215
1975	90	123	283	2.895	3.062	43	764	7.260
1980	61	199	437	2.388	3.404	19	1.191	7.699
1985	49	194	234	1.286	4.181	9	1.331	7.284
1990	36	173	131	583	4.316	24	1.613	6.876
%	-5,0	1,3	-8,4	-6,6	3,8	-6,0	6,7	0,3

Fuente: Secretaría de Energía (1990) y empresas eléctricas.

Pero esas pocas evidencias empíricas son suficientes para mostrar la importancia que tienen los precios relativos y las posibilidades de sustitución en la organización de la producción, e insinúan sus consecuencias económicas. Cuando los insumos son competitivos, por ejemplo, un aumento en el precio de uno de ellos disminuirá su demanda e inducirá su reemplazo por otro pero no modificará en forma apreciable los costos de producción. Si la sustituibilidad fuera baja, en cambio, esa variación elevaría también el gasto total y contendría el nivel de actividad. Las funciones de costos y demanda de insumos reflejan esas características, y los principales indicadores que muestran sus propiedades cualitativas permiten medir la respuesta del consumo a cambios en los precios relativos, el impacto que éstos tienen en los costos de

² Con las excepciones que se señalan en cada caso, las tasas de crecimiento se calcularon ajustando por mínimos cuadrados ordinarios una ecuación del tipo $y = a + bt + e$, que en realidad es una transformación logarítmica de esta otra $p_t = p_0(1 + r)$, en la que t es el tiempo, e el término de error, $y = \ln p_t$, $a = \ln p_0$ y $b = \ln(1 + r)$, y a partir de cuyos resultados finalmente se obtiene $r = [\exp(b) - 1]$.

producción, la importancia de la escala de operaciones y la relación que existe entre el nivel de actividad y el empleo de recursos productivos, proporcionando una buena descripción cuantitativa de la tecnología empleada.

El propósito de este trabajo es utilizar esos instrumentos para analizar las principales características de la demanda de energía y pronosticar también su comportamiento esperado. Para ello se ha organizado de la siguiente manera. En la próxima sección describe el modelo y los indicadores seleccionados; en la tercera comenta los datos; en la siguiente detalla los métodos de estimación y examina los resultados; en la quinta muestra las proyecciones del consumo de productos energéticos, y en la última resume las conclusiones.

2. El Modelo Teórico

Para examinar los aspectos económicos mas importantes del consumo industrial de energía se empleó una función de costos translogarítmica por dos razones. En primer lugar, porque no impone restricciones sobre las características de la tecnología, sino que las contrasta a partir de la información disponible. En segundo lugar, porque permite estimar en forma simultánea la demanda de productos energéticos junto a las de los demás insumos, logrando de ese modo una mejor aproximación al comportamiento de las empresas, quienes parecen determinar primero la parte del gasto total que asignarán a los recursos primarios (que aquí se agrupan en Capital, Trabajo, Materias primas y Energía) y distribuir luego el destinado a esta última finalidad entre los diferentes productos energéticos. Por este motivo el modelo realiza el cálculo en dos etapas. En la primera, bajo los supuestos convencionales de optimización, estima la demanda de Carbón, Combustibles, Electricidad y Gas. En la segunda, y utilizando esos resultados, obtiene el "precio de la Energía" que utiliza luego junto al de los demás insumos primarios para calcular sus demandas, suponiendo que su empleo se selecciona con el propósito de minimizar el costo total³.

³ Ese método de cálculo supone además que la función de agregación es débil separable, lo que implica que las tasas marginales de sustitución entre productos energéticos son independientes de las cantidades empleadas de Capital, Trabajo y Materias primas por una

A) El Sector Industrial

El modelo que representa el comportamiento de todo el sector manufacturero supone que existe una función de producción que resume su tecnología y que puede simbolizarse así $Q = f(K, L, E, M)$, en la que Q es la producción, K los servicios del capital, L el trabajo, E los productos energéticos y M las materias primas empleadas. Si las unidades productivas son minimizadoras de costo y los precios de los insumos y la producción exógenos, la teoría de la dualidad muestra que la representación de esas relaciones de producción puede también hacerse empleando una función de esta clase:

$$C = g(P_K, P_L, P_E, P_M, Q) \quad (1)$$

en la que C simboliza el costo total y P_i ($i = K, L, E$ y M) el precio de cada uno de los recursos productivos. Esa relación se representa aquí por una función translogarítmica que proporciona una aproximación de segundo orden a la verdadera función, no impone restricciones sobre la homoteticidad de la estructura de la producción y tiene la siguiente especificación:

$$\begin{aligned} \ln C = & \ln \alpha_0 + \sum_i \alpha_i \ln P_i + 0,5 \sum_i \sum_j \beta_{ij} \ln P_i \ln P_j + \\ & + \alpha_Q \ln Q + 0,5 \alpha_{QQ} (\ln Q)^2 + \sum_i \alpha_{iQ} \ln P_i \ln Q \end{aligned} \quad (2)$$

donde al igual que antes, C mide el costo del sector manufacturero, P_i ($i = K, L, E$ y M) el precio de los insumos que emplea y Q el nivel de actividad.

La minimización de costos implica a su vez que $\delta \ln C / \delta \ln P_i = P_i X_i / C = S_i$, para $i = K, L, E$ y M (pues por el lema de Shephard resulta que $\delta C / \delta P_i = X_i$, siendo X_i la demanda del i -ésimo insumo), lo que en términos de las participaciones de los recursos productivos en el costo total puede presentarse

parte, y que los precios de esos insumos pueden reemplazarse por un índice que los represente por la otra.

también así:

$$S_i = \alpha_i + \sum_j \beta_j \ln P_j + \alpha_{iQ} \ln Q \quad (3)$$

donde $S_L = P_L L / C$, por ejemplo. Pero para que esas ecuaciones satisfagan la condición de aditividad y tengan las propiedades que caracterizan a las funciones de producción bien comportadas es necesario imponer las siguientes restricciones sobre el valor de sus coeficientes:

$$\sum_i \alpha_i = 1, \quad \sum_j \beta_{ij} = \sum_j \beta_{ij} = 0, \quad \sum_i \alpha_{iQ} = 0, \quad \beta_{ij} = \beta_j \quad (4)$$

La estimación de ese sistema proporciona los parámetros de la función de costos, con los que es posible analizar las características de la estructura productiva del sector industrial y las propiedades cualitativas de sus demandas de insumos primarios. Sin embargo, esos resultados permiten también contrastar otras propiedades de las relaciones de producción, pues la función de costos propuesta no supone homoteticidad y por consiguiente tampoco homogeneidad. La homoteticidad implica que la función de producción es separable en precios de insumos y nivel de actividad, y para que ello ocurra es necesario que se cumplan las siguientes restricciones adicionales sobre el valor de sus parámetros $\alpha_{iQ} = 0$ para $i = K, L, E, M$. Pero una función homotética es también homogénea si la elasticidad del costo total con respecto a la producción es constante, esto requiere que $\partial \ln C / \partial \ln Q = \alpha_Q$ también lo sea y que $\alpha_{QQ} = 0$.

B) Los Productos Energéticos

La estimación de un submodelo de productos energéticos implica suponer que la función de producción es débil separable entre estos insumos y los demás, vale decir $Q = f[K, L, E(E_1, \dots, E_n), M]$ y que existe una función de costos dual a la anterior del tipo (Fuss, 1977a):

$$C = c[P_K, P_L, P_E(P_{E1}, \dots, P_{En}), P_M] \quad (5)$$

en la que E y P_E son funciones de agregación de los productos energéticos y de sus precios. Pero como P_E es el precio por unidad de Energía, resulta también igual al gasto unitario para la empresa optimizadora y por consiguiente puede representarse por una función de costo translogarítmica linealmente homogénea en la Energía del tipo:

$$\ln P_E = \ln \beta_0 + \sum_i \beta_i \ln P_{Ei} + 0,5 \sum_i \sum_j \beta_{ij} \ln P_{Ei} \ln P_{Ej} \quad (6)$$

donde i, j simbolizan ahora el Carbón, los Combustibles, la Electricidad y el Gas. Al igual que en el caso anterior, los parámetros de esa función pueden calcularse a partir del siguiente sistema de ecuaciones de participación, obtenido aplicando el mismo criterio optimizador:

$$S_{Ei} = \beta_i + \sum_j \beta_{ij} \ln P_{Ej} \quad (7)$$

siendo $S_{Ei} = P_{Ei} X_{Ei} / P_E$ y cuya estimación debe satisfacer también estas restricciones sobre el valor de los coeficientes:

$$\sum_i \beta_i = 1, \quad \sum_i \beta_{ij} = \sum_j \beta_{ij} = 0, \quad \beta_{ij} = \beta_{ji} \quad (8)$$

que aseguran la suma 1 de las participaciones, la homogeneidad lineal en precios de la función de agregación y las condiciones de simetría, respectivamente. Al imponer esas limitaciones el sistema de cuatro ecuaciones se reduce a tres y su estimación proporciona los parámetros, que reemplazados en la función de costos permiten calcular el precio de la Energía, que puede luego emplearse en la estimación del modelo industrial.

C) Elasticidades de la Demanda de Insumos

Con esos resultados es posible calcular luego las elasticidades de la demanda de insumos primarios haciendo $\epsilon_{ij} = \partial \ln X_i / \partial \ln P_j = \sigma_{ij} S_j$ (para $i, j = K, L, E, M$) donde $\sigma_{ii} = (\beta_{ii} + S_i^2 - S_i) / S_i^2$ y $\sigma_{ik} = (\beta_{ik} + S_i S_k) / S_i S_k$ son las elasticidades de sustitución de Allen (Berndt y Wood, 1975). Cuando se refieren a

los productos energéticos esas elasticidades (que se calculan de la misma manera) son "parciales", pues miden los cambios en la demanda provocados por modificaciones en sus precios relativos para un determinado consumo de Energía. Sin embargo, cuando el precio de un producto energético cambia, su demanda también lo hace porque es sustituido o sustituye a otro (ahora más barato o más caro) y porque la modificación en el precio de la Energía altera su empleo. Ese cambio es registrado por las elasticidades "totales", que se calculan así:

$$\epsilon_{ii}^* = \epsilon_{ii} + \epsilon_{EE} S_{Ei} \quad (9)$$

para $i =$ Carbón, Combustibles, Electricidad y Gas y donde ϵ_{ii} es la elasticidad precio parcial de la demanda del i -ésimo producto energético, ϵ_{EE} la elasticidad de la demanda de Energía estimada a partir del modelo industrial y S_{Ei} su participación en el gasto total destinado a los productos energéticos ⁴. De un modo similar se demuestra que $\epsilon_{ij}^* = \epsilon_{ij} + \epsilon_{EE} S_{Ej}$.

D) Escala, Precios de la Energía y Costos Medios

Pero el modelo empleado permite también obtener otros indicadores que muestran la importancia del tamaño, la relación entre demanda de energía y nivel de actividad y el efecto que tienen los cambios en sus precios sobre los costos de producción industriales. Los efectos de escala miden las modificaciones en los costos provocadas por cambios en la producción, se definen como

⁴ A este resultado se llega derivando la demanda del i -ésimo producto energético [$X_{Ei} = X_{Ei}(P_{E1}, \dots, P_{Ei}, E)$] con respecto a cambios en su precio, lo que proporciona $\partial X_{Ei} / \partial P_{Ei} = (\partial X_{Ei} / \partial P_{Ei}) + [(\partial X_{Ei} / \partial E) (\partial E / \partial P_{Ei}) (\partial P_{Ei} / \partial P_{Ei})]$; multiplicando luego por P_{Ei} / X_{Ei} , teniendo en cuenta que $\partial \ln P_{Ei} / \partial \ln P_{Ei} = S_{Ei}$ y por consiguiente $\partial P_{Ei} / \partial P_{Ei} = (P_{Ei} / P_{Ei}) S_{Ei}$, que $\partial \ln E / \partial \ln P_E = \epsilon_{EE}$ de donde $\partial E / \partial P_E = \epsilon_{EE} (E / P_E)$, y reemplazando esos resultados en la expresión anterior se obtiene (9), pues $\epsilon_{ii} = (\partial X_{Ei} / \partial P_{Ei}) (P_{Ei} / X_{Ei})$ y porque las funciones de agregación homotéticas proporcionan demandas con elasticidades unitarias, vale decir $(\partial X_{Ei} / \partial E) (E / X_{Ei}) = 1$. Esta demostración y la forma de calcular los indicadores que se comentan mas adelante pueden consultarse en Pindyck (1979).

$S = 1 - (\partial \ln C / \partial \ln Q)$ y se calculan de este modo:

$$S = [1 - (\alpha_Q + \beta_{QQ} \ln Q + \sum_i \alpha_i Q \ln P_i)] \quad i = K, L, E, M \quad (10)$$

Cuando $S > 0$ se dice que hay economías de escala, pues los gastos crecen en una proporción menor que la producción y por consiguiente el costo medio declina. Si $S < 0$ existen, en cambio, deseconomías de escala.

La elasticidad producto de la demanda de energía relaciona los cambios en el consumo agregado de productos energéticos con las modificaciones en el nivel de actividad y se estima así:

$$\epsilon_{EQ} = \partial \ln E / \partial \ln Q = [(\alpha_{EQ} / S_E) + \alpha_Q + \beta_{QQ} \ln Q + \sum_i \alpha_i Q \ln P_i] \quad (11)$$

para $i = K, L, E, M$. Si el valor de la producción fuera igual al costo de los insumos (lo que ocurre en condiciones de competencia perfecta o cuando las firmas con poder sobre el mercado determinan el precio del producto aplicando un porcentaje sobre el costo de producción) resulta que $\epsilon_{EQ} = \epsilon_{iQ}$ (para $i = \text{Carbón, Combustibles, Electricidad y Gas}$) pues la función de costo de la energía es homotética.

Finalmente, la elasticidad del costo medio con respecto al precio de la energía indica la proporción en que cambian los costos unitarios cuando ese precio aumenta el uno por ciento, se define como $\epsilon_{CE} = \partial \ln (C/Q) / \partial \ln P_E$ y se calcula empleando la siguiente expresión, obtenida a partir de la función de costo medio estimada dividiendo (2) por Q :

$$\epsilon_{CE} = \alpha_E + \sum_j \beta_{ij} \ln P_i + \alpha_{EQ} \ln Q \quad i = K, L, E, M \quad (12)$$

Sin embargo, con estos resultados también es posible obtener un indicador que mida el porcentaje en que cambiará el costo medio industrial cuando se modifica en el uno por ciento el precio de cada producto energético. Para ello es preciso hacer $\epsilon_{Ci} = [(\partial \ln CM / \partial \ln P_E) (\partial \ln P_E / \partial \ln P_{Ei})] = \epsilon_{CE} S_{Ei}$, donde S_{Ei} (para $i = \text{Carbón, Combustibles, Electricidad y Gas}$) representa la participación de cada producto energético en el gasto total en Energía.

3. Los Datos Empleados

Lamentablemente, las severas restricciones impuestas por la información limitaron el período de estudio a las dos últimas décadas y obligaron a emplear datos provenientes de diversas fuentes, aunque predominan los de la Secretaría de Energía, los proporcionados por empresas de ese sector y los contenidos en el Sistema de Cuentas del Producto e Ingreso del Banco Central de la República Argentina (1975) y en la revisión realizada por CEPAL (1991), que en ambos casos se denominan SCP. El consumo industrial de energía se obtuvo a partir de los Balances Energéticos con excepción del de la Electricidad, que se supuso igual a la producción del servicio público. Además, como de ese modo se elimina la autogeneración, los insumos energéticos empleados para obtenerla se sumaron a los demás consumidos por la industria. Con las cantidades y los precios del Carbón, los Combustibles, el Gas y la Electricidad se estimó luego el consumo de Energía (E) con un índice de Tornqvist-Theil-Divisia, la participación de cada uno de esos productos en el gasto en Energía, y la de éste en el costo total⁵.

Como indicador del Costo del sector manufacturero (C) se empleó el Valor Bruto de la Producción proporcionado por el SCP. Esa decisión implica suponer que las firmas fijan sus precios sumando al costo un margen de ganancias, un comportamiento que parece consistente con el poder que ejercen sobre el mercado y que en gran medida deriva tanto de su concentración como de la protección externa (Fuss, 1977a). El nivel de actividad (Q) se midió, a su vez, empleando un Índice de Volumen Físico de la Producción, proveniente de la misma fuente. El precio de los servicios del Capital se calculó en la forma propuesta por Christensen y Jorgenson (1970), empleando la siguiente expresión:

$$P_K = P_A \{(r+d)(1 - uk)/(1 - u)\} \quad (13)$$

obtenida bajo el supuesto de que existe una correspondencia exacta entre el

⁵ El Carbón comprende el mineral y el residual de petróleo, los Combustibles agrupan fuel y gas oil y el Gas incluye el natural y el licuado.

precio de un activo reproducible y el valor de los servicios que proporciona, y en la que P_A simboliza el precio de ese activo, r la retribución del capital, d su tasa de depreciación anual, u la del Impuesto a las Ganancias y k la proporción de la inversión deducible de la base imponible de ese gravamen. Su participación se estimó dividiendo el Excedente de Explotación del sector, proporcionado por el SCP, por el Valor Bruto de la Producción, ambos expresados a valores corrientes.

El Salario medio y la participación del Trabajo correspondientes a la última década se calcularon dividiendo la Remuneración de los Asalariados por el personal ocupado y el Valor Bruto de la Producción, respectivamente. Para el período previo, la retribución del trabajo se estimó multiplicando las personas ocupadas por el salario medio de la industria. Las materias primas, que constituyen el último recurso productivo primario empleado en este trabajo, se calcularon restando al Consumo Intermedio del sector manufacturero el gasto en Energía (cuyos valores corrientes se estimaron en la forma comentada, mientras que los constantes se obtuvieron multiplicando el consumo de cada período por los precios del año base). Su participación en el costo de producción se calculó relacionando su valor corriente con el Valor Bruto de la Producción y su precio, dividiendo el gasto corriente por el expresado a valores constantes.

4. Los Resultados Obtenidos

Los resultados correspondientes al submodelo de productos energéticos compuesto por las ecuaciones de participación que se presentan en las primeras columnas del Anexo y obtenidos empleando el método de Zellner para ecuaciones aparentemente no relacionadas, muestran que la mayoría de los parámetros son estadísticamente significativos, lo que permite descartar la especificación Cobb Douglas como una representación plausible de la tecnología, y que los coeficientes de regresión son bajos, lo que estaría indicando una escasa respuesta de las participaciones a los cambios en los precios de los productos energéticos, antes que una incorrecta especificación del modelo (Fuss, 1977b). Con el valor de esos parámetros se calcularon luego las elasticidades parciales que se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2
ELASTICIDAD PRECIO PARCIAL DE LA DEMANDA
DE PRODUCTOS ENERGETICOS
(E constante)

Producto	Carbón	Combustibles	Electricidad	Gas
Carbón	-0,469 (0,222)	0,006 (0,270)	0,099 (0,129)	0,001 (0,354)
Combustibles	0,000 (0,015)	-0,820 (0,146)	0,221 (0,136)	0,009 (0,103)
Electricidad	0,002 (0,002)	0,066 (0,041)	-0,225 (0,043)	0,002 (0,019)
Gas	0,000 (0,017)	0,008 (0,090)	0,005 (0,005)	-0,300 (0,129)

Calculadas para el valor medio de las participaciones. Los valores entre paréntesis son los errores estandar.

Esos resultados, que en realidad corresponden a movimientos sobre una misma isocuanta pues suponen que el consumo de Energía es constante, muestran que todas las elasticidades de la demanda con respecto a sus propios precios son negativas, lo que insinúa el predominio de la sustituibilidad en el sentido propuesto por Hicks y asegura la concavidad de la función de agregación⁶. Comparándolas, se aprecia también que la de Combustibles es la más sensible (pues un aumento del 10% en su precio provocaría una caída del 8,2% en el consumo), siguiéndole el Carbón y el Gas con niveles algo más bajos y ubicándose al final la Electricidad (la más rígida, posiblemente porque su elevado costo en términos de contenido térmico sólo induciría su empleo

⁶ En rigor, el carácter no positivo de sus elementos diagonales (que miden la respuesta de las demandas de insumos a cambios en sus precios) es sólo una condición necesaria pero no suficiente para que el Hessiano sea semidefinido negativo (Fuss, 1977b). Las aproximaciones a los errores estandar de las elasticidades de sustitución se calcularon, a su vez, haciendo $\text{var}(\alpha_{ij}) = \text{var}(\beta_{ij})/(\sum S_i)^2$ y suponiendo que las participaciones son constantes e iguales al promedio de sus valores estimados, y las de las funciones de demanda de un modo similar.

cuando no resulta posible utilizar los otros productos energéticos).

Por otra parte y a pesar de que entre los insumos empleados por la industria para generar calor y vapor podría esperarse una marcada competencia, los efectos cruzados que miden las demás elasticidades que se presentan en cada fila ($\epsilon_{ij} = \partial \ln X_{Ei} / \partial \ln P_{Ej}$) son poco significativos, pues sólo insinúan una moderada sustituibilidad entre Combustibles y Electricidad debido quizás a los ajustes que los cambios en los precios relativos suelen provocar en la autogeneración (un aumento del 10% en las tarifas eléctricas elevaría el 2,2% el consumo de fuel oil, por ejemplo).

Un análisis comparativo muestra, finalmente, que algunas de esas elasticidades se aproximan razonablemente a las calculadas para Canadá y Holanda por Fuss (1977) y Magnus y Woodland (1987), quienes empleando modelos similares pero mejor información obtuvieron los siguientes valores: ϵ_c : -1,41 y -1,84; ϵ_e : -1,22 y -0,33; ϵ_g : -0,52 y -0,24 y ϵ_g : -1,21 y -0,92 para Carbón, Combustibles, Electricidad y Gas natural, respectivamente. Sin embargo, las elasticidades con respecto a sus propios precios son en general más bajas y los efectos cruzados menos apreciables en Argentina, lo que insinúa una menor respuesta de su industria a cambios en los precios de la Energía, una circunstancia que se explicaría por su marcada inestabilidad y porque el poder que tienen las empresas locales sobre el mercado les permitiría trasladar a los productos el mayor costo de los insumos.

El modelo industrial, compuesto por las ecuaciones de participación correspondientes a Capital, Trabajo, Energía y Materias primas, se estimó luego empleando como indicador del precio de la Energía (P_E) un índice de Tornqvist-Theil-Divisia que tiene la siguiente especificación (Fuss, 1977a):

$$\ln P_{Et} - \ln P_{Et-1} = \sum_i 0.5 (S_{Eit} + S_{Ei,t-1}) (\ln P_{Eit} - \ln P_{Ei,t-1}) \quad (14)$$

en el que t representa el período al que corresponden los datos, P_{Ei} el precio de los productos energéticos y S_{Ei} la participación de cada uno de ellos observada en el gasto en Energía. Se prefirió este enfoque a la alternativa que proporciona el empleo de la expresión (6) pues este índice es exacto para una función de costo translogarítmica linealmente homogénea como esa y proporciona, además, resultados que parecen tener un comportamiento que se aproxima mejor a la dinámica de los otros precios.

Lo mismo que antes las estimaciones se hicieron utilizando el método de Zellner, aunque tampoco en este caso la información permitió emplear la función de costo junto a las de participación. Los resultados, que también se presentan en el Anexo, muestran que la mayoría de los parámetros son estadísticamente significativos y los coeficientes de correlación relativamente bajos, pero no aportan pruebas concluyentes sobre la homoteticidad de las relaciones de producción (como α_{LQ} es distinto de cero de acuerdo al estadístico t , las condiciones (4) sólo se satisfacen parcialmente). Sin embargo, las participaciones estimadas satisfacen las condiciones de monotonicidad y los valores de las elasticidades insinúan la convexidad de la función de producción. Con esos parámetros se calcularon luego los indicadores que se presentan en el Cuadro 3, en el que se aprecia que todas las demandas de insumos primarios tienen elasticidades con respecto a su propio precio negativas, que éstas se encuentran en su tramo inelástico y que los efectos cruzados son poco significativos (pues sólo parecen insinuar que el Capital compite moderadamente con las Materias primas ya que $\epsilon_{KM} = 0,170$ y que la Energía acusa una baja sustituibilidad con aquellas, porque $\epsilon_{EM} = 0,034$).

Cuadro 3
ELASTICIDAD PRECIO DE LA DEMANDA DE INSUMOS PRIMARIOS
(Q constante)

Insumo	Capital	Trabajo	Energía	Materias primas
Capital	-0,642 (0,070)	0,000 (0,020)	0,000 (0,016)	0,170 (0,051)
Trabajo	0,001 (0,079)	-0,210 (0,039)	0,000 (0,000)	0,042 (0,072)
Energía	0,000 (0,037)	0,000 (0,000)	-0,095 (0,165)	0,034 (0,271)
Materias Primas	0,113 (0,034)	0,007 (0,012)	0,001 (0,009)	-0,422 (0,034)

Calculadas para el valor medio de las participaciones. Los valores entre paréntesis son los errores estándar.

Pero esos escasos efectos cruzados indican también que los precios no constituyen un instrumento apropiado para inducir la sustitución de insumos industriales, pues la variación de cualquiera de ellos no modificaría en forma apreciable el empleo de los demás. La poca sensibilidad de las demandas de Trabajo y Energía ante cambios en sus precios se explicaría, a su vez, porque las regulaciones limitan seriamente la flexibilidad laboral en el primer caso y por la rigidez que suele caracterizar a los insumos cuyo gasto representa una escasa proporción del costo total en el segundo (sin embargo, esa baja respuesta podría también depender del carácter de la información empleada, pues los datos transversales aproximan mejor las condiciones de largo plazo y por consiguiente tienden a proporcionar elasticidades mayores que las obtenidas aquí utilizando series temporales).

A pesar de todo, esas elasticidades muestran una razonable aproximación a las estimadas en otros estudios, entre los que se destacan el de Fuss (1977a) ya mencionado, el de Berndt y Wood (1975) que emplea series de tiempo para la industria manufacturera de Estados Unidos y el de Shankar, K. R. y Pachauri, R. K. comentado en Saicheua (1987), que utiliza datos correspondientes a cinco sectores industriales de la India para los años 1963, 1966 y 1971. En esos trabajos se obtuvieron estas elasticidades $\epsilon_K = -0,76, -0,48$ y $-0,06$, $\epsilon_L = -0,49, -0,46$ y $-0,20$, $\epsilon_E = -0,49, -0,47$ y $-0,20$ y $\epsilon_M = -0,36, -0,22$ y $-0,03$ para Capital, Trabajo, Energía y Materias Primas respectivamente. Con esos resultados se estimaron luego las elasticidades totales de la demanda de productos energéticos, obteniéndose valores que no difieren en forma apreciable de los anteriores, pues dependen de la demanda de Energía de un modo esencial y ésta es bastante rígida. El Cuadro 4 muestra que todas las demandas son poco sensibles ante cambios en sus propios precios (aunque algo menos inelásticas que las que suponen el gasto en energía constante) y que los efectos cruzados continúan siendo poco significativos.

Cuadro 4
ELASTICIDAD PRECIO TOTAL DE LA DEMANDA DE PRODUCTOS ENERGETICOS
(E variable y Q constante)

Insumo	Carbón	Combustibles	Electricidad	Gas
Carbón	-0,470	-0,011	0,042	-0,019
Combustibles	-0,001	-0,837	0,164	-0,011
Electricidad	0,001	0,049	-0,282	-0,018
Gas	-0,001	-0,010	-0,052	-0,319

Calculadas para el valor medio de las participaciones.

Los parámetros proporcionados por las estimaciones del modelo industrial se emplearon también para medir la importancia de la escala, el impacto que tienen los cambios en los precios de los productos energéticos sobre los costos de producción y las relaciones que existen entre el nivel de actividad y la demanda de energía, obteniéndose los resultados que se presentan en el Cuadro 5. En líneas generales allí se aprecia que el sector manufacturero opera con rendimientos constantes (pues el indicador que mide las economías de escala no es estadísticamente significativo para niveles usuales de confianza), que las modificaciones en los precios de los productos energéticos tienen un bajo impacto sobre sus costos unitarios (un ajuste del 10% en las tarifas eléctricas los elevaría sólo el 0,18%) y que los aumentos en la producción están asociados con un crecimiento proporcional en la demanda de Energía, aún cuando los precios relativos se mantengan, pues la tendencia a sustituir otros insumos por productos energéticos es casi imperceptible (si el nivel de actividad creciera el 10% el consumo de éstos lo haría en menos del 10,1%, por

ejemplo)⁷.

Cuadro 5
ECONOMIAS DE ESCALA, ELASTICIDAD DEL COSTO MEDIO Y ELASTICIDAD PRODUCTO

Indicador	Coficiente	Error estandar
Economías de Escala	-0,007	(-0,0385)
Elasticidad del Costo Medio	0,018	(0,0025)
Precio del Carbón	0,002	(0,0000)
Precio de los Combustibles	0,003	(0,0005)
Precio del Gas	0,011	(0,0015)
Precio de la Electricidad	0,004	(0,0005)
Elasticidad Producto	1,007	(0,6944)

Calculadas para el valor medio de las participaciones y de las variables explicativas.

5. Proyección de la Demanda de Energía

Finalmente, los resultados de las estimaciones junto a pronósticos sobre el comportamiento de precios de insumos y producción industrial, se emplearon para proyectar la demanda de productos energéticos. En líneas generales, los precios de la energía y de las materias primas se estimaron en base a la evolución de sus cotizaciones internacionales esperadas, el del capital suponiendo que se mantendrían sus determinantes aunque asociando su dinámica al costo del equipamiento, el salario ajustándolo por mejoras en la productividad a un ritmo similar al histórico y el nivel de producción industrial suponiendo un aumento inicial moderado que luego alcanzará el límite al que se espera que crezcan ciertos países en desarrollo.

Los resultados que se muestran en el Cuadro 6 pronostican un creci-

⁷ Como la información disponible no permitió estimar la función de costos junto a las ecuaciones de participación, siguiendo a Pindyck (1979) se supuso que los parámetros α_Q y α_{QQ} son iguales a 1 y 0 respectivamente.

miento moderado en la mayoría de los precios pero sugieren una evolución desigual, pues los de Materias primas, Carbón y Combustibles (arrastrados por las cotizaciones de los productos primarios y los combustibles fósiles) declinarían en gran parte del período recuperándose al final, mientras que los del Gas sólo disminuirían los dos primeros años (a pesar de estar asociados con los del petróleo) debido a la corrección de su atraso inicial. Las tarifas eléctricas crecerían todo el tiempo, en cambio, impulsadas por los intentos de aproximarlas a los costos económicos.

Empleando esos precios y los resultados proporcionados por el modelo de productos energéticos se proyectaron sus participaciones (s_{Ei}) y el precio esperado de la Energía. Con éste último, el de los otros insumos primarios, el nivel de actividad y el modelo industrial se estimó el costo de producción y también sus participaciones (S_i), con las que se calculó el gasto esperado en Energía que se distribuyó luego entre sus componentes. Relacionando esos gastos con los precios se obtuvieron índices de cantidades de Tornqvist-Theil-Divisia con los que finalmente se proyectó la demanda de productos energéticos. Los resultados obtenidos que se presentan en el Cuadro 7 deben considerarse con cuidado, sin embargo, por la calidad de la información, porque el modelo no capta con detalle el cambio tecnológico y porque el año seleccionado como base para las proyecciones no es adecuado (los mercados no estaban totalmente desregulados, los precios domésticos no necesariamente se ajustaban a los internacionales y tampoco se disponía de aquellos para emplearlos en reemplazo de éstos).

Cuadro 6
 PROYECCION DE PRECIOS DE INSUMOS Y NIVEL DE ACTIVIDAD INDUSTRIAL
 Año 1990 = 1

Años	1990	1991	1992	1993	1994	1995	2000
Capital	1,000	1,005	1,010	1,015	1,020	1,025	1,051
Trabajo	1,000	1,007	1,014	1,021	1,028	1,035	1,072
Materias primas	1,000	0,913	0,921	0,934	0,921	0,939	1,042
Energía	1,000	0,991	0,993	1,027	1,039	1,046	1,163
Carbón	1,000	0,931	0,966	0,966	0,931	0,931	1,034
Combustibles	1,000	0,800	0,766	0,800	0,821	0,828	1,048
Electricidad	1,000	1,095	1,101	1,106	1,112	1,118	1,146
Gas	1,000	0,866	0,898	1,016	1,042	1,051	1,331
Producción	1,000	1,015	1,035	1,061	1,093	1,131	1,376

Fuente: Banco Mundial (1991), Fondo Monetario Internacional (1989) y estimaciones propias.

A pesar de ello, muestran algunas cuestiones importantes. En primer lugar indican que el consumo industrial de Energía aumentará el 26% a lo largo de todo el período elevándose de 6,9 a 8,7 millones de TEP, una proyección bastante mas elaborada que las realizadas hasta el momento en el país. El consumo de Electricidad lo hará en esa misma proporción, el del Gas estará ligeramente por debajo y el de combustibles fósiles por encima. Un análisis más detallado señala que el ritmo de crecimiento será irregular y diferirá entre los productos debido al comportamiento discrepante de sus precios. La demanda total aumentará en forma apreciable el primer año, lo hará moderadamente en los dos siguientes y recuperará parcialmente su ritmo después (una dinámica que se explicaría por el fuerte aumento inicial en el consumo de Combustibles, el crecimiento contenido de todos ellos después y el impulso final del Gas y la Electricidad)⁸.

⁸ Esa evolución del consumo de productos energéticos en realidad constituye una respuesta a los cambios en los precios y el nivel de actividad. Esto se comprueba parcialmente en los dos cuadros anteriores, en los que se observa que los aumentos esperados en el

Cuadro 7
 PROYECCION DE LA DEMANDA DE PRODUCTOS ENERGETICOS
 (Miles de TEP)

Años	Carbón	Combusti- bles	Electricidad	Gas	Total
1990	209	714	1.613	4.340	6.876
1991	223	961	1.569	4.405	7.158
1992	220	1.029	1.578	4.435	7.262
1993	225	1.024	1.609	4.468	7.326
1994	237	1.034	1.659	4.592	7.522
1995	244	1.058	1.703	4.712	7.717
2000	279	1.024	2.071	5.359	8.693
Crecimien- to*	33%	43%	26%	23%	26%

*Calculado entre los extremos del período.

6. Conclusiones

En las dos últimas décadas el consumo industrial de energía creció alrededor de un tercio, el comportamiento de los distintos productos fue variado y su composición naturalmente cambió en favor de los más dinámicos, que fueron la Electricidad y el Gas. Esa sustitución en las fuentes de energía estuvo asociada a modificaciones en los precios relativos, que en líneas generales se movieron en la dirección contraria. En el mismo período la producción industrial estuvo virtualmente estancada y los precios del Capital, el

consumo están inversamente relacionados con el crecimiento de los precios (la demanda más dinámica es la de combustibles fósiles y sus precios los que menos crecerán en el futuro, por ejemplo).

Trabajo y las Materias primas aumentaron ligeramente con relación al agregado que corresponde a la Energía.

La estimación del modelo de productos energéticos empleado para analizar la demanda industrial proporcionó buenos resultados pues aunque los coeficientes de regresión obtenidos son bajos, la función de agregación parece exhibir las propiedades cualitativas que caracterizan a las relaciones de producción bien comportadas (simetría, monotonicidad y convexidad) y la mayoría de los parámetros son estadísticamente significativos para niveles usuales de confianza (lo que permite también descartar la especificación Cobb Douglas como una representación plausible de la tecnología).

Con esos resultados se calcularon luego las elasticidades parciales de la demanda de productos energéticos, comprobándose que las que miden la respuesta a cambios en sus propios precios son negativas pero en general bajas, y que predomina la competitividad, aunque con pocas posibilidades de sustitución. Agregando a los anteriores los resultados proporcionados por el modelo industrial, que también muestran una baja sensibilidad de la demanda de los insumos primarios a cambios en sus precios y efectos cruzados poco significativos, se obtuvieron elasticidades totales similares a las anteriores, pues todas ellas dependen de un modo esencial de la demanda de Energía, que es bastante rígida.

El análisis de los efectos de escala, la elasticidad del costo medio y la elasticidad producto parece indicar, a su vez, que el sector manufacturero opera con rendimientos constantes, que las modificaciones en los precios de los productos energéticos tienen un impacto moderado sobre sus costos unitarios y que los cambios en la producción están asociados con ajustes de la misma proporción en el consumo de Energía. Las proyecciones realizadas empleando los resultados de las estimaciones anteriores junto a pronósticos sobre el comportamiento esperado de precios de insumos y nivel de actividad muestran, por su parte, que la demanda industrial de Energía crecerá en forma apreciable porque al final del período será una cuarta parte mayor que al comienzo, pero que los productos energéticos tendrán un comportamiento variado, pues los más dinámicos serán aquellos cuyos precios aumenten menos.

Para terminar, es conveniente recordar que todos esos resultados deben considerarse con cuidado por varias razones. En primer lugar, por la calidad de los datos y su nivel de agregación, y porque la inestabilidad económica que caracterizó a gran parte del período probablemente haya contenido las decisio-

nes en materia de asignación de recursos, sugiriendo una excesiva rigidez en los cambios; en segundo lugar, porque como el modelo no tiene en cuenta limitaciones en la oferta de insumos ni permite medir el progreso técnico de un modo adecuado, sus resultados podrían estar sesgados (como en el caso de la demanda esperada de Carbón, un insumo cuyo empleo crece a pesar de que parece estar negativamente asociado con el cambio tecnológico) y finalmente, porque en el año seleccionado como base para las proyecciones los mercados no estaban totalmente desregulados ni todos los precios domésticos se ajustaban a los internacionales, que sin embargo se emplearon en las proyecciones.

Anexo

PARAMETROS DE LAS FUNCIONES DE COSTO'

Coef.	PRODUCTOS ENERGETICOS			SECTOR INDUSTRIAL		
	Carbón(s _c)	Comb(s _t)	Elec(s _e)	Capital(S _K)	Trabajo(S _L)	Energía(
α_1	0,00918			0,35774		
α_2		0,18613			0,09613	
α_3			0,60875			0,01806
β_{11}	0,00521			0,01426		
β_{12}	0,00053			-0,01970		
β_{13}	-0,00334			0,00722		
β_{21}		0,00053			-0,01970	
β_{22}		-0,02231			0,06235	
β_{23}		0,02584			-0,00782	
β_{31}						0,00722
β_{32}			0,02584			-0,00782
β_{33}			0,10302			0,01510
α_{KQ}				0,00719		
α_{LQ}					-0,03292	
α_{BQ}						-0,00289
R ²	0,320	0,122	0,172	0,170	0,907	0,132

*Los valores entre paréntesis son los estadísticos t.

REFERENCIAS

BANCO CENTRAL DE LA REPUBLICA ARGENTINA (1975): "Sistema de Cuentas del Producto e Ingreso de la Argentina", vol.I y II, Buenos Aires.

BANCO MUNDIAL (1987): "Informe sobre el Desarrollo Mundial", Washington, Julio.

BANCO MUNDIAL (1989): "Argentina Energy Sector Study", Report Number 7993 AR, Washington.

BANCO MUNDIAL (1991): "Price Prospects for Major Primary Commodities, 1990-2005", Washington, Agosto.

BERNDT, E.R. y WOOD, D.O. (1975): "Technology, Prices and the Derived Demand for Energy", Review of Economics and Statistics, LVII, págs. 259-268.

CEPAL (1991): "Proyecto Revisión de las Cuentas Nacionales y de la Distribución del Ingreso", Buenos Aires.

CHRISTENSEN, L.A., JORGENSEN, D.W. y LAU, L.(1975): "Trascendental Logarithmic Production Frontiers", Review of Economic and Statistics, LV, págs.28-45.

CHRISTENSEN, L.A. y JORGENSEN, D.W. (1970): "US Real Product and Real Factor Input", The Review of Income and Wealth, 16, págs.19-50.

DIEWERT, W.E. (1971): "An Application of the Shephard Duality Theorem: A Generalized Leontief Production Function", Journal of Political Economy, 70, págs.481-507.

DIEWERT, W.E. (1976): "Exact and Superlative Index Numbers", Journal of Econometrics, 4, págs.115-145.

FONDO MONETARIO INTERNACIONAL (1989): "World Economic Outlook", Washington, April.

FUSS, M.E. (1977a): "The Demand for Energy in Canadian Manufacturing", *Journal of Econometrics*, 5, págs. 89-116.

FUSS, M.E., HYNDMAN, R. y WAVERMAN, L. (1977b): "Residential, Commercial and Industrial Demand for Energy in Canada: Projections to 1985 with Three Alternative Models", en 'International Studies of the Demand for Energy' editado por W.D.Nordhaus, North Holland, Amsterdam.

HALVORSEN, Robert (1977): "Energy Substitution in US Manufacturing", *The Review of Economics and Statistics*, LIX, págs. 381-388.

INDEC (1990) y anteriores: "Boletín Estadístico Trimestral", Buenos Aires.

KMENTA, Jan (1977): "Elementos de Econometría", Vicens Universidad, Barcelona.

MAGNUS, J.A.y WOODLAND, A.D.(1987): "Inter fuel substitution in Dutch manufacturing", *Applied Economics*, 19, págs. 1639-1664.

NGUYEN, Hong V.(1987): "Energy elasticities under Divisia and Btu aggregation", *Energy Economics*, págs. 210-214.

PINDYCK, Robert S.(1979): "The Structure of World Energy Demand", The MIT Press, Cambridge.

SECRETARIA DE ENERGIA (1990)y anteriores:"Balance Energético Argentino", Buenos Aires.

SAICHEUA, Supavud (1987): "Input substitution in Thailand's manufacturing sector. Implications for energy policy", *Energy Economics*, págs. 55-63.

VARIAN, Hal (1992): "Análisis Microeconómico", Antoni Bosch, Barcelona.

LA DEMANDA INDUSTRIAL DE ENERGIA. UNA ESTIMACION INTEGRAL POR ETAPAS

RESUMEN

Este trabajo examina algunos aspectos económicos importantes del consumo industrial de energía en Argentina. Para ello emplea una función de costos translogarítmica que no impone limitaciones sobre las características de la tecnología sino que las contrasta empíricamente, utiliza datos temporales agregados para todo el sector y realiza la estimación por etapas. En la primera obtiene la demanda industrial de productos energéticos bajo los supuestos convencionales de optimización y calcula un precio agregado de la energía que emplea en la segunda para estimar las demandas de insumos primarios. En ambos casos comprueba que las funciones de agregación subyacentes parecen exhibir las propiedades cualitativas que caracterizan a las relaciones de producción bien comportadas. Con esos resultados examina luego la respuesta de la demanda de productos energéticos a cambios en sus precios, el impacto que éstos provocan en los costos de producción, los efectos de escala y la relación entre consumo de energía y nivel de actividad. Finalmente, agregando pronósticos sobre el comportamiento de precios de insumos y producción industrial, proyecta la demanda de productos energéticos.

THE DEMAND FOR ENERGY IN MANUFACTURING. AN INTEGRAL TWO STAGE APPROACH

SUMMARY

This papers analyses some important economic features of the industrial demand for energy in Argentina. The model employs a translog cost function which does not impose arbitrary a priori restrictions on the underlying structure of production, uses aggregate time series data, and a two stage optimization procedure is applied. In the first stage, the derived demand for energy components assuming usual optimization behavior is estimated. Then, an aggregate price index of the separable energy factors is obtained and employed for the estimation of the derived demand of primary inputs in the second stage. In both cases, statistical tests show that aggregation functions are well behaved. The results are then applied to the analysis of the demand for energy and primary inputs obtaining price elasticities, returns to scale, and average costs and energy product elasticities. Finally, combining the estimated parameters of the model with inputs prices and industrial production forecasts, energy consumption is projected.