



# **DIVERSIFICACIÓN Y SUSTITUCIÓN DE INSUMOS ENERGÉTICOS EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA EN CHILE**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE  
MAGÍSTER EN ANÁLISIS ECONÓMICO**

**Alumno: Camila Carrasco Donoso  
Profesor Guía: José Miguel Benavente Hormazábal**

**Santiago, Abril 2016**

UNIVERSIDAD DE CHILE  
Facultad de Economía y Negocios

DIVERSIFICACIÓN Y SUBSTITUCIÓN DE INSUMOS  
ENERGÉTICOS EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA  
EN CHILE

Resumen

Utilizando datos a nivel de establecimiento de la industria manufacturera chilena para el periodo 1995-2007, se realiza una extensiva caracterización de los diferentes patrones de consumo energético y su evolución en el tiempo. Asimismo, se analiza el grado de diversificación energética por sector económico y la frecuencia con que las empresas cambian de patrón a lo largo del periodo analizado. Enseguida, se estiman las elasticidades precio y sustitución de los diferentes insumos energéticos en el corto y largo plazo encontrando que todos presentan algún grado de sustitución. Para esto, se estimó el sistema de ecuaciones de demandas condicionales de los insumos energéticos a través de un modelo logit lineal mediante un sistema de ecuaciones aparentemente no relacionadas (SURE).

## Índice

1	Introducción .....	6
2	Antecedentes generales del sector energético .....	9
2.1	Generación por tipo de energía.....	12
2.2	Costos y Precios del Sistema Eléctrico.....	16
2.3	Consumo energético.....	19
3	Revisión de la literatura .....	23
3.1	El rol de la tecnología de producción .....	24
4	Estimación de las elasticidades.....	28
4.1	Especificación dinámica del modelo <i>logit</i> lineal.....	29
5	Datos y estadística descriptiva.....	36
5.1	Participación en el gasto de energía .....	45
5.2	Agrupación de los combustibles.....	48
5.3	Precio de insumos energéticos .....	50
6	Flexibilidad en consumo energético y diversificación .....	55
6.1	Cambio de patrón de consumo .....	56
6.2	Variación en el número de combustibles .....	58
6.3	Índice de diversificación energética.....	63
7	Elasticidades de demanda y sustitución .....	68
8	Comentarios Finales .....	74
	Bibliografía.....	78
	Anexos.....	85
	Anexo 1: Estructura y propiedad en subsectores energéticos.....	85
	Anexo 2: Normativa del sector eléctrico y agenda energética .....	88
	Anexo 3: Efectos de un shock energético .....	93
	Anexo 4: Principales patrones de consumo de energía según sector .....	98

## Gráficos

Gráfico 1: Generación mensual por fuente, SING.....	12
Gráfico 2: Generación mensual por fuente, SIC.....	13
Gráfico 3: Energía promedio almacenada mensual, SIC .....	14
Gráfico 4: Márgenes de reserva según sistema.....	15
Gráfico 5: Generación anual por fuente, ambos sistemas.....	16
Gráfico 6: Evolución costo marginal energía.....	17
Gráfico 7: Evolución precio medio de mercado.....	18
Gráfico 8: Evolución consumo bruto energía .....	19
Gráfico 9: Intensidad energética del PIB .....	20
Gráfico 10: Relación entre PIB y consumo de energía per cápita.....	21
Gráfico 11: Número de firmas totales por año .....	38
Gráfico 12: Distribución anual de firmas según tamaño.....	40
Gráfico 13: Porcentaje anual de firmas que consumen cada insumo .....	40
Gráfico 14: Principales patrones de consumo de combustibles .....	42
Gráfico 15: Consumo exclusivo de electricidad .....	43
Gráfico 16: Principales patrones de consumo de combustibles .....	43
Gráfico 17: Consumo exclusivo de electricidad según sector .....	45
Gráfico 18: Participación en el gasto de energía según patrón .....	46
Gráfico 19: Distribución anual de consumo energético .....	50
Gráfico 20: Dispersión precio combustibles por sector.....	52
Gráfico 21: Firmas que cambian al menos una vez de patrón.....	56
Gráfico 22: Firmas que cambian de patrón según edad.....	57
Gráfico 23: Distribución del total de firmas según cambio de patrón.....	58
Gráfico 24: Variación número de combustibles al cambiar de patrón .....	58
Gráfico 25: Variación número de combustibles al cambiar de patrón .....	59
Gráfico 26: Cambios de patrón y número de patrón según tamaño .....	62
Gráfico 27: Evolución diversificación energética y N° de combustibles ..	64
Gráfico 28: Box plot diversificación energética por año.....	65
Gráfico 29: Histograma diversificación energética .....	65
Gráfico 30: Evolución intrasectorial Índice Diversificación Energética...	66
Gráfico 31: Evolución Índice Diversificación Energética según tamaño ..	67

## Cuadros

Cuadro 1: Capacidad Instalada Generación según Sistema.....	10
Cuadro 2: Centrales en construcción según sistema .....	10
Cuadro 3: Proyectos aprobados de generación en SIC y SING .....	11
Cuadro 4: Ficha técnica de la Encuesta Nacional Industrial Anual.....	37
Cuadro 5: Participación regional del número de firmas.....	38
Cuadro 6: Participación sectorial del número de firmas.....	39
Cuadro 7: Gasto e intensidad energética según patrón.....	47
Cuadro 8: Gasto energético según sector e intensidad energética.....	48
Cuadro 9: Distribución anual de consumo energético.....	49
Cuadro 10: Precio promedio y unidad de medida de combustibles .....	51
Cuadro 11: Correlación precios de insumos energéticos.....	52
Cuadro 12: Densidades y poderes caloríficos.....	53
Cuadro 13: Participación en consumo energético según teracalorías.....	54
Cuadro 14: Número de combustibles utilizados (incluye electricidad) ...	55
Cuadro 15: Características firmas que cambian de patrón según sector.	59
Cuadro 16: Número de cambios y patrones diferentes según sector.....	60
Cuadro 17: Variación N° combustibles según sector.....	61
Cuadro 18: Características de firmas según tamaño.....	61
Cuadro 19: Variación N° combustibles según tamaño.....	62
Cuadro 20: Estimación demandas insumos energéticos Modelo SURE...	69
Cuadro 21: Elasticidades propias y cruzadas de Corto y Largo Plazo....	72
Cuadro 22: Elasticidades de sustitución de Corto y Largo Plazo.....	73

# 1 Introducción

En los últimos años la economía chilena ha mostrado una significativa desaceleración en el crecimiento de su productividad. A pesar de que ésta es considerada crucial para el desarrollo del país debido al efecto que tiene en el crecimiento de la economía, no existe consenso respecto a las causas del fenómeno de estancamiento presentado en los últimos 25 años y cómo podría el país renovar su modelo de competitividad para incorporar nuevas fuentes de productividad. Dentro de las distintas hipótesis, se encuentran por un lado la escasa flexibilidad laboral, la baja participación laboral de mujeres y jóvenes y el capital humano insuficiente, donde la educación y capacitación de nuestros trabajadores es significativamente menor a lo que debería tener un país de ingreso medio alto como Chile (Larraín y Schmidt-Hebbel, 2006, Fuentes, 2011).

Por otro lado, los expertos aluden que la alta concentración y poca competencia en los mercados pueden ser preponderantes<sup>1</sup> o que la excesiva regulación en algunos sectores de la economía limita su dinamismo y afecta el proceso de creación de riqueza. Por último, hay quienes argumentan que para aumentar la productividad en el largo plazo se debe aumentar el nivel de innovación y fortalecer la institucionalidad existente para una mayor difusión de las mejores prácticas, señalando que Chile debiese centrarse en agregar valor, diversificar su economía y no depender exclusivamente de la abundancia de recursos naturales para crecer.

Pero, ¿qué pasa con el rol de la energía? En la actualidad, ha quedado en evidencia que Chile presenta altos costos energéticos en comparación no sólo con los países desarrollados (Electricity Information IEA, 2014), sino que también con sus vecinos latinoamericanos (Informe de Estadísticas Energéticas, OLADE, 2014). Chile, al ser un país importador de recursos energéticos (60% promedio de la energía consumida proviene de fuentes externas), debe tomar

---

<sup>1</sup> Si bien Chile sigue siendo la economía más competitiva de América Latina (Ranking 2015-2016 de Competitividad, Foro Económico Mundial), es el país con mayor concentración económica de la región (lugar 129 de 140 países).

medidas que impidan que los costos de la energía sigan incrementándose y vulneren con esto su seguridad energética, afectando el bienestar social y la competitividad del país, especialmente considerando la escasa diversificación de su matriz energética (Speiser, 2008).

Combatir los altos costos energéticos constituye uno de los mayores desafíos que tiene Chile en el mediano y largo plazo. Especialmente, si se tiene en cuenta el desarrollo sostenido que ha mostrado su economía en los últimos años, traduciéndose entre otras cosas, en una creciente demanda energética. Luego, es necesario implementar una política de seguridad energética que fomente la producción interna de nuevas fuentes de energía, fortalezca las relaciones comerciales con tal de mantener un suministro confiable e incentive un uso más eficiente de la energía<sup>2</sup>.

Los estudios enfocados en el rol que tiene la energía en la economía no son nuevos, sin embargo, se han concentrado principalmente en economías desarrolladas. Para el caso chileno, se puede ver un creciente interés por parte de los académicos e investigadores en los últimos años, donde destacan los trabajos de Echavarría, Jervis y Soto (2008), O`Ryan, de Miguel, Pereira y Lagos (2008), Pincheira y García (2007), Pedersen y Ricaurte (2013), entre otros. Si bien, hasta ahora estos estudios han contribuido significativamente a entender los mecanismos de transmisión de un shock en el precio energético, y a cuantificar el impacto a nivel macroeconómico, la evidencia a nivel microeconómico es aún muy reducida, destacando el trabajo de Álvarez, García y García (2008) para la industria manufacturera.

El principal objetivo de este trabajo es contribuir a la evidencia microeconómica existente, analizando en particular la substitución de los diversos insumos energéticos con datos a nivel desagregado y a nivel de sectores económicos,

---

<sup>2</sup> La seguridad energética se refiere a la disponibilidad ininterrumpida de las fuentes energéticas a un precio accesible (IEA, 2001), donde la continuidad de la oferta energética depende de la capacidad del sistema de cumplir con la potencia agregada y los requerimientos energéticos de los consumidores en todo momento y de la capacidad de hacer frente a shocks o cambios repentinos (Department of Energy and Climate Change, 2009).

constituyendo el único estudio en el país de este tipo. En particular, se comprueba que las firmas cambian de manera frecuente sus patrones de consumo energético, ya sea cambiando su *mix* de combustibles o la participación relativa de los mismos dentro de una misma canasta energética<sup>3</sup>. Tal flexibilidad constituye la base para justificar la inversión en nuevas tecnologías que contribuyan no solo a que las firmas puedan mantener su producción ante *shocks* energéticos, sino que también a aumentar la seguridad energética de la matriz productiva nacional a través de una mayor diversificación de la demanda. Para estos fines, se utilizó una completa base, que comprende datos de panel a nivel de establecimiento manufacturero durante el periodo 1995-2007 de la Encuesta Nacional Industrial (ENIA).

La estructura del trabajo es la siguiente: tras esta breve introducción, en la segunda sección se presentan las principales características del sector energético en nuestro país, y luego en la tercera sección se hace una revisión de la literatura. En la cuarta sección se describe la metodología utilizada para la estimación de las elasticidades de demanda y las elasticidades de sustitución de los insumos energéticos para el corto y largo plazo según patrón de consumo energético. En la quinta sección se analizan los datos y se muestra una breve estadística descriptiva; mientras que en la sexta sección se caracteriza el consumo energético, la flexibilidad y diversificación de los diferentes patrones de consumo. En la séptima sección se muestran los resultados del cálculo de las elasticidades y en la octava sección se exponen las conclusiones y comentarios finales que surgen a partir de este estudio.

---

<sup>3</sup> Considerando diferencias por sector económico, región geográfica, tamaño (según empleados) e intensidad energética de las firmas.



## 2 Antecedentes generales del sector energético

El sector energético en nuestro país se divide en tres grandes áreas según el tipo de actividad de que se trate: generación, transmisión y distribución. Hoy en día, la industria está constituida sólo por empresas privadas, limitándose el rol del Estado a uno de regulación y fiscalización, donde destaca la labor de la Comisión Nacional de Energía (CNE)<sup>4</sup>.

La oferta eléctrica se localiza territorialmente en varios sistemas eléctricos. Los dos principales son el SING (Sistema interconectado Norte Grande) que cubre la I, II y XV región y el SIC (Sistema interconectado Centro) que cubre desde la III a la X región, la XIV región y la Región Metropolitana. Además existen tres sistemas medianos: el de Aysén (XI región), Magallanes (XII región) y Los Lagos (X región) y por último, está el de la Isla de Pascua. Dado que el SING y el SIC representan más del 99% de la capacidad instalada y generación energética, el análisis que sigue se limitará sólo a estos dos sistemas.

Como se puede inferir del Cuadro 1, en el SING el 94,8% de la generación corresponde a energía térmica, mientras que en el SIC dicho porcentaje baja a 48,2% debido a la alta presencia de energía hidráulica (37,6%). En total, nuestra matriz energética está compuesta por un 58,9% de energía térmica y 41,1% corresponde a energía hidráulica u otras fuentes renovables, contabilizando 275 centrales con 1.147 unidades generadoras en total.

---

<sup>4</sup> Ver Anexo 1 para mayores antecedentes sobre la estructura y propiedad de las principales empresas generadoras, transmisoras y distribuidoras de energía.

**DIVERSIFICACIÓN Y SUBSTITUCIÓN DE INSUMOS ENERGÉTICOS**

**Cuadro 1: Capacidad Instalada Generación según Sistema**  
(Potencia neta (MW) y N° centrales del SING y SIC, información a enero 2016)

Tipo energía	SIC		SING		Total	
	[MW]	N° unidades	[MW]	N° unidades	[MW]	N° unidades
ERNC	2.296	456	253	46	2.549	502
Biogás	45	26			45	26
Biomasa	568	24			568	24
Mini Hidro. embalse	19	2			19	2
Mini Hidro. pasada	393	99	12	4	406	103
Solar	454	17	150	9	604	26
Eólica	816	288	90	33	906	321
Hidráulica	6.096	90	-	-	6.096	90
Hidráulica embalse	4.099	27			4.099	27
Hidráulica pasada	1.997	63			1.997	63
Térmicas	7.811	601	4.596	92	12.407	693
Carbón	2.514	14	2.100	13	4.613	27
Cogeneración	74	1	18	1	92	2
Diesel	2.373	565	317	63	2.690	628
Gas/Diesel	2.851	21	2.161	15	5.012	36
Total general	16.203	1.147	4.848	138	21.051	1.285

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Comisión Nacional de Energía.

Nota: las pequeñas hidroeléctricas (centrales hasta 20 MW) se clasifican como ERNC.

Actualmente existen 71 proyectos de generación en construcción tanto en el SIC como en el SING, los cuales suman en total una potencia de 4.818 MW:

**Cuadro 2: Centrales en construcción según sistema**  
(Potencia neta (MW) y N° centrales del SING y SIC, información a enero 2016)

Tipo de energía	SIC		SING		Total	
	[MW]	N° unidades	[MW]	N° unidades	[MW]	N° unidades
Carbón			847	3	847	3
Ciclo Combinado			517	1	517	1
Eólica	128	2	112	1	240	3
Geotérmica			48	1	48	1
Hidráulica	599	11			599	11
Solar	1.391	25	1.057	23	2.448	48
Térmica	120	4			120	4
Total general	2.237	42	2.581	29	4.818	71

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Comisión Nacional de Energía.

## DIVERSIFICACIÓN Y SUBSTITUCIÓN DE INSUMOS ENERGÉTICOS

De los 71 proyectos que se encuentran en construcción, 63 de ellos se terminarán en lo que queda del 2016 (78,6% de la potencia neta total en construcción), 6 se terminarán en el 2017 (8,0% de la potencia) y 2 en el 2018 (13,3% de la potencia).

Por último, destaca que hay 507 proyectos de generación actualmente en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), de los cuales 417 ya se encuentran aprobados. Respecto a los proyectos aprobados, se aprecia en el Cuadro 3 que representan en conjunto una potencia de 46.159 MW y equivalen a una inversión de MMUS\$100.629. Llama la atención que el 43,8% de la potencia de estos proyectos provendrá de energía eólica y solar, lo cual constituirá un cambio significativo en nuestra matriz energética en los próximos años a medida que comiencen a funcionar.

Cuadro 3: Proyectos aprobados de generación en SIC y SING  
(Potencia neta (MW), Inversión (MMUS\$) y N° de proyectos (N°), a enero 2016)

Tipo de energía	SIC			SING			Total		
	MMUS	MW	N°	MMUS	MW	N°	MMUS	MW	N°
Biogás	76	28	2				76	28	2
Biomasa	720	370	16				720	370	16
Solar	13.620	5.430	70	22.908	6.940	79	36.528	12.370	149
Eólica	11.895	5.765	63	4.099	2.074	12	15.994	7.839	75
Embalse	1.233	956	2				1.233	956	2
Hidráulica	3.980	2.233	93	385	300	1	4.365	2.533	94
Carbón	10.031	5.236	9	3.500	1.770	4	13.531	7.006	13
Cogeneración	480	657	4				480	657	4
Diesel	5.414	1.612	39	340	207	9	5.754	1.820	48
Fuel Oil N° 6	86	80	2	302	216	4	388	296	6
Pet.IFO 180	42	97	2				42	97	2
Gas	27	60	1				27	60	1
Geotérmica	330	70	1	180	50	1	510	120	2
GNL	110	240	1	1.158	1.300	2	1.268	1.540	3
Total general	48.042	30.834	388	37.026	15.325	119	100.629	46.159	417

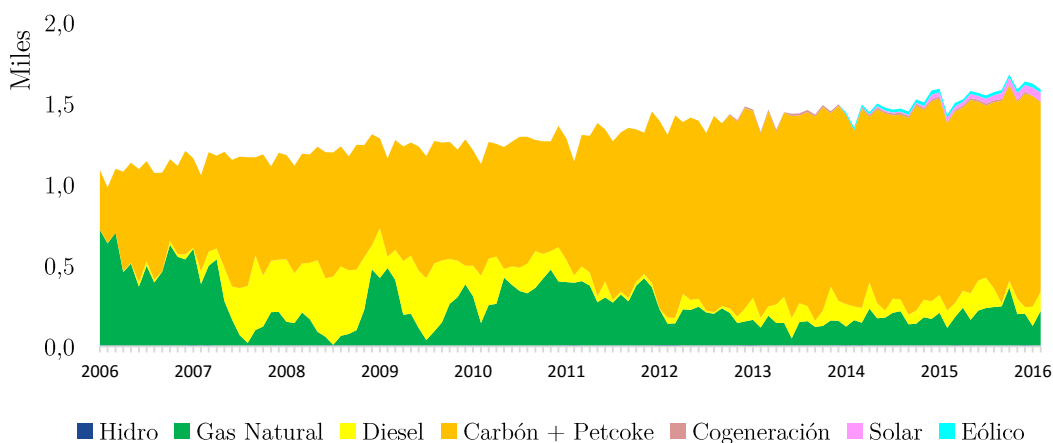
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Systepl.

## 2.1 Generación por tipo de energía

En los últimos años, la diversificación de la generación ha ido variando significativamente según las fluctuaciones en los costos de producción de los diferentes tipos de tecnología. Los organismos encargados de coordinar y determinar la operación de las diferentes generadoras y transmisoras son los Centros de Despacho Económico de Carga (CDEC), existiendo uno para cada sistema interconectado: CDEC-SING y CDEC-SIC. Dichas instituciones tienen como objetivo mantener la seguridad del sistema, garantizar la operación más económica y garantizar el derecho a servidumbre sobre los sistemas de transmisión establecidos mediante decreto de concesión eléctrica.

Para el caso del SING, el cual es principalmente termoelectrónico, el despacho de las unidades generadoras se realiza según una programación semanal, que considera la seguridad del servicio, la previsión de demanda, los costos de mantenimiento, las limitaciones técnicas y los costos variables, con tal de minimizar el costo total de abastecimiento. Asimismo, se determina mensualmente un programa de abastecimiento a 12 meses.

Gráfico 1: Generación mensual por fuente, SING  
(Miles de GWh, Enero 2006-Feb 2016)

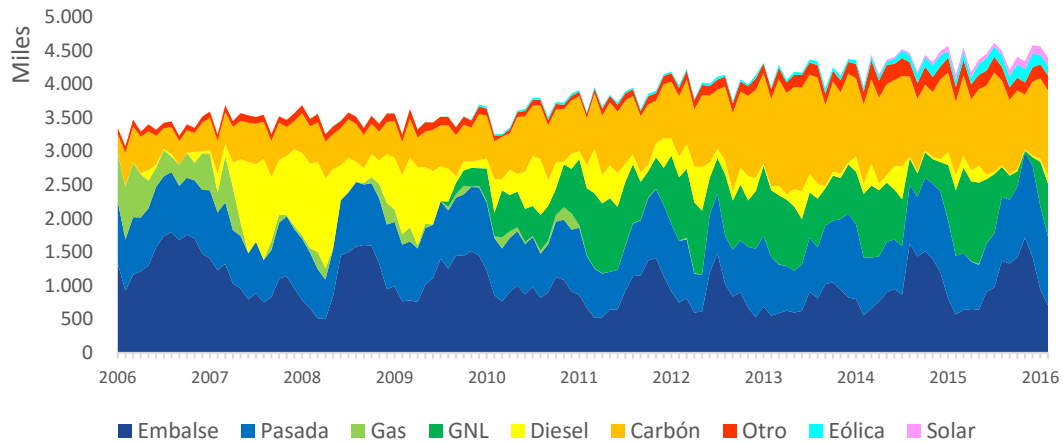


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SysteP.

En el caso del SIC, donde existe un porcentaje significativo de energía hidráulica, cada empresa productora debe estar en condiciones de satisfacer cada año su demanda energética bajo condiciones de hidrología seca en sus centrales hidroeléctricas y considerando su disponibilidad promedio en unidades térmicas.

Luego, el criterio de optimización que tiene este sistema consiste en minimizar el costo global actualizado de operación y falla. Dado que el volumen de agua almacenada en el Lago Laja determina gran parte del costo marginal del SIC, se debe modelar su regulación de forma interanual de manera separada. Dicho lago tiene gran importancia ya que permite almacenar agua a futuro<sup>5</sup>.

Gráfico 2: Generación mensual por fuente, SIC  
(Miles de GWh, Enero 2006-Mayo 2015)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Systepl.

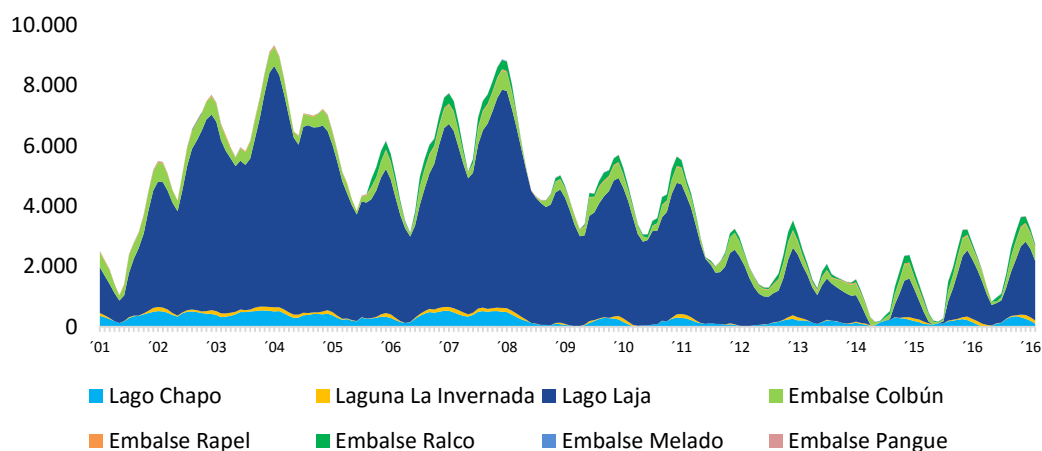
Tal como se aprecia en el Gráfico 3, la disponibilidad hídrica ha empeorado en los últimos años. La mayor sequía reciente y los menores deshielos, han

---

<sup>5</sup> Para mayor información acerca de la estructura, funcionamiento y financiamiento de los Centros de Despacho Económico de Carga determinados por el Decreto Supremo N. 291(y su posterior modificación por el Decreto Supremo N.115) se recomienda ver los Informes Trimestrales de cada centro.  
<http://www.cdecsic.cl/sobre-cdec-sic/directorio/informes/>  
[http://cdec2.cdec-sing.cl/pls/portal/cdec.pck\\_web\\_cdec\\_pages.pagina?p\\_id=5029](http://cdec2.cdec-sing.cl/pls/portal/cdec.pck_web_cdec_pages.pagina?p_id=5029)

llevado a que los costos del sistema se eleven de forma significativa al subir los precios de las licitaciones en los últimos años. Si bien la mayor disponibilidad de gas natural ha evitado que en el corto y mediano plazo se deba compensar con diésel (de los insumos más costosos), es una situación compleja en el futuro.

Gráfico 3: Energía promedio almacenada mensual, SIC  
(GWh, Enero 2000-Feb 2016)



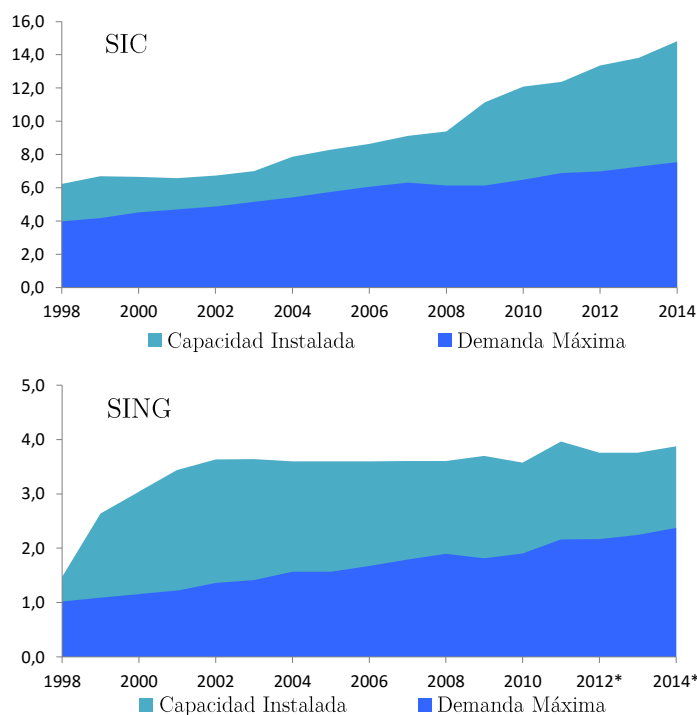
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Systepl.

Sin embargo, si se revisa en el Gráfico 4 el margen de reserva, es decir la capacidad en exceso instalada del sistema eléctrico (diferencia entre la capacidad instalada y la demanda máxima), se ve que en el SIC éste ha ido en aumento pero en el SING ha ido cayendo.

El margen de reserva es un indicador clave, ya que refleja la seguridad energética del sistema ante la salida de centrales por mantención o falla. La existencia de caídas significativas prolongadas en un sistema puede constituir una señal de alerta de que se necesita una mayor inversión con tal de aumentar la capacidad instalada<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> El margen de reserva refleja la disponibilidad anual en porcentaje de las unidades más económicas para suministrar potencia adicional durante las horas de demanda máxima anual del sistema eléctrico.

Gráfico 4: Márgenes de reserva según sistema  
(Capacidad Instalada y Demanda Máxima Anual en miles de MW, 1998-2014)



Elaboración propia a partir de datos de la Comisión Nacional de Energía.

\* No se considera en la capacidad instalada del SING la central Salta.

Cabe destacar, que hubo un fuerte aumento de la generación térmica desde mediados de los 2000, especialmente de carbón, el cual pasó de 5.598 GWh el 2005 a 28.363 GWh el 2014. También llama la atención la evolución de la generación del gas natural, el cual tenía una participación relevante a partir de 1999 pero que fue disminuyendo de forma abrupta tras el año 2006. En particular, en su año *peak*, la generación de gas natural alcanzó los 17.508 GWh el 2004, mientras que la generación el 2014 fue de 2.018 GWh. Por último, si bien

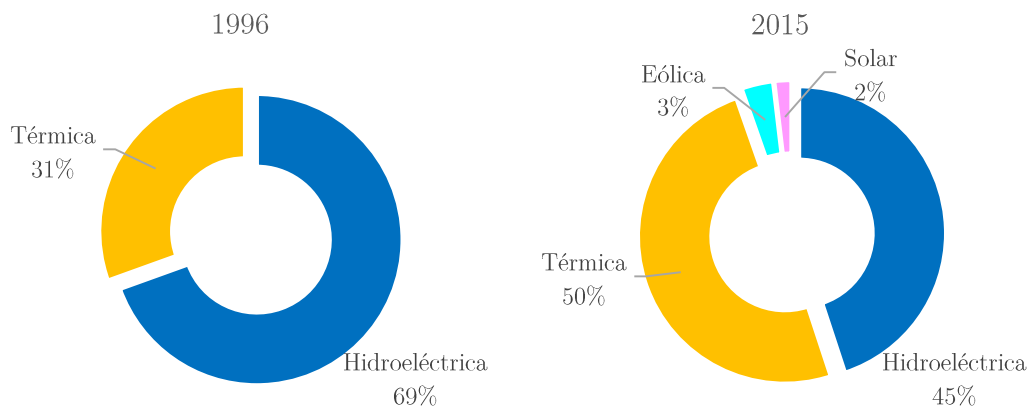
---

Para saber cuánto incrementar la capacidad instalada, se calcula el margen de reserva teórico, el cual está relacionado a la suficiencia del sistema. Éste corresponde a un sobre equipamiento del parque de generación, que debe existir para que el sistema eléctrico pueda abastecer la demanda según los estándares de calidad y seguridad establecidos, ante cualquier eventualidad que se presente.

hubo aumento en la producción de petróleo diesel el año 2007, éste fue disminuyendo paulatinamente desde el 2008 hasta la fecha, pasando de 13.076 GWh a 2.542 GWh entre el 2008 y el 2014.

Por último, se muestra en el Gráfico 5 la comparación de la composición de la generación para el total del SING y el SIC en los años 1996 y 2015. En dicho periodo, la generación aumentó un 31,4%. En términos generales, la generación térmica ha ido sustituyendo a la energía hidroeléctrica, al mismo tiempo que han surgido nuevas fuentes renovables como la eólica y la solar, pero que aún representan un bajo porcentaje del total (5%).

Gráfico 5: Generación anual por fuente, ambos sistemas  
(GWh, 1996 vs. 2015)



Fuente: Elaboración propia a partir de balances energéticos datos de Systepl.

## 2.2 Costos y Precios del Sistema Eléctrico

En la actualidad, tal como se mencionó en la introducción de este trabajo, Chile es considerado como uno de los países con mayores costos energéticos del

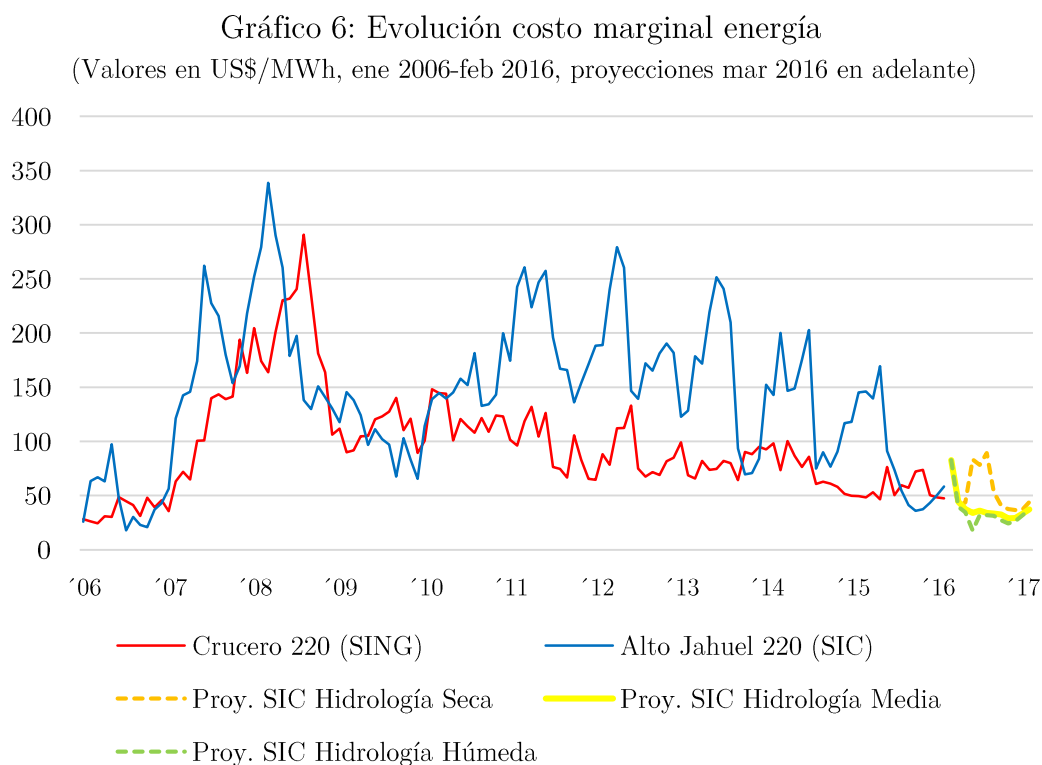


## DIVERSIFICACIÓN Y SUBSTITUCIÓN DE INSUMOS ENERGÉTICOS

mundo, por lo cual gran parte de la discusión se ha centrado en cómo mejorar la competitividad y eficiencia del sector.

Desde enero del 2006 hasta el *peak* en el año 2008, el costo en el SIC aumentó más de 13 veces (a marzo 2008) y en el SING más de 10 veces (a agosto 2008), lo cual puede haber afectado negativamente la productividad de las empresas, especialmente aquellas cuya demanda es más inelástica, es decir, que tienen un menor grado de sustitución por otras fuentes de energía más baratas o que simplemente no pueden reducir su consumo de energía por unidad producida.

Revisando la evolución de los costos marginales (valorización de la producción de la última unidad de energía ingresada al sistema), se aprecia lo siguiente:



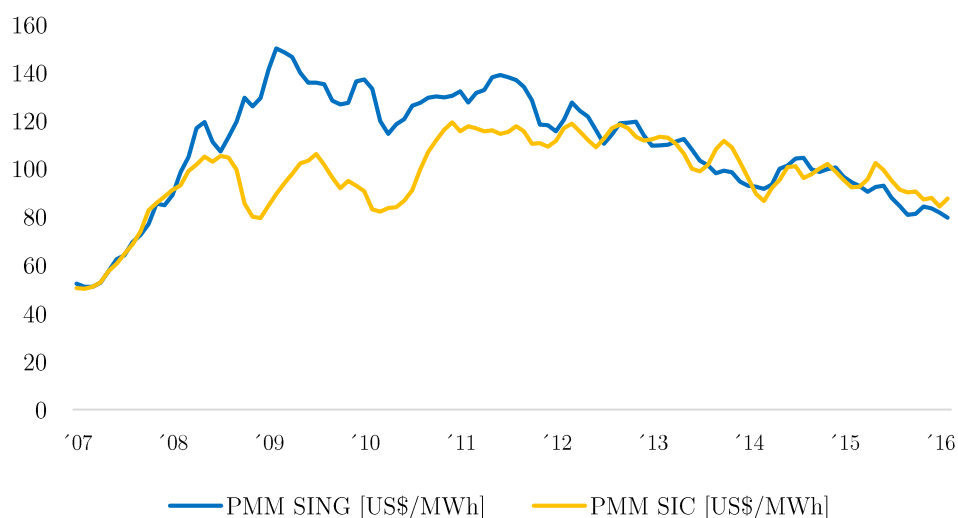
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Systeem.

\*Proyecciones del costo marginal del SIC según tipo de hidrología pertenece al CDEC-SIC.

Por otro lado, si se observa la evolución de los precios medios de mercado (PMM), se ve que éstos han vuelto a converger, luego que a finales del 2008 el PMM del SING se elevara de forma considerable. Dicho precio, constituye el cociente entre lo pagado por los clientes libres a las generadoras por suministro y la energía demandada en dicho período, siendo considerado como el precio equivalente de suministro<sup>7</sup>.

El PMM se determina con los precios medios de los contratos informados por las empresas generadoras a la Comisión Nacional de Energía (CNE), y se utiliza para la indexación del precio de nudo de la energía del SIC y el SING respectivamente. El precio de nudo es el precio máximo aplicable al suministro de electricidad de clientes regulados (considerando el costo de generación y transmisión) y es fijado por el Ministerio de Energía semestralmente mediante un decreto publicado en el Diario Oficial.

Gráfico 7: Evolución precio medio de mercado  
(Valores en US\$/MWh, ene 2007-feb 2016)



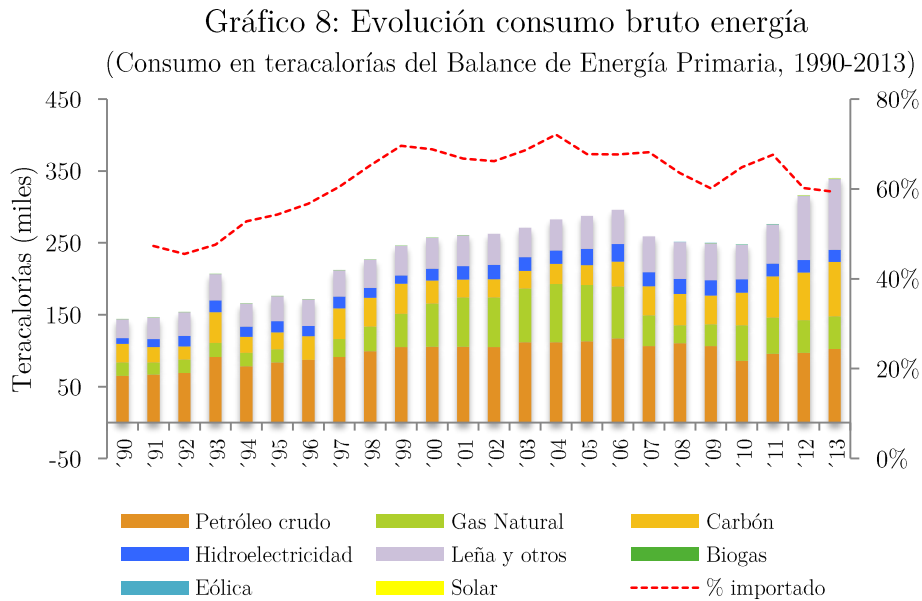
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Systeop.

<sup>7</sup> Si bien, el PMM no corresponde al precio pagado por el usuario final, constituye una parte importante del mismo, y se puede considerar como un proxy adecuado.

### 2.3 Consumo energético

Por último, en el Gráfico 8 se analiza la evolución por el lado de la demanda, donde se aprecia que ésta ha ido creciendo sostenidamente en el tiempo. En particular, en el año 1990 el consumo era de 144.075 teracalorías, mientras que en el año 2013 el consumo alcanzó las 339.527 teracalorías, es decir, la demanda energética se ha más que duplicado en las últimas dos décadas. En promedio, se aprecia que la demanda física crece a una tasa de 3,8% anual.

Cabe destacar, que la dependencia al petróleo ha ido disminuyendo a lo largo de los años, ya que éste representaba un 45,0% del consumo total, mientras que en el año 2013 tal cifra bajó a 30,1%, lo que ha favorecido a la diversificación de la matriz. Sin embargo, el porcentaje del consumo que viene de fuentes importadas ha aumentado (de 47,3% en el año 1991 a 59,3% en el año 2013), lo cual puede significar eventualmente una amenaza para nuestra seguridad energética.



Fuente:

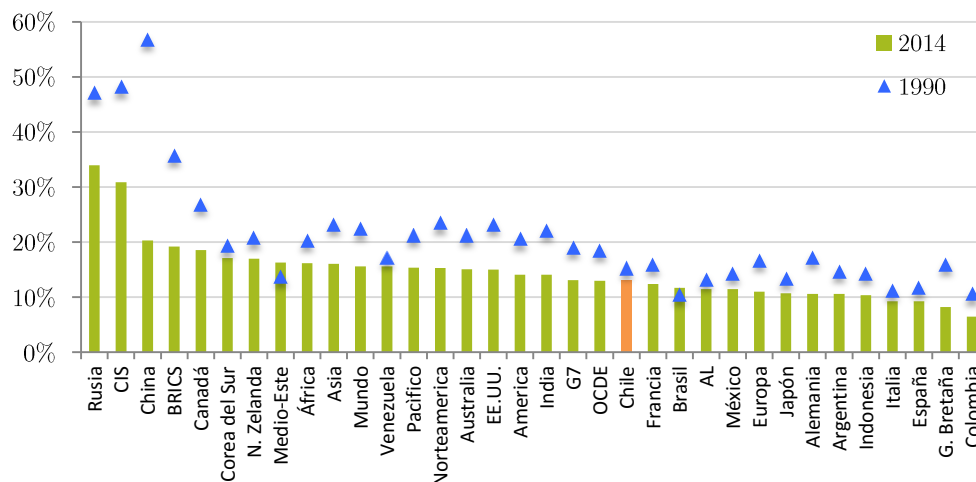
Elaboración propia a partir de los Balances Energéticos del Ministerio de Energía.

En general, los países han tendido a disminuir su intensidad energética en los últimos años, ya sea por avances en una mayor eficiencia energética o porque los sectores que más han crecido son aquellos menos intensivos en energía (Gráfico 9).

Un caso interesante es el de China, país que ha implementado diversos planes para reducir su consumo energético, lo que ha tenido como resultado un consumo actual equivalente a un tercio del consumo del año 1990. Por último, llama la atención la aparente convergencia de los países en relación a su consumo energético.

Gráfico 9: Intensidad energética del PIB

(kg. de equivalente de petróleo/ PIB corregido PPP precios 2005, 1990 vs 2014)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de ENERDATA.

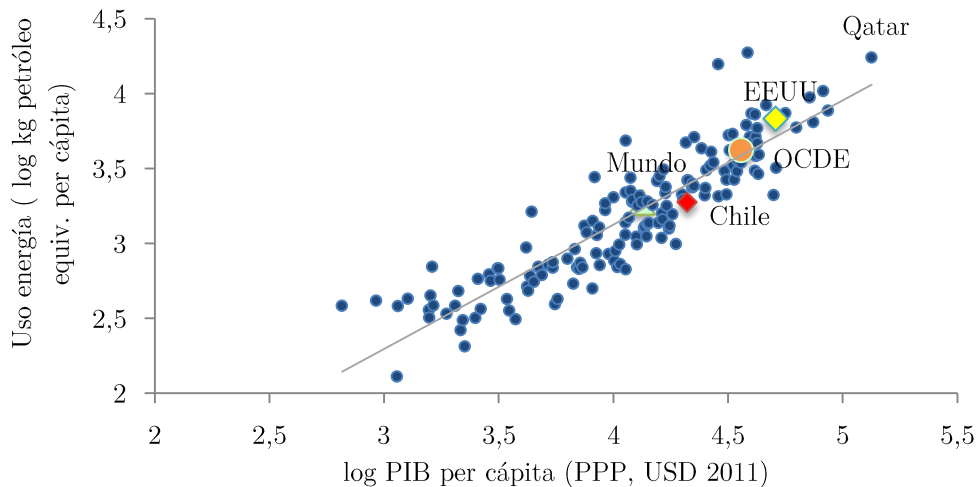
La evidencia anterior, va en línea con lo encontrado en Jacob, Haller y Marschinski (2011), quienes evalúan la convergencia en el uso energético para el periodo 1971-2005. Entre sus resultados, destacan que para un país en desarrollo promedio, el proceso de catch-up económico ha estado acompañado por una convergencia hacia el promedio global de uso energético, con lo cual, países

que convergen a niveles de ingreso similares también convergen a niveles similares de uso energético. Por otra parte, comprueban la hipótesis de que el crecimiento económico en países industrializados o desarrollados se ha desacoplado parcialmente del consumo energético, y que los países desarrollados con tasas más altas de crecimiento han experimentado mayores mejoras en su eficiencia energética.

Una manera complementaria para analizar las diferencias entre países en su consumo energético es ver la relación entre el PIB per cápita y el consumo de energía per cápita en un año determinado, tal como se presenta en el Gráfico 10.

De los datos se desprende que para los países de bajos ingresos e ingresos medios la dispersión es menor que para los países de ingresos más altos. También, es posible apreciar la presencia de valores extremos que tienen bajo consumo energético a pesar de su alto ingreso; mientras que otros países consumen mucha más energía que el promedio para su nivel de ingreso.

Gráfico 10: Relación entre PIB y consumo de energía per cápita (Año 2012, en logaritmo, línea gris corresponde a línea de tendencia lineal)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Banco Mundial.

Obs: debido a disponibilidad de datos, para algunos países los valores corresponden al año 2011.

Sin duda que una mayor eficiencia energética es clave para lograr un desarrollo sustentable en el futuro, ya que permite no sólo reducir los costos de producción, sino que también mejora la seguridad de suministro e independencia energética, además de reducir las emisiones de carbono y otros gases con efecto invernadero<sup>8</sup>. Una gran cantidad de países se ha incorporado al llamado de preocuparse más por el medioambiente y a buscar soluciones para los múltiples desafíos energéticos que se presentan en las décadas futuras. Cualquier agenda energética debe partir con mejorar el marco regulatorio e incluir incentivos adecuados para que la matriz se siga diversificando y se siga reduciendo la dependencia energética. Chile ha ido perfeccionando la normativa del sector eléctrico en las últimas décadas en esta dirección, pero recién en los últimos años las autoridades han delimitado una agenda energética más concreta (Ver Anexo 2).

---

<sup>8</sup> Ver IEA (2014).

### 3 Revisión de la literatura

En las últimas décadas el número de trabajos que han estudiado la relación entre la energía y la actividad económica ha crecido significativamente. La alta volatilidad, la inelasticidad en su demanda y su impacto potencial en el producto, inversión, empleo e inflación son uno de los tantos factores que explican el gran interés en este insumo productivo. Sin embargo, los principales modelos económicos que explican el proceso de crecimiento no incluyen a la energía como un factor que pudiese restringir o incentivar el crecimiento económico (Aghion y Howitt, 2009).

Lo que si pareciera llamar la atención de los economistas es el impacto que tienen los precios del petróleo en la actividad económica en el corto plazo. Efectivamente, desde la década de los setenta, diversos estudios se han dedicado a estimar los efectos que tienen los shocks energéticos tanto a nivel macro (Hamilton, 1983; Rotemberg y Pindyck, 1984; Barsky y Kilian, 2004) como a nivel microeconómico (Berndt y Wood, 1975; Pindyck, 1977; Berndt et al, 1991), encontrando en la mayoría una relación negativa entre los shocks energéticos y la actividad económica y/o productividad<sup>9</sup>.

A diferencia de los trabajos anteriores, el principal objetivo y aporte de esta investigación es estudiar la importancia que tiene la diversificación energética en las firmas y la factibilidad de sustitución entre insumos energéticos, ya sea para hacer frente a los shocks energéticos, aumentar la eficiencia energética y/o incrementar la seguridad de suministro, y su impacto en la productividad. Para esto, es necesario revisar la literatura relacionada a la tecnología de producción y a las elasticidades de demanda entre insumos energéticos.

---

<sup>9</sup> Para un análisis de los efectos macro y microeconómicos de los shocks energéticos revisar el Anexo 3.

### 3.1 El rol de la tecnología de producción

En los últimos años, del total de trabajos de investigación que incluyen a la energía en su función de producción, cerca del 35-40% no incorpora los efectos que tiene el progreso tecnológico (Broadstock, 2007), siendo que éstos pueden cambiar significativamente el valor de las elasticidades de sustitución entre la energía y el capital, y con esto el impacto que tiene un shock energético sobre la productividad (Koetse, 2008). Es más, tal como lo expone Stern (2010), es necesario considerar aquellos factores que afectan la relación entre el uso energético y la actividad económica a lo largo del tiempo como la sustitución entre la energía y los otros insumos dada la tecnología existente, los avances tecnológicos y los cambios en la composición de la energía y del producto, para poder estimar de forma adecuada el impacto económico de la energía.

Por ejemplo, en Popp (2002) señalan que es la mayor capacidad de las economías de utilizar tecnologías más eficientes energéticamente lo que provoca la diferencia entre las elasticidades de corto y largo plazo de la demanda energética. Y que son los precios de la energía uno de los determinantes de esta mayor innovación en nuevas tecnologías. Luego, este progreso en la eficiencia energética en las últimas décadas hace que sea indispensable considerar el *stock* de tecnologías y los avances en las mismas para analizar el efecto de un *shock* energético a nivel tanto agregado como a nivel de firma.

Por otra parte, la incorporación de nuevas tecnologías en la elaboración de los insumos productivos, en este caso el capital, puede afectar la naturaleza del cambio tecnológico y con esto, la sustitución entre la energía y el capital y la sustitución entre insumos energéticos. Es así, como el grado de complementariedad o sustitución entre el capital y la energía es de los aspectos más relevantes a considerar para establecer el mecanismo de ajuste al cual se ven enfrentadas las firmas ante un shock energético, el cual está a su vez determinado por la tecnología de producción. Un aspecto interesante a destacar de este proceso de cambio tecnológico inducido en el *stock* de capital de las firmas, es la mayor flexibilidad de los bienes de capital para utilizar diferentes combustibles



permitiendo una mayor substitución entre insumos energéticos y aumentando la diversificación energética de la firma.

Para determinar el rol que tiene la tecnología en la respuesta de la demanda energética frente a los cambios en los precios relativos, hay que considerar que la demanda energética puede entenderse como un proceso de dos etapas, donde las firmas deciden sobre la demanda energética total en un principio, y luego sobre el uso de los insumos energéticos (Cho *et al.*, 2004). En particular, la firma debe decidir las características del capital (maquinaria y equipos que utilizan energía) antes de que las condiciones de demanda sean completamente conocidas. Es decir, el productor se enfrenta a un *trade-off* al tener que escoger *ex-ante* el nivel óptimo de flexibilidad de la tecnología sin conocer el precio de los insumos, para alcanzar la mayor eficiencia *ex-post* dada las condiciones de mercado (Bousquet y Ladoux, 2004).

Una vez hecha la inversión, la firma no puede ajustar el tamaño del *stock* de capital pero puede escoger una baja tasa de uso de sus equipos y maquinarias si el precio del insumo es muy alto. La inversión en flexibilidad energética está sujeta por tanto, a la incertidumbre en los precios de los insumos energéticos y de su abastecimiento confiable, y a la incertidumbre de la demanda futura por sus productos.

Por ejemplo, Bjorner y Jensen (2002) observan que las firmas no cambian muy frecuentemente de un patrón de consumo de combustibles a otro, por lo cual asumen que están dados en el corto plazo. Sin embargo, Doms (1993) en un estudio empírico muestra que las firmas pueden cambiar rápidamente sus tecnologías energéticas y que una parte significativa de las tecnologías son flexibles, estableciendo evidencia que las firmas tienen la capacidad de utilizar diferentes tipos de energía en el corto plazo sin tener que cambiar de tecnología<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup> Usando datos de la industria manufacturera en Estados Unidos, muestra que en 1991 cerca de un 20% de las firmas tenían cierta capacidad de cambiar de un tipo a otro en el corto plazo, lo cual equivalía al 14% del consumo primario de energía en el sector.

Sin duda, existe una serie de limitaciones y consideraciones que hay que tener en cuenta al analizar la respuesta de las firmas ante los altos precios energéticos. Según la evidencia empírica (ver Bjorner y Jensen, 2002), en el corto plazo el consumo energético dentro de los sectores productivos presenta variaciones reducidas cuando los precios energéticos aumentan. Generalmente, se cuenta con equipos y capital con larga duración dentro de la firma, con lo cual, la demanda energética en el corto plazo tiende a ser más bien inelástica. Por otro lado, la incertidumbre respecto al valor potencial del ahorro energético de los nuevos equipos y el asociado costo de oportunidad hace que la decisión de sustitución sea más difícil de tomar.

En esta línea, Berndt et al (1993) introdujo diferentes tipos de cambio tecnológico así como el concepto de cambio tecnológico “incorporado”<sup>11</sup> en una función de costos translog. Con esto, permite la distinción entre las reacciones de corto y largo plazo ante cambios en los precios y considera que los ajustes toman tiempo y son costosos, dado que requieren de inversión. El autor señala que la capacidad del capital de absorber la tecnología afecta directamente el grado de eficiencia energética de la firma, y que la flexibilidad del stock de capital existente a su vez determina el grado de sustitución entre energéticos.

Lo anterior es relevante ya que al estimar las elasticidades de largo plazo, hay que considerar si las firmas ante cambios en los precios relativos consumen menos del insumo relativamente más caro pero mantienen su combinación de combustibles, o si es que definitivamente deciden cambiar su combinación de combustibles utilizando una nueva tecnología. Por otro lado, si se considera la alta volatilidad de los precios de la energía, se podría esperar que las firmas invirtieran en nueva tecnología sólo en aquellos casos donde el alza en el precio de cierto insumo energético es sostenida y/o supera cierto umbral (Soest, Kuper, y Jacobs, 2000).

En Steinbuks et al (2009) también reconocen que una de las principales limitaciones del análisis empírico del efecto de los precios de la energía sobre el uso

---

<sup>11</sup> El cambio tecnológico incorporado (o *embodied technical change* en inglés) se refiere a mejoras en el diseño o calidad de nuevos bienes de capital o insumos intermedios.

energético es la capacidad del modelo de reflejar la adaptación del stock de capital a los cambios en el precio de la energía. Es por esto, que los autores incorporan explícitamente el stock de capital y separan las decisiones operacionales y de inversión en los diferentes sectores. En particular, incluyen las diferentes generaciones o *vintages* del stock de capital, dado que éstas presentan su propia eficiencia energética, la cual es una función de los precios de los insumos al momento de la inversión y del cambio tecnológico.

Con esto, la firma escoge las cantidades óptimas de los insumos y la eficiencia del nuevo stock de capital, contabilizando la flexibilidad de sustitución entre los insumos productivos (trabajo, energía y materiales) y el potencial para un uso más eficiente de estos insumos al escoger nuevas tecnologías al momento de invertir. Entre los resultados encontrados, destacan que el aumento en los precios energéticos lleva a una caída significativa en el uso energético en el largo plazo para todos los sectores económicos, y afectan tanto la sustitución de los insumos como la eficiencia energética del stock de capital.

Asimismo, al utilizar datos agregados no se puede contabilizar por diferencias en requerimientos tecnológicos de los tipos de insumos utilizados en determinadas industrias, con lo cual se generan grandes errores de medición. Por ejemplo, la mayoría de los productores de cemento utilizan carbón y coque de petróleo como principales insumos, mientras que las firmas dedicadas a la fundición de aluminio están basadas en procesos operacionales electroquímicos. Por lo tanto, una sustitución observable del carbón por electricidad con datos agregados puede en realidad reflejar la salida de firmas que son intensivas en carbón, o la entrada de firmas intensivas en electricidad.

Por otro lado, los estudios que se basan en datos agregados no capturan las propiedades idiosincráticas de los diferentes combustibles en relación al uso que se les da en el proceso de producción. En particular, los combustibles utilizados para otros propósitos que generar energía tienen pocos sustitutos, por lo cual, si se excluyen de la muestra la estimación de las elasticidades de sustitución serán mayores.

## 4 Estimación de las elasticidades

En primer lugar, en esta sección se muestra con detalle la metodología utilizada para estimar las elasticidades de demanda de los insumos energéticos. En particular, a través de un sistema de demandas de combustibles con datos individuales de las firmas para cada año se estiman las elasticidades precio y sustitución mediante un modelo *logit* lineal, tal como lo sugiere Considine y Mount (1984) y Urga y Walters (2003).

Dado que no todas las firmas consumen todos los insumos energéticos, la primera dificultad que debe ser atendida en esta estimación es el problema de censura. El consumo nulo de un determinado combustible representa una solución esquina en el problema de minimización de costos, la cual lleva que al estimar por métodos tradicionales se obtengan coeficientes sesgados e inconsistentes, y si es que se eliminan las observaciones con gasto cero para algún combustible se produzca sesgo de selección. Por esta razón, además de estimar el modelo para el total de la muestra, se estiman las elasticidades por patrón de consumo energético de forma separada.

Si bien una gran proporción de las estimaciones sobre elasticidades utilizan una función de costos *translog*, el proceso de ajuste en tal modelo está especificado en términos de las participaciones de los costos de los insumos o *shares* y no de las cantidades (niveles), tal como lo sugiere la teoría y la intuición, por lo que en muchos casos las elasticidades de corto plazo estimadas son mayores a las de largo plazo. Esto contradice el Principio de *Le Chatelier*, el cual demuestra que en un punto de equilibrio de largo plazo, la derivada de la demanda compensada de largo plazo respecto a su propio precio es mayor en magnitud que la derivada de corto plazo de la demanda compensada, es decir que la demanda de largo plazo es más elástica que la de corto plazo.

Por ende, y a pesar de que el modelo *translog* con corrección por sesgo de selección permitiría una estimación razonable de las elasticidades de corto plazo, no es adecuado para captar la dinámica de largo plazo. En contraposición, los

modelos *logit* son más probables de cumplir las condiciones de regularidad neoclásicas, especialmente en los modelos dinámicos, donde los coeficientes de corto y largo plazo son estimados simultáneamente, ya que la validez de las condiciones de concavidad dependen de la forma funcional y sobre todo de la especificación dinámica del proceso de ajuste de la firma (Urga y Waters, 2003, p:2). En particular, en el caso del modelo *logit* lineal, el incluir el consumo físico rezagado garantiza que las elasticidades de largo plazo sean mayores en valor absoluto que en el corto plazo.

#### 4.1 Especificación dinámica del modelo *logit* lineal

Siguiendo lo expuesto por Considine y Mount (1984), se tiene una función de costos de la firma  $C(P_1, P_2, \dots, P_N, Y)$ , donde  $P_1, P_2, \dots, P_N$  son los precios de los  $N$  insumos e  $Y$  el producto. Si  $Q_1, Q_2, \dots, Q_N$  son los niveles de insumos utilizados, luego  $C$  es el valor mínimo de  $\sum_{i=1}^N P_i Q_i$  para todos los posibles niveles de insumos que producen una cantidad mayor o igual a  $Y$ . Cabe mencionar que, para encontrar una solución a este problema de minimización de costos, la tecnología de producción subyacente debe ser bien comportada (regular, monotonicidad y convexidad), lo cual se traduce en que la función de costos  $C$  debe ser una función no decreciente, homogénea, cóncava y continua de los precios de los insumos. En lo que sigue se omite el subíndice que indique la firma y el periodo  $t$  para facilitar la lectura.

Si  $Q_i(P_1, P_2, \dots, P_N, Y)$  se define como la función de demanda condicional para el insumo  $i$  que es consistente con un determinado nivel de producto y con la minimización de costos de la firma, luego por el lema de Shepard se puede demostrar que:

$$Q_i = \frac{\partial C}{\partial P_i} \quad (1)$$

Las propiedades que deben tener dichas demandas condicionales son:

1. Todos los niveles de insumos deben ser no negativos.
2. Cada función debe ser homogénea de grado cero en precios.
3. La matriz de  $N \times N$  elementos,  $\partial Q_i / \partial P_j$ , debe ser simétrica y semi definida negativa, implicando que las elasticidades propias deben ser negativas y las cruzadas deben ser simétricas.

La primera propiedad se garantiza mediante la forma del modelo *logit* lineal, el cual define el conjunto de  $n$  *shares* o proporción de los costos en cada insumo mediante la siguiente aproximación logística:

$$w_i = \exp f_i / \sum_{j=1}^n \exp(f_j) \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

Donde  $N$  es el número total de insumos energéticos,  $w_i$  representa el porcentaje del costo del insumo energético sobre el costo total energético  $i$  en el periodo ( $w_i = P_i Q_i / C$ ) y  $f_i$  es una función de  $N$  precios de insumos y del nivel de producción:

$$f_i = \beta_i + \sum_{j=1}^N \beta_{ij} \ln P_j + \beta_{iy} \ln y + \lambda \ln Q_{it-1} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$P_j$ ,  $y_t$  y  $Q_i$  son el precio del insumo energético  $j$ , el nivel de producción (ventas o valor agregado) y la cantidad física del insumo energético  $i$  consumido en el periodo  $t$ . Dado que el ajuste de las demandas de los insumos energéticos no es instantáneo, se debe considerar en la especificación dinámica un parámetro que está determinado por  $\lambda$ . La estructura no aditiva del término de error  $\varepsilon_{it}$  significa que no sólo son más apropiados los supuestos de normalidad, sino que la especificación *logit* no impone restricciones sobre el proceso autoregresivo en la estructura del término de error.

Por su parte, si la función de producción subyacente exhibe homogeneidad lineal en los insumos, como se asumirá en este trabajo, las ecuaciones de los *shares* son independientes de la escala de producción:

$$w_i = \frac{P_i Q_i}{C} = \frac{P_i}{C^*} \left( \frac{\partial C^*}{\partial P_i} \right) \quad (4)$$

Dado que las funciones exponenciales definidas en (1) son todas positivas, todos los *shares* deben también ser positivos. Por tanto, para cualquier conjunto de precios positivos, los niveles de insumos correspondientes deben ser todos positivos, cumpliéndose la primera propiedad mencionada anteriormente.

La segunda y tercera propiedad que deben presentar las demandas condicionales imponen restricciones sobre las elasticidades precio de los insumos. Para el  $w_i$  definido en (1), la elasticidad del *share* respecto al precio del  $k$  –ésimo insumo,  $P_k$ , puede ser derivada de la siguiente manera:

$$H_{ik} = \frac{\partial \ln w_i}{\partial \ln P_k} = \frac{\partial f_i}{\partial \ln P_k} - \frac{\partial \ln \sum_j e^{f_j}}{\partial \ln P_k} = \frac{\partial f_i}{\partial \ln P_k} - \sum_j w_j \left( \frac{\partial f_j}{\partial \ln P_k} \right) \quad (5)$$

Usando la especificación de  $f_j$  en (3):

$$H_{ik} = \beta_{ik} - \sum_{j=1}^N w_j c_{jk} \quad (6)$$

La definición de  $w_i$  implica que  $Q_i = w_i C / P_i$  por lo que la elasticidad precio propia del insumo  $i$  es:

$$\eta_{ii} = \frac{\partial Q_i P_i}{\partial P_i Q_i} = \frac{\partial w_i C P_i}{\partial P_i P_i Q_i} + \frac{\partial C w_i P_i}{\partial P_i P_i Q_i} - \frac{w_i C P_i}{P_i P_i Q_i} = H_{ii} + w_i - 1 \quad (7)$$

Y la elasticidad precio cruzada es:

$$\eta_{ik} = \frac{\partial Q_i P_k}{\partial P_k Q_i} = H_{ik} + w_k \quad \forall k \neq i \quad (8)$$

Luego, la segunda condición o propiedad implica que la suma de las  $N$  elasticidades precio sean cero para cada insumo. Dadas las expresiones de las elasticidades en (7) y (8), tal propiedad se reduce a:

$$\sum_{j=1}^N E_{ij} = \sum_{j=1}^N (H_{ij} + w_j) - 1 = \sum_{j=1}^N H_{ij} = 0 \quad \forall i \quad (9)$$

Y la tercera propiedad implica que:

$$E_{ik} + w_k w_i = E_{ki} + w_i w_k \Rightarrow E_{ik} w_i = E_{ki} w_k \quad \forall i \neq k \quad (10)$$

Las restricciones de homogeneidad y simetría se pueden imponer para un conjunto determinado de *shares*. En particular, la restricción de homogeneidad descrita en (9) puede reescribirse utilizando (6):

$$\sum_{j=1}^N (\beta_{ij} - S_j) = 0 \quad \forall i \quad (11)$$

Donde:

$$S_j = \sum_{k=1}^N (w_k^* \beta_{kj}) = 0 \quad \forall j \quad (12)$$

En la notación matricial de (11), se tiene que la primera matriz es singular dado que la suma de sus columnas es igual a un vector cero y una solución a las N restricciones es:

$$\sum_{j=1}^n \beta_{ij} = d \quad \forall i \quad (13)$$

Donde  $d$  es una constante arbitraria que puede tomar cualquier valor (incluido el cero).

Las condiciones de simetría pueden ser impuestas tanto localmente como globalmente dependiendo de cómo se redefinen los parámetros de precio: la simetría local se especifica para cierto conjunto de *shares* de costos (usualmente los costos medios), mientras que la simetría global se aplica a cada conjunto de *shares* de costos en la muestra. Redefiniendo los precios de los coeficientes como  $\beta_{ij}^* = \beta_{ij}/w_{jt}$ , las restricciones de simetría implican que:

$$\beta_{ij}^* = \beta_{ji}^* \quad \forall i \neq j \quad (14)$$

Asumiendo que  $w_{jt}$  es invariable en el tiempo, los *shares* promedio de la muestra  $\bar{w}_j$  entregan la simetría local. Bajo simetría global,  $w_{jt}$  es reemplazado por los *shares* predichos de cada observación  $w_{jt}$  y las estimaciones consistentes



de los parámetros del modelo pueden ser obtenidos mediante un procedimiento iterativo en dos etapas. En el primer paso, se utilizan los valores de los *shares* efectivos en lugar de los *shares* predichos con lo que se generan un conjunto inicial de coeficientes y de *shares* predichos. Luego, estos *shares* predichos son introducidos en el modelo el cual es reestimado para producir otro set de coeficientes y de *shares* predichos. Este proceso continua hasta que los valores de los parámetros cambien menos de un 0,1%.

Si es que se desea una estructura dinámica más completa que la determinada en la ecuación (2), se debe estimar el conjunto de ecuaciones de demanda de factores de forma simultánea a su función de costo. Para esto, se realiza una aproximación numérica de la integral de la función de costo:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \int \partial C_t / \partial P_{it} d \ln P_{it} &= \sum_{i=1}^n w_{it} \ln P_{it} \\ &= \sum_{i=1}^n w_{it} + \varepsilon_{it} \ln P_{it} \end{aligned} \quad (15)$$

Los errores de las ecuaciones de los *shares* son independientes del error del costo total, lo cual significa que se puede obtener una estimación del costo total al estimar las ecuaciones de *shares* y utilizar los valores predichos como instrumentos en la función de costos. Asumiendo una aproximación logarítmica de segundo orden se estima la siguiente función de costo:

$$\ln C_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^n w_{it} \ln P_{it} + \varepsilon_{ct} \quad (16)$$

Por lo tanto, se requieren cuatro restricciones de identificación para la estimación:  $\beta_N = \beta_{N_y} = \beta_{N_t} = d = 0$ . En consecuencia, la versión no lineal de la ecuación (2) útil para la estimación es:

$$\begin{aligned}
 \ln\left(\frac{w_{it}}{w_{Nt}}\right) &= \beta_i \\
 &+ \sum_{k=1}^{i-1} \beta_{ki}^* - \beta_{kN}^* w_{kt} \ln P_{kt}/P_{Nt} \\
 &- \left[ \sum_{k=1}^{i-1} w_{kt} \beta_{ik}^* - \sum_{k=i+1}^n w_{kt} \beta_{ik}^* \right. \\
 &\left. - w_{it} \beta_{iN}^* \right] \ln\left(\frac{P_{it}}{P_{Nt}}\right) \\
 &+ \sum_{k=i+1}^{N-1} \beta_{ik}^* - \beta_{kN}^* w_{kt} \ln P_{kt}/P_{Nt} + \beta_{iy} \ln y_t \\
 &+ \lambda \ln\left(\frac{Q_{it-1}}{Q_{Nt-1}}\right) + \varepsilon_{it} - \varepsilon_{Nt}
 \end{aligned} \tag{17}$$

La cuasi concavidad estricta implica que la matriz de las segundas derivadas parciales de la función de costo sea semi definida negativa en cada punto. Tal como ya se mencionó, en contraposición al modelo translog, el mecanismo de ajuste parcial del modelo logit lineal especifica su proceso de ajuste en términos de las cantidades rezagadas en lugar de los *shares* rezagados garantizando que las elasticidades precio de corto plazo no sean nunca mayores que las de largo plazo en valor absoluto, por ende, cumpliendo el principio de *Le Chatelier*.

Por último, las elasticidades de corto plazo son idénticas a las elasticidades estáticas descritas arriba, y las elasticidades de largo plazo pueden ser escritas como:

$$\eta_{ij}^{LP} = \eta_{ij}^{CP} / 1 - \lambda \quad i, j = 1, \dots, N \tag{18}$$

Donde las elasticidades de corto plazo son:

$$\begin{aligned}
 \eta_{ij}^{CP} &= (\beta_{ij}^* + 1)w_j \quad \text{si } i \neq j \\
 \eta_{ii}^{CP} &= (\beta_{ij}^* + 1)w_j - 1 \quad i = 1, \dots, N
 \end{aligned} \tag{19}$$

Una vez calculadas las elasticidades precio propias y cruzadas, se pueden obtener las elasticidades de sustitución. Las especificaciones más utilizadas son las elasticidades de sustitución parcial de Allen-Uzawa y las elasticidades de sustitución de Morishima. La primera corresponde al cambio porcentual del consumo relativo entre dos insumos, ante un cambio proporcional en el precio

relativo de ambos, mientras que la segunda corresponde al cambio en la razón de las participaciones o *shares* entre dos insumos ante un cambio en el precio de uno de ellos manteniendo el otro precio constante, es decir, se podría interpretar como el cambio neto de la razón de los consumos de ambos insumos al variar el precio de uno de ellos. La literatura recomienda el uso de la elasticidad de sustitución de Morishima, que es la utilizada en este trabajo (Stern, 2008).

La elasticidad de sustitución de Morishima para el corto y largo plazo puede escribirse como:

$$\sigma_{ij}^{CP} = \eta_{ij}^{CP} - \eta_{jj}^{CP} \quad \text{si } i \neq j \quad (20)$$

$$\sigma_{ij}^{LP} = \sigma_{ij}^{CP} / (1 - \lambda) \quad (21)$$

Tal como queda demostrado, las elasticidades de largo plazo son proporcionales a las elasticidades de corto plazo, lo cual implica que si se imponen las condiciones de homogeneidad y simetría sobre las elasticidades de corto plazo, las mismas condiciones de mantendrán automáticamente en las elasticidades de largo plazo.

## 5 Datos y estadística descriptiva

Para los efectos de este trabajo de investigación, se construyó un panel en base a los datos de la Encuesta Nacional Industrial Anual (ENIA) realizada por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) para el sector manufacturero. La ENIA define como universo los establecimientos<sup>12</sup> industriales ubicados en el territorio nacional, con diez o más trabajadores<sup>13</sup>. Debido que a partir del año 2008 cambiaron los identificadores por establecimiento, se utilizaron los datos entre los años 1995 y 2007.

Dentro de los conceptos básicos utilizados en las estadísticas industriales del INE, destacan:

- a) Empresa: entidad jurídica dedicada a la producción de bienes o servicios, identificada por un único RUT. Una empresa puede tener uno o más establecimientos, ubicados o no, en el mismo lugar físico en el cual reside su administración general.
- b) Establecimiento: unidad económico-productiva, técnicamente delimitada, que se dedica, bajo un propietario u organización jurídica a desarrollar alguna actividad económica, en una sola ubicación física.
- c) Actividad económica: conjunto de acciones que tiene como objetivo la producción, distribución y consumo de bienes y servicios generados para satisfacer las necesidades materiales y sociales.
- d) Uniestablecimiento: corresponde en aquellos casos en que la empresa posee un solo establecimiento industrial y realiza solo una actividad económica.
- e) Multiunidad: corresponde en aquellas empresas que tienen más de un establecimiento industrial y que participa de solo una actividad económica.

---

<sup>12</sup> Los establecimientos tradicionalmente se identifican a través del ROL, correspondiente al número único asociado a la Razón Social, R.U.T. y giro del establecimiento informado. Sin embargo, si existen transferencias de propiedad el RUT cambia y por defecto los roles asociados. Por esto, el INE adoptó el Número Único Identificador (NUI) que identifica a los establecimientos como agentes productivos sin importar cambios en la organización jurídica, de actividad, giro, etc. De aquí en adelante, se hará referencia a cada establecimiento como firma.

<sup>13</sup> Para los establecimientos multiunidad no se considera un mínimo de trabajadores, ya que al no considerarlos se estaría excluyendo información de procesos intermedios.

- f) Multiactividad: corresponde en casos que la empresa posee un solo establecimiento industrial y está integrada verticalmente, es decir, participa en más de una actividad económica.
- g) Multiactividad-Multiunidad: corresponde a una empresa con más de un establecimiento industrial y que participa en más de una actividad económica.

Cuadro 4: Ficha técnica de la Encuesta Nacional Industrial Anual  
(Principales características)

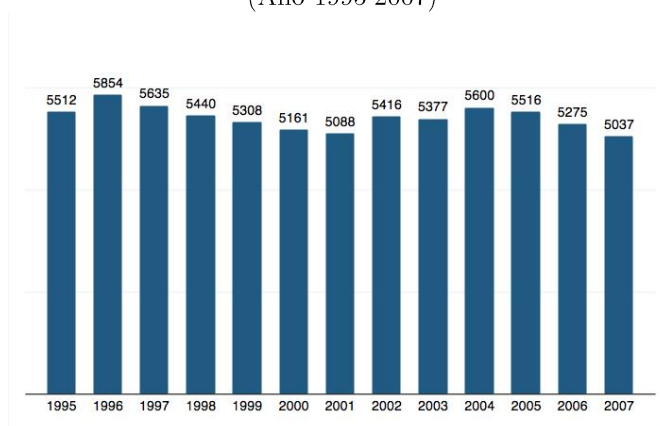
Objetivo	Realizar una caracterización detallada de la Actividad Manufacturera
Unidad analí-	Establecimiento manufacturero
Cobertura	Censo de establecimientos dentro del territorio chileno
Marco censal	Establecimientos manufactureros con 10 o más personas ocupadas, para empresas "Uniestablecimiento"
Tipo de reco-	Levantamiento mediante distribución de formularios impresos a tra-
lección	vés de correo postal
Periodicidad	Anual (abril/mayo de cada año)
Publicación	Bases de datos Innominadas e Indeterminadas a nivel de micro da-

Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas.

### *Número de firmas*

Para efectos de la estimación, se debe considerar que el panel con que se cuenta no es balanceado, ya que hay firmas que entran y salen del directorio. En particular, el periodo considerado es de 13 años  $T = 13$  y el total de firmas es 10.937  $n = 10.937$ , mientras que el número total de observaciones es de 70.219  $N = 70.219 \neq n \times T$ . Es más, sólo un 15,9% del total de firmas, se mantiene para todos los años. En promedio, hay 5.392 firmas por año, de las cuales un 8,3% entra anualmente y un 9,3% sale. El año donde más entraron firmas fue en 1996 (14,0%) y en el que más salieron fue en 2004 (14,4%).

Gráfico 11: Número de firmas totales por año  
(Año 1995-2007)



Fuente: Elaboración propia.

En relación a la distribución de las firmas por región, se tiene que un 51,8% corresponde a firmas de la Región Metropolitana y un 48,2% a firmas del resto de las regiones. Entre las regiones, las que representan un mayor porcentaje son las del Bío-Bío (10,6%) y la de Valparaíso (7,7%).

Cuadro 5: Participación regional del número de firmas  
(Porcentaje sobre el total de firmas)

Regiones	Porcentaje
I. Región de Tarapacá	3,5
II. Región de Antofagasta	3,0
III. Región de Atacama	1,6
IV. Región de Coquimbo	2,5
V. Región de Valparaíso	7,7
VI. Región de O´Higgins	3,5
VII. Región del Maule	4,6
VIII. Región del Bío-Bío	10,6
IX. Región de la Araucanía	3,2
X. Región de Los Lagos	5,8
XI. Aisén	0,8
XII. Magallanes	1,4
XIII. Metropolitana	51,8

Fuente: Elaboración propia.

## DIVERSIFICACIÓN Y SUBSTITUCIÓN DE INSUMOS ENERGÉTICOS

Por último, se utilizó la clasificación resumen de la Clasificación CIIU Rev. 3 homologada a actividades industriales según lo utilizado en las Cuentas Nacionales elaboradas por el Banco Central, quedando así sólo 9 subsectores industriales para una simplificación del análisis (no obstante, en las estimaciones se utiliza a dos dígitos del CIIU lo que corresponde un nivel más desagregado).

Luego, respecto a la distribución por sectores agregados, se tiene que en promedio el sector más relevante es Alimentos, Bebidas y Tabaco con un 28,4% del total de firmas, seguido de Metales, Maquinarias y Equipos con un 19,5% del total, y el que menos son las Industrias Metálicas Básicas y Otras Industrias Manufactureras con un 2,1% y un 1,5% respectivamente. Para tener una referencia, se presenta la distribución de las empresas que pertenecen al sector manufacturero en el directorio del Servicio de Impuestos Internos (SII) para el año 2007, las cuales representan el 7,5% de las empresas del país (65.132 empresas).

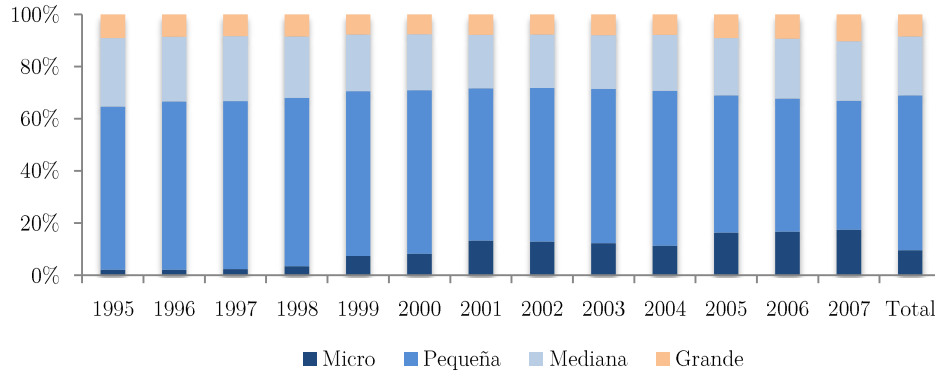
Cuadro 6: Participación sectorial del número de firmas  
(Porcentaje por subrubro CIIU rev. 2)

Sub-rubros	Promedio ENIA	SII Año 2007
31. Alimentos, Bebidas y Tabaco	28,4	21,9
32. Textil, Prendas de Vestir y Cuero	14,1	17,1
33. Maderas y Muebles	10,5	5,3
34. Papel e Imprentas	7,0	11,0
35. Química, Petróleo, Caucho y Plástico	12,0	5,2
36. Prod. Minerales no Metálicos	4,9	2,1
37. Metálica Básica	2,1	1,1
38. Prod. Metálicos, Maquinarias y Equipos	19,5	34,1
39. Otra Industria Manufacturera	1,5	2,2

Fuente: Elaboración propia.

Por último, se muestra la distribución por tamaño de las firmas según el número de empleados en el gráfico 12. En total, un 9,5% corresponde a microempresas (1-9 trabajadores), un 59,4% a pequeñas empresas (10-49 trabajadores), un 22,6% a medianas (50-199 trabajadores) y un 8,5% a grandes (más de 200 trabajadores).

Gráfico 12: Distribución anual de firmas según tamaño  
(1995-2007)

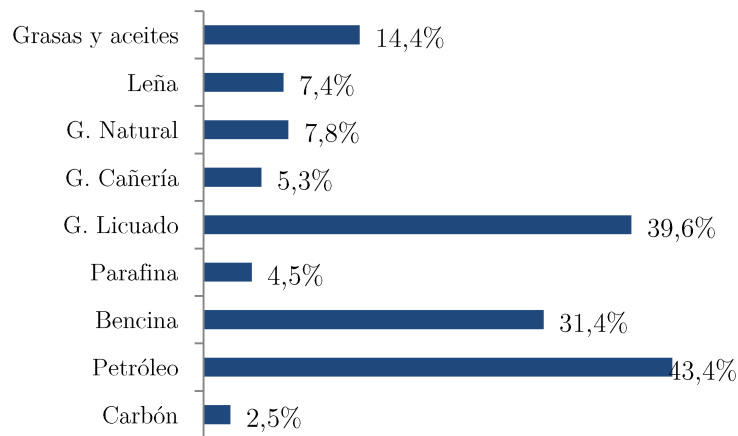


Fuente: Elaboración propia.

### *Caracterización del consumo energético*

Dentro de la encuesta, las firmas deben registrar la cantidad y los valores de los insumos energéticos consumidos.

Gráfico 13: Porcentaje anual de firmas que consumen cada insumo  
(Porcentaje promedio anual del total firmas con consumo positivo, 1995-2007)<sup>14</sup>



Fuente: Elaboración propia.

<sup>14</sup> Dado que más del 99% de las firmas consumen electricidad, se consideraron sólo el resto de los insumos energéticos en el gráfico.



Hay 9 insumos energéticos: carbón piedra, carboncillo y coke (1); petróleo combustible y diesel (2); bencina (3); parafina (4), gas licuado (5); gas de cañería (6); gas natural (7); leña (8) y grasas y aceites lubricantes (9). Adicionalmente, se reporta la cantidad de electricidad consumida, generada y vendida por la firma. En particular, se tiene que en promedio los insumos que están presentes en el mayor porcentaje de firmas cada año, aparte de la Electricidad, son el Petróleo (43,4%), el Gas Licuado (39,6%) y la Bencina (31,4%).

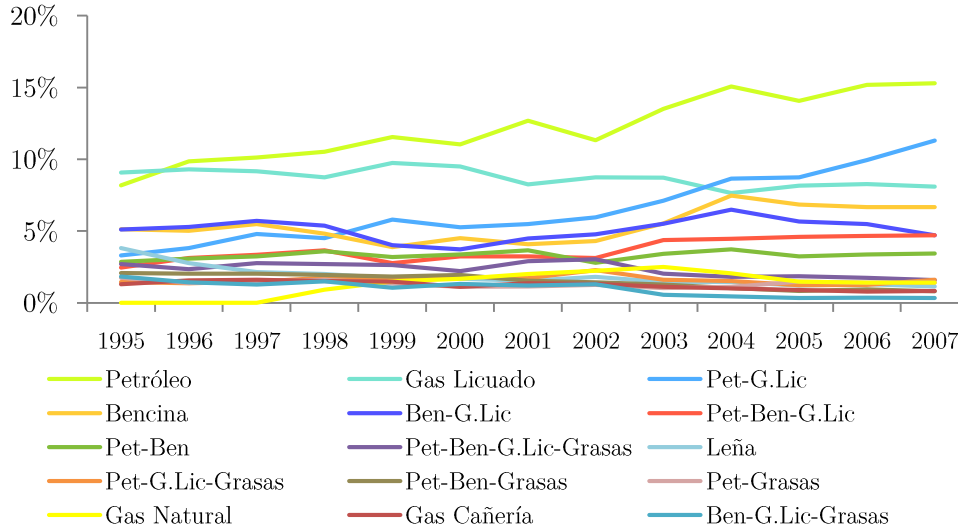
A pesar de que hay firmas que sólo utilizan un combustible para producir, existe un número significativo de firmas que utiliza más de un combustible a la vez. Considerando la electricidad y las 9 alternativas de combustibles, pueden existir potencialmente hasta 1.024 patrones o combinaciones distintas de consumo incluyendo la opción que no se ocupen combustibles. Sin embargo, en la base de datos el número de patrones utilizados por las firmas es bastante más acotado (se observan 347 patrones diferentes).

Más aún, existen 15 patrones diferentes que, junto con el porcentaje que sólo utiliza electricidad, representan el 78,6% del total, destacando el uso de electricidad-petróleo, electricidad-gas licuado, electricidad-petróleo-gas licuado, electricidad-bencina y electricidad-bencina-gas licuado.

En el Gráfico 14, se observa que han ocurrido cambios en los principales patrones de consumo en los últimos años. Los aumentos más notorios corresponden a las firmas que utilizan sólo petróleo y electricidad (desde un 8,2% en el año 1995 a 15,3% en el año 2007) y la combinación de electricidad, petróleo con gas licuado (desde 3,3% a un 11,3% en el mismo periodo). Por otro lado, llama la atención que el porcentaje de firmas que sólo utiliza electricidad y leña disminuyó desde un 3,8% a un 1,1%.

## DIVERSIFICACIÓN Y SUBSTITUCIÓN DE INSUMOS ENERGÉTICOS

Gráfico 14: Principales patrones de consumo de combustibles  
(Porcentaje del total firmas por patrón de consumo, 1995-2007)\*

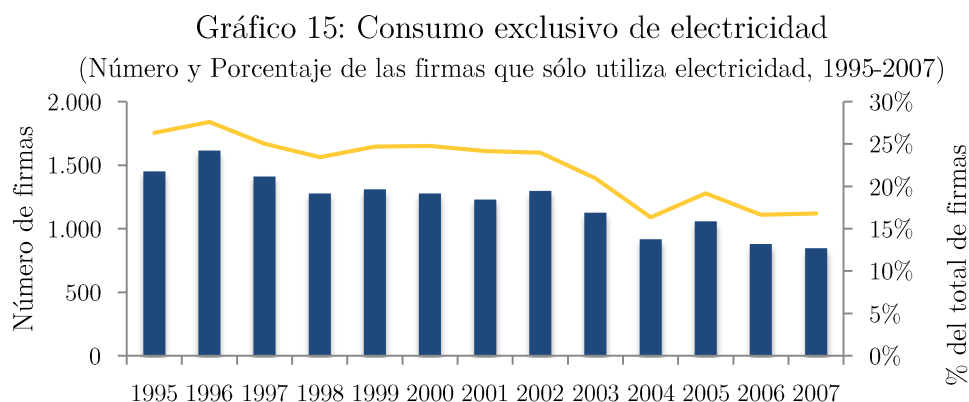


Fuente: Elaboración propia.

\* Todos los patrones contienen electricidad además de los combustibles mencionados.

Si bien hay patrones que han crecido o disminuido de forma significativa, hay otros que se han mantenido relativamente constantes a lo largo del tiempo, como la combinación electricidad, petróleo y bencina, la combinación electricidad, petróleo, bencina y grasas, y electricidad con gas cañería, aunque éstos representan un porcentaje menor de firmas.

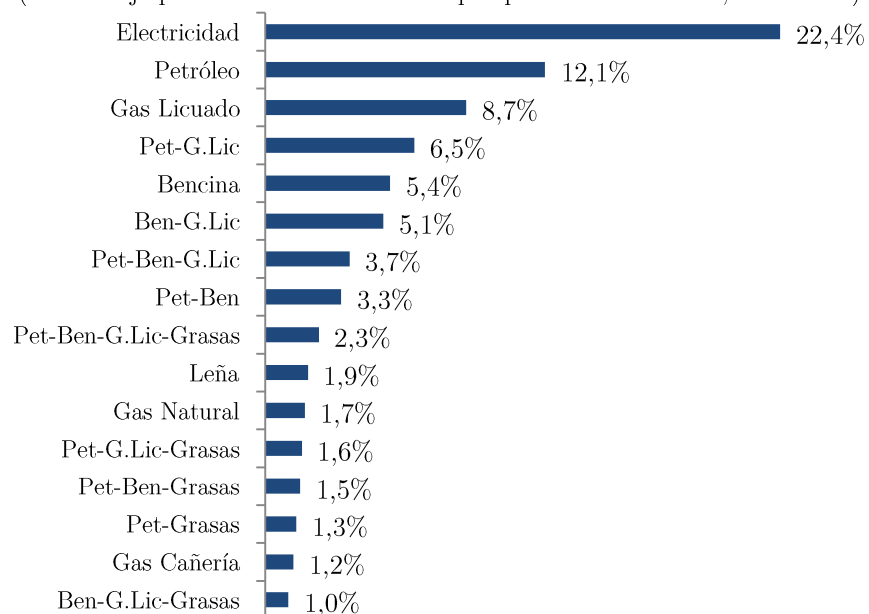
Por otra parte, se aprecia que las firmas que utilizan sólo electricidad en su proceso de producción han ido disminuyendo con el tiempo: desde un 26,3% en el año 1995 a un 16,8% en el año 2007, pasando de 1.451 firmas a sólo 846 firmas en 13 años.



Fuente: Elaboración propia.

Luego, incluyendo a la electricidad, se muestra el porcentaje promedio de firmas que utilizan cada patrón de combustibles en orden de importancia para la industria manufacturera total:

Gráfico 16: Principales patrones de consumo de combustibles  
(Porcentaje promedio del total firmas por patrón de consumo, 1995-2007)\*<sup>15</sup>



Fuente: Elaboración propia.

\*Todos los patrones contienen electricidad además de los combustibles mencionados.

<sup>15</sup> Para el caso del Gas Natural, el porcentaje se calculó considerando los años 1998-2007, debido a que previo a esa fecha no existía el suministro de dicho insumo energético.

Sin embargo, los porcentajes anteriores representan un promedio de la industria, y pueden esconder una dispersión significativa entre subsectores debido a las diferencias en sus procesos productivos y tecnologías asociadas (ver Anexo 4). Luego, aparte del consumo exclusivo de electricidad, los tres principales combustibles en cada sector son<sup>16</sup>:

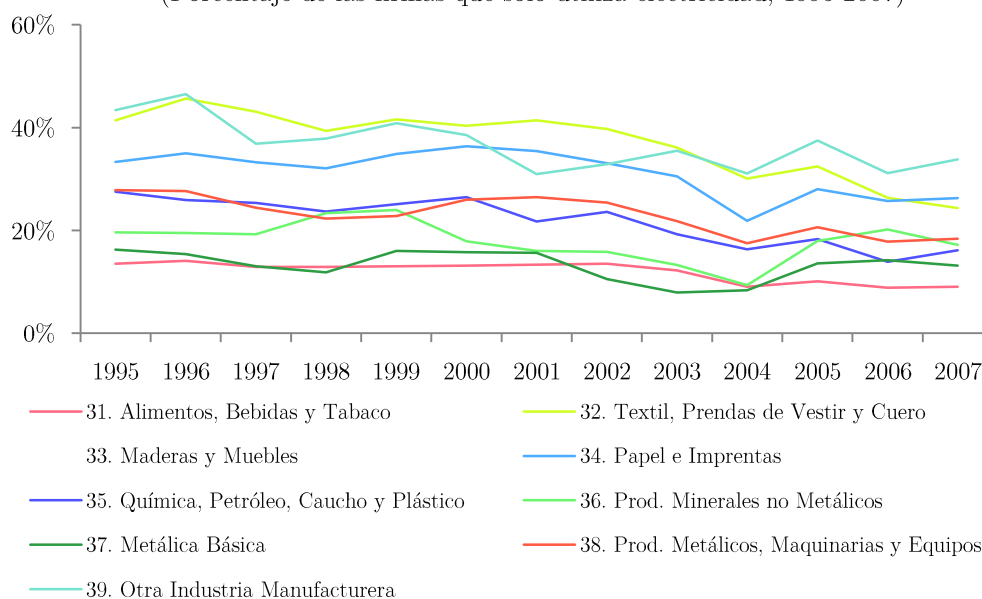
- (31) Alimentos, Bebidas y Tabaco: petróleo (18,0%), electricidad (12,0%), gas licuado (8,0%) y una combinación de petróleo y gas licuado (7,5%).
- (32) Textil, Prendas de Vestir y Cuero: electricidad (38,0%), gas licuado (12,4%), bencina -gas licuado (6,9%) y bencina (6,5%).
- (33) Maderas y muebles: electricidad (27,9%), petróleo (17,3%), bencina (7,4%) y petróleo-bencina- grasas y aceites (6,9%).
- (34) Papel e imprentas: electricidad (30,9%), gas licuado (9,6%), petróleo (8,5%) y bencina (8,0%).
- (35) Química, petróleo, caucho y plástico: electricidad (21,7%), petróleo (12,3%), gas licuado (10,1%) y petróleo-gas licuado (8,5%).
- (36) Prod. minerales no metálicos: electricidad (18,0%), petróleo (9,5%), petróleo-gas licuado (6,7%) y petróleo-bencina-gas licuado-grasas y aceites (6,6%).
- (37) Metálica básica: electricidad (12,9%), combinación de petróleo y bencina (9,1%), petróleo (8,7%) y petróleo- gas licuado (8,1%).
- (38) Productos metálicos, maquinaria y equipos: electricidad (23,0%), gas licuado (9,4%), petróleo (8,4%) y bencina-gas licuado (7,6%).
- Otras: electricidad (37,1%), gas licuado (12,1%), bencina-gas licuado (7,7%) y bencina (6,9%).

Adicionalmente, la tendencia general a disminuir el consumo exclusivo de electricidad es común entre la mayoría de los sectores, indicando que las firmas se han ido trasladando a tecnologías que utilizan otros tipos de fuentes de energía.

---

<sup>16</sup> Cabe recordar, que prácticamente la totalidad de las firmas consume electricidad, por lo tanto, todos los patrones de consumo mencionados son adicional al consumo de electricidad. Es decir, si aparece que consume petróleo, en realidad es que consume petróleo y electricidad.

Gráfico 17: Consumo exclusivo de electricidad según sector  
(Porcentaje de las firmas que sólo utiliza electricidad, 1995-2007)



Fuente: Elaboración propia.

## 5.1 Participación en el gasto de energía

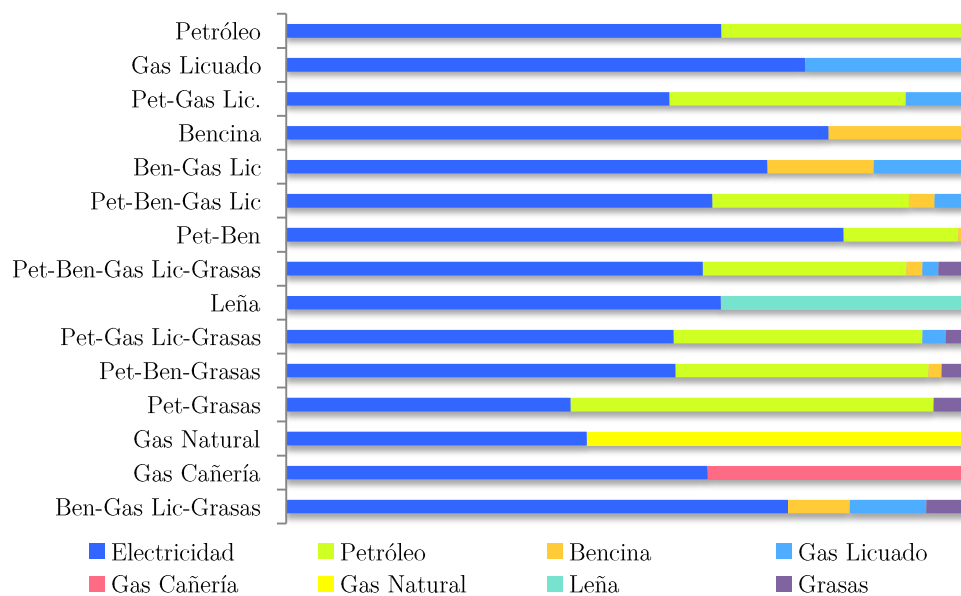
Una vez revisado el porcentaje que consume cada tipo de combustible, es necesario analizar la participación que tiene cada insumo energético en el monto total gastado. Lo anterior, es de utilidad para evaluar la relevancia de cada insumo en la función de costos de cada firma. Considerando los 15 patrones principales de consumo de energía (78,6% del consumo total de energía), se muestra la distribución promedio en el gasto total de energía de los distintos combustibles. Los valores gastados en los diferentes insumos energéticos fueron llevados a pesos del año 2007, utilizando la variación en el IPC de cada año, para poder calcular la distribución promedio.

Tal como se aprecia en el Gráfico 18, en la mayoría de los patrones, el gasto en electricidad constituye más de la mitad del presupuesto en energía con la excepción del patrón Petróleo-Grasas, donde el gasto en electricidad constituye el 41,7% del total, y del patrón Gas Natural, donde el gasto en electricidad

## DIVERSIFICACIÓN Y SUBSTITUCIÓN DE INSUMOS ENERGÉTICOS

constituye el 44,0% del total. Por su parte, en el patrón Petróleo-Bencina y Bencina, es donde la participación de la electricidad es mayor: 81,7% y 79,5% respectivamente.

Gráfico 18: Participación en el gasto de energía según patrón  
(Distribución promedio del gasto de energía en los distintos combustibles, 1995-2007)



Fuente: Elaboración propia.

Por último, se muestra el gasto y la intensidad energética promedio (y mediana) en los 15 principales patrones y en el total de firmas.

Tal como se observa en el Cuadro 7, las significativas diferencias presentadas en el gasto promedio se disipan al revisar el gasto mediano en energía, lo cual sugiere que en cada patrón hay unas cuantas observaciones que sesgan la distribución. En promedio, las firmas gastan 210 millones de pesos al año en energía, sin embargo, la firma mediana gasta 12 millones de pesos al año.

DIVERSIFICACIÓN Y SUBSTITUCIÓN DE INSUMOS ENERGÉTICOS

Cuadro 7: Gasto e intensidad energética según patrón  
(Gasto anual promedio por empresa en millones de pesos del 2007, 1995-2007)

Patrones principales	Gasto en energía		Intensidad Energética		Número obs.
	Media	Mediana	Media	Mediana	
Petróleo	187,1	13,3	4,2%	2,7%	8.530
Gas Licuado	33,6	7,5	2,7%	1,4%	6.127
Petróleo-Gas Licuado	111,8	20,0	3,5%	2,1%	4.546
Bencina	25,8	5,9	2,8%	1,6%	3.809
Bencina-Gas Licuado	31,1	9,4	2,5%	1,6%	3.596
Petróleo-Bencina	795,7	17,1	4,6%	3,1%	2.318
Pet.-Ben.-Gas Lic.	183,3	25,2	3,4%	2,1%	2.576
Leña	27,6	7,1	4,2%	3,0%	1.307
Pet.-Gas Lic.-Grasas	344,2	53,0	3,7%	2,3%	1.122
Pet.-Ben.-Grasas	547,7	32,8	5,2%	3,3%	1.069
Pet.-Grasas	297,5	42,6	4,7%	3,3%	945
Gas Natural	439,1	41,4	3,2%	1,9%	915
Gas Cañería	34,9	10,4	2,6%	1,4%	864
Ben.-Gas Lic.-Grasas	56,1	13,9	2,4%	1,9%	704

Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, en el Cuadro 8 se aprecia que en promedio un 39,4% del gasto total en energía de las firmas corresponde a combustibles y un 60,6% a electricidad. Asimismo, el gasto en energía o intensidad energética (IE) constituye el 4,6% del total de costos. En general, las firmas que producen minerales no metálicos tienen un consumo energético relativo significativamente mayor que las firmas que pertenecen a otras industrias manufactureras, a productoras de textiles, prendas de vestir y cuero y a firmas que producen bienes metálicos, maquinarias y equipos.

## DIVERSIFICACIÓN Y SUBSTITUCIÓN DE INSUMOS ENERGÉTICOS

Cuadro 8: Gasto energético según sector e intensidad energética  
(Gasto energía y total costos en millones de pesos de 2007, promedio 1995-2007)

Subsector	Comb	Elect. (%)	G. Energía	G. Totales	IE (%)
Alimentos, Bebidas y Tabaco	62,0	38,0	118	3.651	3,2
Textil, Prend. de Vestir y Cuero	38,6	61,4	32	1.197	2,7
Maderas y Muebles	22,6	77,4	86	2.181	3,9
Papel e Imprentas	30,1	69,9	346	3.593	9,6
Química, Petróleo, Caucho y Plást.	38,4	61,6	226	8.069	2,8
Prod. Minerales no Metálicos	64,8	35,2	316	2.543	12,4
Metálica Básica	30,1	69,9	3.572	55.80	6,4
Prod. Metálicos, Maq. y Equipos	39,7	60,3	51	1.894	2,7
Otra Industria Manufacturera	34,1	65,9	17	685	2,5
<b>Total</b>	<b>39,4</b>	<b>60,6</b>	<b>210</b>	<b>4.515</b>	<b>4,6</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 5.2 Agrupación de los combustibles

Siguiendo a Benavente *et al.* (2010), se agregan los combustibles en tres para estimar las elasticidades: Petróleo (petróleo combustible y diesel; bencina; parafina y grasas y aceites lubricantes), Carbón (carbón piedra, carboncillo y coke y leña) y Gas (gas licuado, gas de cañería y gas natural). Esto, porque se reportan muy pocas observaciones de consumo para determinados combustibles de forma individual, por lo que la agrupación en estas tres grandes clasificaciones (petróleo, carbón y gas) permite no perder tales observaciones en la estimación.

Luego, se definen 15 patrones distintos: Electricidad (E); Petróleo (P); Carbón (C); Gas (G); Electricidad y Petróleo (EP); Electricidad y Carbón (EC); Electricidad y Gas (EG); Petróleo y Carbón (PC); Petróleo y Gas (PG); Carbón y Gas (CG); Electricidad, Petróleo y Carbón (EPC); Electricidad, Petróleo y Gas (EPG); Petróleo, Carbón y Gas (PCG); Electricidad, Carbón y Gas (ECG); Electricidad, Petróleo, Carbón y Gas (EPCG). En el cuadro siguiente, se muestra la evolución del consumo energético según la distribución en los patrones recién descritos.



Cuadro 9: Distribución anual de consumo energético  
(Porcentaje según 15 patrones principales, años seleccionados)

Patrón	1995	2000	2005	2007
<b>E</b>	<b>26,0</b>	<b>24,4</b>	<b>19,0</b>	<b>16,5</b>
P	0,2	0,2	0,3	0,2
C	0,0	0,0	0,0	0,0
G	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>EP</b>	<b>23,7</b>	<b>24,2</b>	<b>27,5</b>	<b>28,7</b>
EC	4,2	2,2	1,5	1,4
<b>EG</b>	<b>10,9</b>	<b>13,3</b>	<b>11,8</b>	<b>11,4</b>
PC	0,0	0,0	0,0	0,0
PG	0,0	0,2	0,1	0,0
CG	0,0	0,0	0,0	0,0
EPC	4,7	3,1	2,4	2,7
<b>EPG</b>	<b>24,6</b>	<b>28,1</b>	<b>33,7</b>	<b>35,6</b>
PCG	0,0	0,0	0,0	0,0
ECG	1,1	0,9	0,9	0,8
EPCG	4,5	3,4	3,0	2,6
Total	100	100	100	100

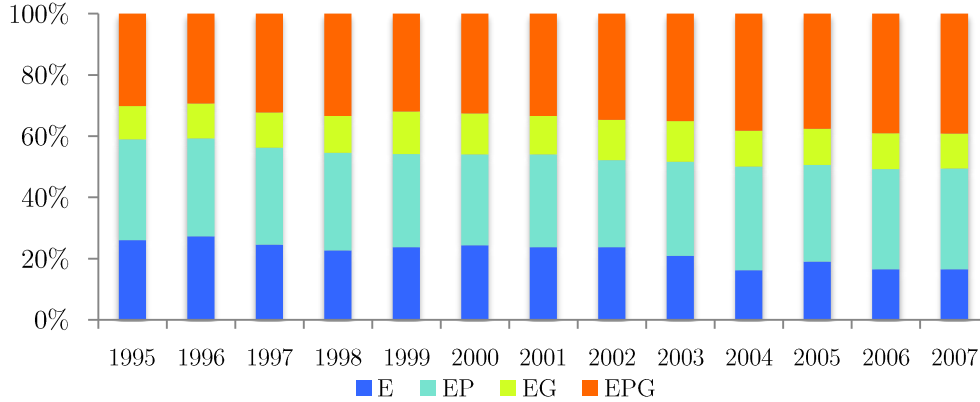
Fuente: Elaboración propia.

Debido al bajo porcentaje que representan algunos de los patrones, en particular aquellos que contienen carbón, se volvió a agrupar en 4 patrones principales:

1. Electricidad ( $E$ ):  $E + EC$
2. Electricidad y petróleo ( $EP$ ):  $EP + EPC$
3. Electricidad y gas ( $EG$ ):  $EG$
4. Electricidad, petróleo y gas ( $EPG$ ):  $EPG + EPCG$

El resto de los patrones ( $C, P, PC, PG, CG$  y  $ECG$ ) no se consideraron para las estimaciones que siguen.

Gráfico 19: Distribución anual de consumo energético  
(Distribución según patrones agrupados, 1995-2007)



Fuente: Elaboración propia.

### 5.3 Precio de insumos energéticos

A partir de las variables de valor neto del consumo de los diferentes insumos energéticos (en pesos del 2007) y sus cantidades, se calculó en primer lugar el precio promedio anual pagado por cada firma y por cada combustible. Dado que no todas las cifras de los combustibles se encontraban expresadas en la misma unidad de medida, se debió unificar las unidades reportadas en una unidad común.

Luego, el precio promedio pagado por cada combustible a nivel de firma es:

$$P_{it,f} = \frac{V_{it,f}}{C_{i,t,f}} \quad (22)$$

Donde  $P_{i,f}$  es el precio del combustible tipo  $f$  en  $t$  pagado por la firma  $i$ ,  $V_{i,f}$  es el valor del combustible tipo  $f$  (medido en miles de pesos de 2007) en  $t$  y  $C_{i,f}$  es la cantidad consumida del combustible en  $t$ . Y el precio promedio pagado por cada combustible dentro de los diferentes sectores económicos:

$$P_{stf} = \frac{\sum_{i=1}^{N_s} V_{i,t,s,f}}{\sum_{i=1}^{N_s} C_{i,t,s,f}} \quad (23)$$

## DIVERSIFICACIÓN Y SUBSTITUCIÓN DE INSUMOS ENERGÉTICOS

Donde  $N_s$  es el número de firmas del sector  $s$ . Para el total de la industria manufacturera en el periodo considerado, los precios promedio en miles de pesos se muestran en el Cuadro 10:

Cuadro 10: Precio promedio y unidad de medida de combustibles  
(Precio promedio en pesos del 2007, 1995-2007)

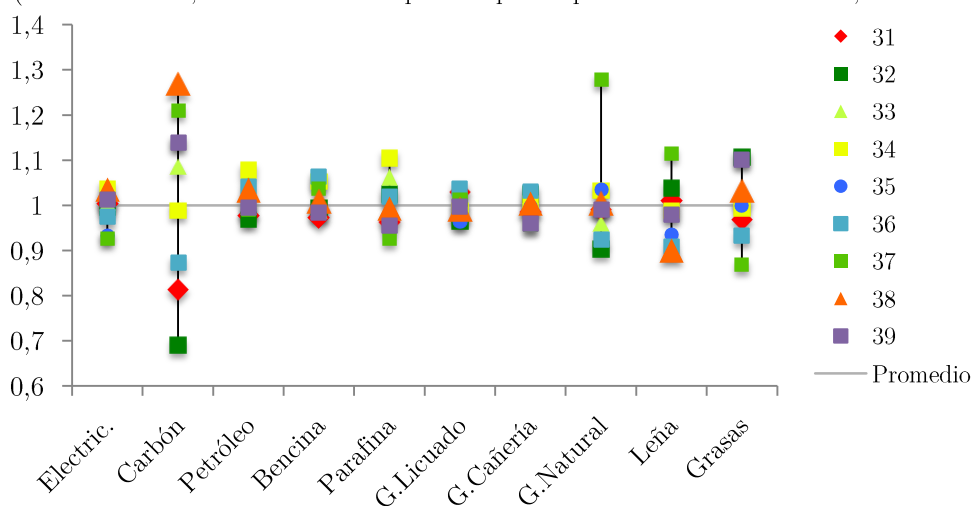
Insumo Energético	Precio (\$)	Unidad
Electricidad	\$51,0	KWh
Carbón	\$126,5	Kg
Petróleo	\$282,1	Lt
Bencina	\$396,7	Lt
Parafina	\$270,7	Lt
Gas Licuado	\$543,4	Kg
Gas Cañería	\$1.198,5	m3
Gas Natural	\$344,5	m3
Leña	\$26,2	Kg
Grasas y aceites	\$1.419,6	Kg

Fuente: Elaboración propia.

Si se analiza el precio de los combustibles según sector económico, se pueden observar algunas diferencias. Normalizando el precio promedio de cada combustible en el agregado a 1 se puede ver la dispersión en algunos combustibles.

En particular, destaca la diferencia en el precio pagado por el carbón entre los sectores Textil, Prendas de Vestir y Cuero (32) y Productos Metálicos, Maquinarias y Equipos (38); y en la diferencia pagada por el gas natural entre nuevamente el sector Textil, Prendas de Vestir (32) y Cuero y el sector Metálica Básica (37).

Gráfico 20: Dispersión precio combustibles por sector  
(Pesos del 2007, normalización respecto a precio promedio de la industria, 1995-2007)



Fuente: Elaboración propia.

Luego, se calcula la correlación existente en los precios de los insumos energéticos recién mencionados. A continuación, se muestran todos los pares de coeficientes de correlación de los insumos que son significativos a un nivel de 5% o mejor. Tal como es de esperarse, el precio del petróleo tiene una alta correlación con sus derivados: 0,72 con la bencina, 0,66 con la parafina y 0,48 con el gas licuado de petróleo. Por su parte, el precio de la electricidad es el que presenta una menor correlación con el precio de los demás insumos.

Cuadro 11: Correlación precios de insumos energéticos  
(Correlación de Pearson)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Carbón (1)	1,00								
Petróleo (2)		1,00							
Bencina (3)	(0,33)	0,72	1,00						
Parafina (4)		0,66	0,66	1,00					
Gas Licuado (5)	(0,12)	0,48	0,39	0,58	1,00				
Gas Cañería (6)			(0,15)		0,17	1,00			
Gas Natural (7)	(0,25)	0,23	0,22	0,20	0,17		1,00		
Leña (8)	0,35	(0,22)	(0,23)		(0,12)	(0,24)		1,00	
Grasas (9)	0,23	(0,44)	(0,43)	(0,30)	(0,22)	0,39	(0,19)		1,00
Electricidad (10)	0,27	(0,06)	(0,04)	(0,09)	(0,03)	-0,12	(0,13)	0,17	0,05

Fuente: Elaboración propia.

## DIVERSIFICACIÓN Y SUBSTITUCIÓN DE INSUMOS ENERGÉTICOS

Por último, se convirtió cada combustible a tercalorías, para poder realizar comparaciones en los consumos de éstos utilizando su poder calorífico, el cual es la cantidad de calor que entrega un kilogramo (masa) o un metro cúbico (volumen) de combustible al oxidarse. Los factores de conversión utilizados fueron los siguientes:

Cuadro 12: Densidades y poderes caloríficos

(Densidad en toneladas por m<sup>3</sup> y poder calorífico en kilocalorías por kilogramo)

Producto	Densidad Ton/m <sup>3</sup>	Poder Calorífico KCal/Kg	Observación
Petróleo Crudo Nacional	0,825	10.963	
Petróleo Crudo Importado	0,855	10.860	
Nafta	0,700	11.500	
Gas Licuado	0,550	12.100	
Gasolina Automóviles	0,730	11.200	
Gasolina Avión	0,700	11.400	
Kerosene	0,810	11.100	
Diesel	0,840	10.900	
Gas Natural Procesado	-	9.341	KCal/m <sup>3</sup>
Leña	-	3.500	
Carbón	-	7.000	
Coque	-	7.000	
Gas de Refinería	-	4.260	KCal/m <sup>3</sup>
Electricidad	-	860	KCal/KWh

Fuente: Balances Energéticos, Ministerio de Energía.

Utilizando los poderes caloríficos anteriores, se aprecia que la electricidad representa el 51,6% del consumo total de energía medido en tercalorías, mientras que el petróleo representa el 21,2%, la bencina el 8,4% y el gas licuado el 8,1%. El resto de los combustibles representan el 10,7% del consumo energético medido en unidades físicas.

## DIVERSIFICACIÓN Y SUBSTITUCIÓN DE INSUMOS ENERGÉTICOS

Cuadro 13: Participación en consumo energético según teracalorías  
(Promedio 1995-2007)

Insumo Energético	Part. consumo
Carbón	1,2%
Petróleo	21,2%
Bencina	8,4%
Parafina	0,9%
Gas Licuado	8,1%
Gas Cañería	0,4%
Gas Natural	2,5%
Leña	4,9%
Grasas	0,6%
Electricidad	51,6%

Fuente: Elaboración propia.

## 6 Flexibilidad en consumo energético y diversificación

En primer lugar, se revisa en el Cuadro 14 el porcentaje de empresas según la cantidad de combustibles que utilizan, considerando el consumo de electricidad y en la última columna se aprecia el promedio de combustibles utilizados por el total de firmas para cada año. Analizando los datos para los años disponibles, se aprecia que la mayoría de las firmas utiliza dos combustibles (31,9%), seguido de tres combustibles (24,7%), luego de un solo combustible (22,1%), mientras que un 20,9% utiliza 4 combustibles diferentes o más.

Por otro lado, cabe destacar que en promedio un 0,5% de las firmas no utiliza ningún insumo energético y que ninguna firma utiliza más de ocho combustibles. En términos generales, se aprecia que desde el año 1995 hasta el año 2007, el porcentaje relativo de firmas que utilizan dos y tres combustibles ha aumentado, en desmedro del resto de las opciones. Así, en promedio, las firmas consumen 2,5 combustibles al año.

Cuadro 14: Número de combustibles utilizados (incluye electricidad)  
(Porcentaje de firmas por año según cantidad de insumos energéticos)

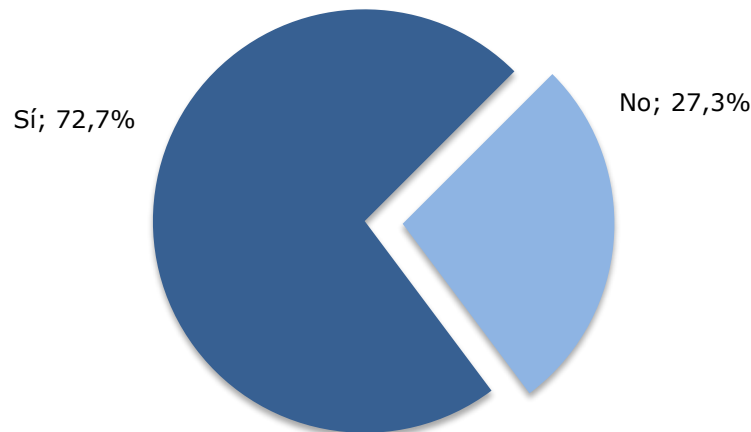
Año	0	1	2	3	4	5	6 o +	Pro-
1995	0,5	26,0	29,3	22,2	13,2	6,1	2,8	2,4
1996	0,5	27,3	30,1	21,7	12,9	5,3	2,3	2,4
1997	0,7	24,6	30,1	23,3	13,2	6,0	2,1	2,5
1998	1,0	22,7	30,2	23,6	14,3	6,1	2,0	2,5
1999	1,3	23,9	31,3	23,3	12,6	5,8	1,8	2,5
2000	0,5	24,3	31,0	22,3	13,6	6,0	2,2	2,5
2001	0,6	24,0	31,2	23,1	12,9	6,1	2,2	2,5
2002	0,3	23,7	31,3	23,2	13,1	6,2	2,1	2,5
2003	0,1	21,0	33,8	24,6	13,5	5,1	1,8	2,5
2004	0,3	16,4	35,0	28,4	13,3	4,9	1,8	2,6
2005	0,2	19,3	33,1	27,5	13,1	5,1	1,8	2,6
2006	0,2	16,7	34,1	28,5	13,5	5,4	1,6	2,6
2007	0,4	16,7	33,9	29,1	13,1	5,4	1,4	2,6
Total	0,5	22,1	31,9	24,7	13,3	5,7	1,9	2,5

Fuente: Elaboración propia.

## 6.1 Cambio de patrón de consumo

Luego, resulta interesante ver cuán frecuente es que las firmas cambien de patrón y cuántos patrones diferentes utilizan a lo largo del periodo analizado. De las 10.937 firmas diferentes que componen el panel, un 11,7% sólo está un año en la muestra (1.284 firmas), por lo que para lo que sigue en esta sección, no serán consideradas con la excepción de las distribuciones anuales. Luego, del resto de las firmas (9.653), un 72,7% cambia al menos una vez de patrón de consumo energético entre 1995 y 2007 y sólo un 27,3% mantiene inalterado su patrón.

Gráfico 21: Firmas que cambian al menos una vez de patrón  
(Porcentaje del Total)



Fuente: Elaboración propia.

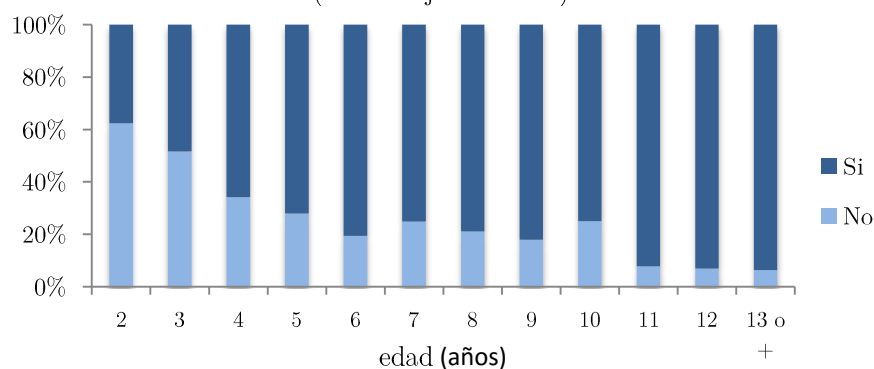
De las firmas que cambian de patrón destaca que lo hacen en promedio 3,2 veces y presentan 3,4 patrones diferentes de consumo energético. Por su parte, cabe destacar que la edad promedio de las firmas que cambian de patrón es 7,4 años mientras que para las firmas que no cambian de patrón es 3,8 años. En el total de la muestra, la edad promedio es 6,4 años.

Si se analiza por edad, se aprecia que las firmas más “jóvenes” son las que suben el promedio: el porcentaje de firmas que no hace ningún cambio es un 62,4% para aquellas que están solo dos años, 51,6% para las que están 3 años y



34,2% para las que están 4 años. Con la excepción de algunas generaciones, la tendencia es a la baja.

Gráfico 22: Firmas que cambian de patrón según edad  
(Porcentaje del Total)

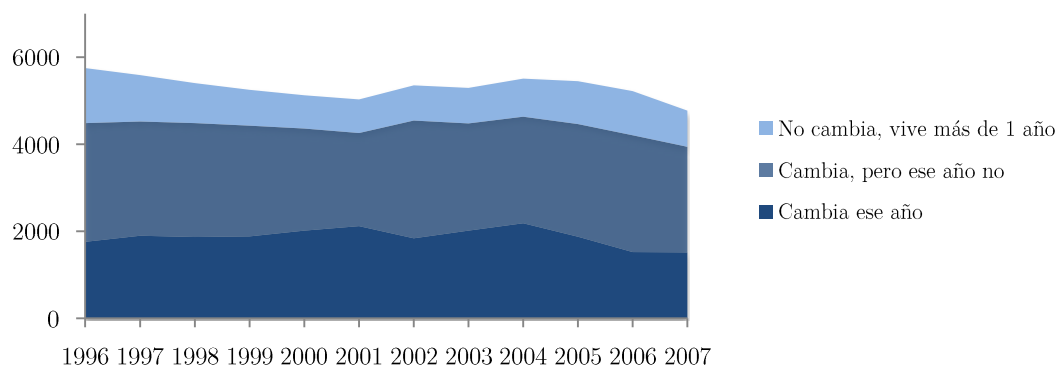


Fuente: Elaboración propia.

Si bien se podría inferir que aquellas firmas que *mueren* jóvenes no alcanzan a cambiar su patrón de consumo ya que necesitan madurar antes, hay evidencia que podría indicar que esto no necesariamente es así. En particular, de las firmas que sí cambian de patrón, un 48,7% lo hace un año después de haber entrado a la muestra, un 20,0% dos años después, un 10,8% tres años después y sólo un 13,8% hace su primer cambio de patrón de consumo energético 4 años o más tras haber ingresado a la muestra (sin considerar a las empresas que ya existían en el año inicial, es decir en 1995).

Por último, tal como se muestra en el Gráfico 23, un 19,0% de las firmas nunca cambian su patrón (17,2% de firmas que viven más de un año y el 1,8% restante que sólo viven un año), un 48,9% que alguna vez cambia de patrón pero no lo hace ese año y un 32,1% que sí cambia de patrón ese año (equivalente a un 39,6% del total de firmas que hacen alguna vez un cambio).

Gráfico 23: Distribución del total de firmas según cambio de patrón  
(Porcentaje del Total)

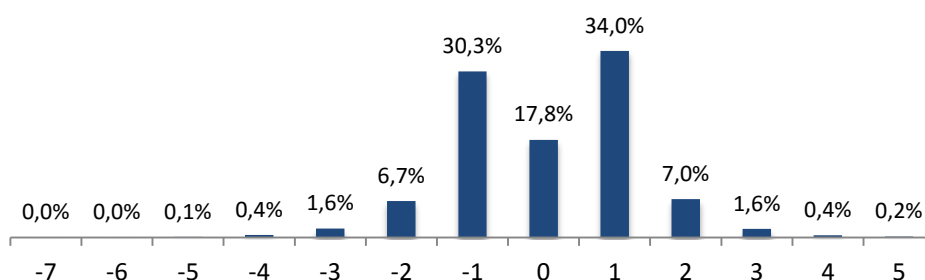


Fuente: Elaboración propia.

## 6.2 Variación en el número de combustibles

La variación en el número de combustibles también es relevante al momento de evaluar la flexibilidad de las firmas en su consumo energético. Observando el Gráfico 24, se aprecia que lo más común al realizar un cambio de patrón es agregar un combustible al mix (34,0% de los casos) o disminuir un combustible (30,3%), mientras que un 17,8% mantiene el número de combustibles a pesar de cambiar de patrón, es decir, sustituye un combustible por otro. Los cambios más extremos (+4 combustibles) sólo representan el 1,1% de los casos.

Gráfico 24: Variación número de combustibles al cambiar de patrón  
(Porcentaje de firmas que cambian de patrón, promedio 1996-2007)

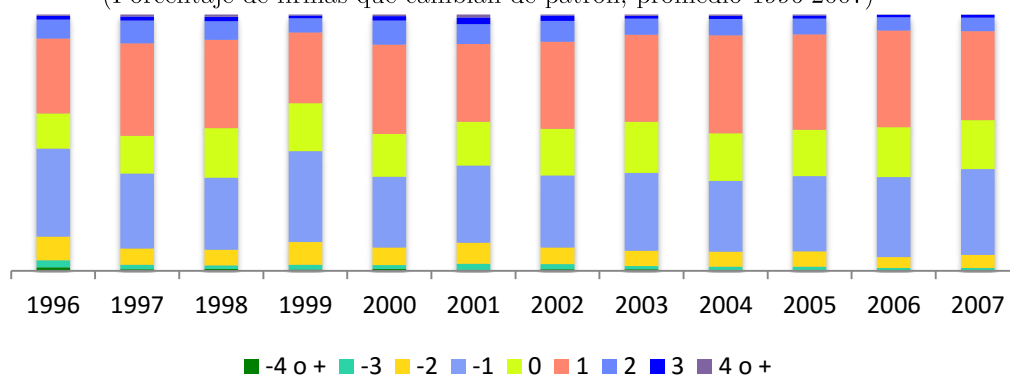


Fuente: Elaboración propia.

Para testear la consistencia de la anterior distribución intertemporalmente, se muestra en el Gráfico 25 la variación en el número de combustibles.

## DIVERSIFICACIÓN Y SUBSTITUCIÓN DE INSUMOS ENERGÉTICOS

Gráfico 25: Variación número de combustibles al cambiar de patrón  
(Porcentaje de firmas que cambian de patrón, promedio 1996-2007)



Fuente: Elaboración propia.

### *Diferencias por sector*

En primer lugar, se muestra en el Cuadro 15 por subsector el número de firmas, cuántos años en promedio están en la muestra y el número de combustibles promedio utilizados (*fuels* en la tabla) tanto en términos generales como separando en dos submuestras: aquellas firmas que cambian al menos una vez de patrón de combustibles y aquellas firmas que mantienen el mismo patrón. Nuevamente, es sin considerar a las firmas que viven sólo un año.

Cuadro 15: Características firmas que cambian de patrón según sector  
(Porcentaje del total, edad medida en años y número de combustibles)

Sub sector	Total firmas			Cambian de patrón			No cambian de patrón		
	Nº	Edad	Fuels	%	Edad	Fuels	%	Edad	Fuels
31	2.758	6,8	2,6	78,3%	7,6	2,7	21,7%	4,0	2,2
32	1.355	6,2	2,0	65,2%	7,4	2,2	34,8%	3,9	1,5
33	1.015	5,9	2,2	71,0%	6,8	2,4	29,0%	3,5	1,8
34	691	6,4	2,2	65,7%	7,6	2,4	34,3%	4,1	1,8
35	1.146	6,7	2,3	75,7%	7,7	2,5	24,3%	3,5	1,9
36	471	6,1	2,7	72,4%	7,1	2,9	27,6%	3,6	2,1
37	201	6,3	3,1	72,6%	7,2	3,5	27,4%	4,1	2,3
38	1.871	6,2	2,4	72,0%	7,3	2,6	28,0%	3,6	2,0
39	143	7,0	1,9	69,2%	8,2	2,1	30,8%	4,4	1,3
Total	9.651	6,4	2,4	72,7%	7,4	2,6	27,3%	3,8	1,9

Fuente: Elaboración propia.

## DIVERSIFICACIÓN Y SUBSTITUCIÓN DE INSUMOS ENERGÉTICOS

Lo primero que se puede apreciar es que en algunos sectores, el porcentaje que cambia de patrón es considerablemente mayor que en otros. Por ejemplo, en Alimentos, Bebidas y Tabaco (31), un 78,3% de las firmas cambian de patrón de consumo, mientras que en Textil, Prendas de Vestir y Cuero (32) es un 65,2%. En general, en todos hay una diferencia considerable en la edad promedio entre las que cambian de patrón y las que no. Destaca en particular la diferencia en Química, Petróleo, Caucho y Plásticos (35) y en el Productos Metálicos, Maquinarias y Equipos (38), donde la edad promedio de las firmas que alguna vez cambian de patrón es más del doble que las que no. En cuanto al número de combustibles promedio se ve una dispersión mayor, existiendo sectores con una menor diferencia entre ambos casos (Alimentos, Bebidas y Tabaco, 31), y otros donde la diferencia es significativa (Otra Industria Manufacturera, 39).

A continuación, en el Cuadro 16 se muestra el número de cambios de patrón promedio que hacen las firmas en el periodo que se encuentran en la muestra, y el número de patrones diferentes que utilizan, viendo que por lo general no hay diferencias demasiado grandes entre sectores.

Cuadro 16: Número de cambios y patrones diferentes según sector  
(Promedio, sólo firmas que hacen cambios)

Subsector	N° cambios	N° patrones
Alimentos, Bebidas y Tabaco (31)	3,3	3,5
Textil, Prend. de Vestir y Cuero (32)	3,0	3,3
Maderas y Muebles (33)	2,9	3,1
Papel e Imprentas (34)	3,0	3,3
Química, Petróleo, Caucho y Plást. (35)	3,3	3,5
Prod. Minerales no Metálicos (36)	3,3	3,6
Metálica Básica (37)	3,5	3,8
Prod. Metálicos, Maq. y Equipos (38)	3,3	3,6
Otra Industria Manufacturera (39)	3,2	3,4
Total	3,2	3,4

Fuente: Elaboración propia.

Por último, el Cuadro 17 muestra la variación de combustibles al cambiar de patrón por sector:

DIVERSIFICACIÓN Y SUBSTITUCIÓN DE INSUMOS ENERGÉTICOS

Cuadro 17: Variación N° combustibles según sector  
(Porcentaje de firmas que cambian de patrón, promedio 1996-2007)

Subsec-	-4	o	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	o
31	0,5%		1,5	6,3	30,2	20,1	32,8	6,6	0,5		0,6%
32	0,4%		1,0	6,6	30,0	18,6	35,7	6,5	0,2		0,2%
33	0,5%		1,7	6,7	31,6	14,9	35,2	7,6	0,3		0,3%
34	0,4%		1,2	6,9	29,1	18,3	36,6	5,9	0,2		0,3%
35	0,3%		1,5	6,5	29,4	18,7	34,6	6,9	0,3		0,5%
36	1,0%		1,7	7,8	30,3	13,2	31,1	9,8	1,0		1,5%
37	2,1%		1,7	7,3	30,1	14,7	34,9	6,0	0,9		1,0%
38	0,6%		2,3	7,3	29,9	16,9	32,6	7,8	0,5		0,7%
39	0,4%		2,8	3,2	30,2	17,3	38,3	5,6	0,0		0,8%
Total	0,6%		1,6	6,7	30,1	18,0	33,8	7,1	0,4		0,6%

Fuente: Elaboración propia.

*Diferencias por tamaño*

Donde sí se encuentran diferencias significativas, es al hacer un análisis según el tamaño de las firmas, especialmente en el porcentaje que sí cambia de patrón. En particular, de las microempresas sólo un 38,2% cambia alguna vez de patrón, mientras que tal porcentaje en las pequeñas es 72,7%, en las medianas 83,2% y en las grandes 87,5%. Lo otro interesante, es la gran diferencia en la edad entre las grandes firmas que hacen y no hacen cambios de patrón: mientras aquellas que cambian de patrón tienen en promedio 8,2 años de vida, las que no lo hacen tienen sólo 2,8 años, siendo las de menor edad promedio entre las que no cambian de patrón. Algo similar ocurre con las firmas medianas.

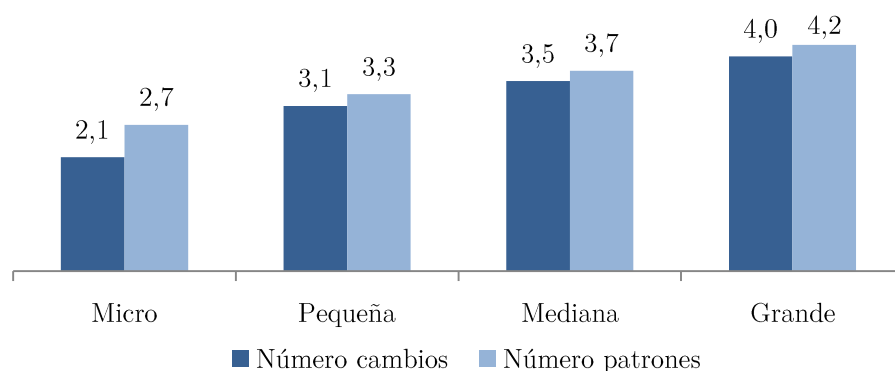
Cuadro 18: Características de firmas según tamaño  
(Porcentaje del total, edad medida en años y número de combustibles)

Tamaño	Total firmas			Cambian de patrón			No cambian de patrón		
	N°	Edad	Fuels	%	Edad	Fuels	%	Edad	Fuels
Micro	913	3,9	1,6	38,2%	5,2	1,9	61,8%	3,0	1,4
Pequeña	5.981	6,5	2,2	72,7%	7,4	2,3	27,3%	4,1	1,9
Mediana	2.081	7,0	2,8	83,2%	7,7	2,9	16,8%	3,6	2,3
Grande	678	7,5	3,4	87,5%	8,2	3,5	12,5%	2,8	2,8
Total	9.653	6,4	2,4	72,7%	7,4	2,6	27,3%	3,8	1,9

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, se aprecia que el promedio de cambios de patrón y el número de patrones utilizados están directamente relacionados con el tamaño, observando que las grandes firmas cambian el doble de veces de patrón que las microempresas y utilizan en promedio más del doble de patrones diferentes a lo largo del tiempo.

Gráfico 26: Cambios de patrón y número de patrón según tamaño  
(Valores promedio)



Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la variación en el número de combustibles al cambiar de patrón de consumo, si bien hay diferencias, se muestra una consistencia robusta entre los diferentes tamaños.

Cuadro 19: Variación N° combustibles según tamaño  
(Porcentaje del total de firmas que cambian de patrón, promedio 1996-2007)

Tamaño	-4 o más	-3	-2	-1	0	1	2	3	4 o más
Micro	0,7%	1,5%	8,0%	32,1%	16,1%	34,3%	6,0%	0,9%	0,3%
Pequeña	0,4%	1,4%	6,3%	30,5%	18,3%	34,7%	6,7%	1,2%	0,4%
Mediana	0,7%	2,0%	6,5%	29,6%	17,3%	33,1%	7,9%	2,2%	0,8%
Grande	0,9%	1,8%	8,0%	29,6%	17,5%	32,2%	6,6%	2,1%	1,3%

Fuente: Elaboración propia.

### 6.3 Índice de diversificación energética

Por último, se construye un índice de diversificación energética como el inverso del índice Hirshman-Herfindahl, debido a su amplio uso en la literatura y su fácil comprensión. En particular, para su construcción se considera el gasto en los diferentes combustibles sobre el gasto total en combustibles, para ver cuán concentrado está el gasto de la firma en algún insumo<sup>17</sup>. Luego, el índice se mide de la siguiente manera:

$$IDE_{it} = 1 - \sum_{it} \left( \frac{X_{fit}}{X_{it}} \right)^2 \quad (24)$$

Donde  $IDE_{it}$  es el Índice de Diversificación Energética para la firma  $i$ , en el periodo  $t$ .  $X_{fit}$  es el consumo del insumo energético  $f$  por la firma  $i$  en el periodo  $t$ , y  $X_{it}$  es el consumo total en energía de la firma  $i$  en el periodo  $t$ . Es decir, el índice es igual a 1 menos la suma de los cuadrados de la participación o *share* de cada combustible en el gasto total energético de la firma para cada año.

Por lo tanto, mientras más diversificada es la matriz energética de la firma, mayor es el valor del índice. En el caso de que la firma utilice un solo combustible, tal índice tomará el valor de 0. En cualquier otro caso, el índice se encontrará entre 0 y 1. Dicho índice complementa la información sobre flexibilidad en el consumo energético, ya que puede ocurrir, que si bien se realizan varios cambios y se utilizan varios patrones, la concentración se mantenga casi inalterada.

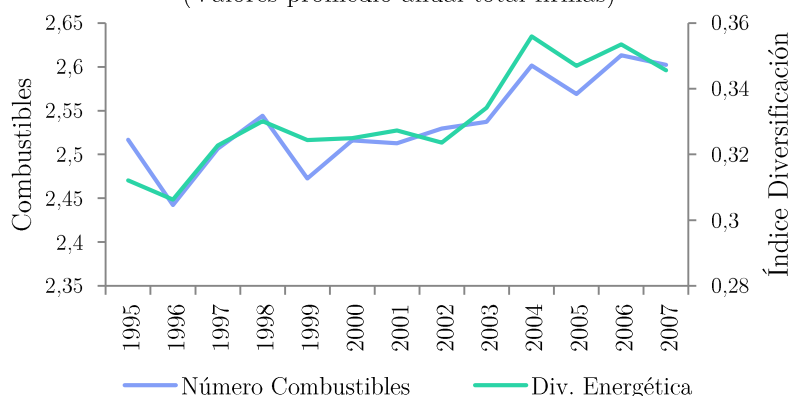
En primer lugar, si se revisa la evolución que ha tenido el índice en los últimos años, se aprecia que hay años donde éste aumenta y otros en que disminuye, aunque la tendencia general es al alza. Sin embargo, el alza es bastante moderada en magnitud, pasando desde 0,31 a 0,35 entre 1995 y 2007. Lo mismo

---

<sup>17</sup> Este índice es utilizado para medir el nivel de competencia que existe en un mercado o industria, el cual fue desarrollado de forma independiente por dos economistas: A. O. Hirschman (1945) y O.C. Herfindahl (1950).

ocurre con el número de combustibles promedio que utilizan las firmas, los cuales pasan desde 2,4 a 2,6 en el periodo analizado.

Gráfico 27: Evolución diversificación energética y N° de combustibles  
(Valores promedio anual total firmas)



Fuente: Elaboración propia.

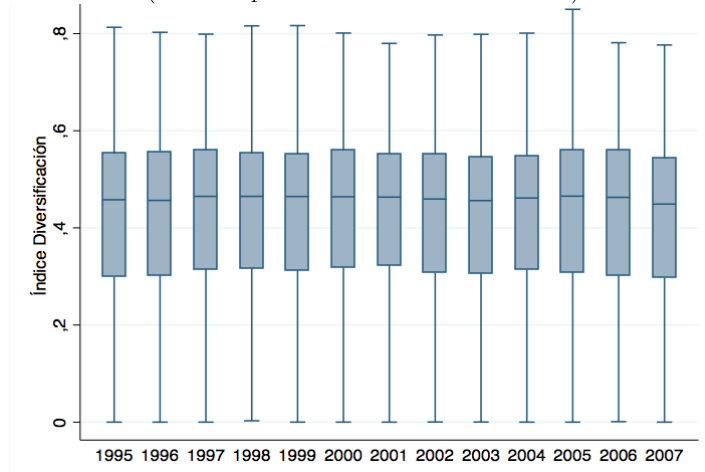
La principal razón de la leve alza en el índice es la disminución de aquellas firmas que utilizan sólo un combustible (y que por tanto tienen un índice igual a 0). En total, hay 1.798 firmas que presentan nula diversificación todos los años, y 3.140 firmas que al menos en un año tuvieron nula diversificación.

Por otro lado, considerando sólo a las firmas que presentan diversificación positiva, se muestra su distribución a lo largo del tiempo a través de un gráfico de cajas y bigote o *box plot*, para evaluar la distribución del índice según los principales percentiles. En éste, la caja central indica el rango en el que se concentra el 50% de los datos, siendo su límite superior el percentil 75 y su límite inferior el percentil 25 y la línea central el percentil 50 o la mediana de los datos. Por su parte, los extremos de los “bigotes” que salen de la caja son los valores que se encuentran dentro del 95% del total de datos, y que pueden coincidir con los valores extremos de la distribución.

Al observar el Gráfico 28, se comprueba lo anterior. La mediana del índice y la distribución en general es bastante similar en todos los años. Se debe recalcar que al considerar sólo las firmas que tienen diversificación positiva, la media del índice pasa a 0,43 y la mediana 0,46, desde 0,33 y 0,39 respectivamente.



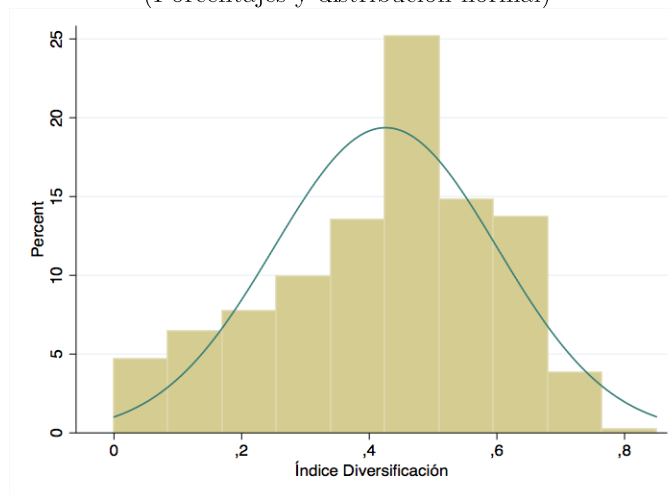
Gráfico 28: Box plot diversificación energética por año  
(Valores promedio anual total firmas)



Fuente: Elaboración propia.

Por último, se muestra en el Gráfico 29 un histograma considerando sólo a las firmas que tienen diversificación positiva, al igual que en el caso anterior. En este caso, la altura de cada rectángulo de clase representa cuántas firmas fueron observadas en dicho intervalo. Todas las barras suman el 100% de los datos. Dado que la barra más alta se encuentra a la derecha, se infiere que el histograma está sesgado hacia la izquierda.

Gráfico 29: Histograma diversificación energética  
(Porcentajes y distribución normal)



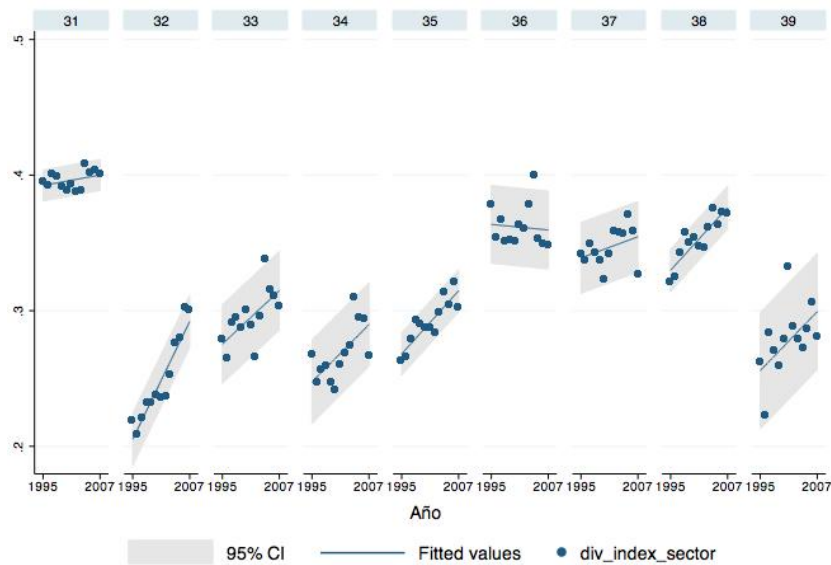
Fuente: Elaboración propia.

En definitiva, el índice de diversificación se ha mantenido relativamente constante en el último tiempo, y el alza marginal que presenta es en gran parte porque han ido disminuyendo las firmas que utilizan un solo combustible.

*Diferencias por sector*

Como se puede observar en el Gráfico 30, la tendencia del índice es al alza en la mayoría de los sectores, con la única excepción de los Productos Minerales no Metálicos (36). Asimismo, se aprecian diferencias significativas entre sectores tanto en el grado de diversificación como en las tasas de crecimiento de la misma.

Gráfico 30: Evolución intrasectorial Índice Diversificación Energética (Valor anual del índice según sector económico, 1995-2007)



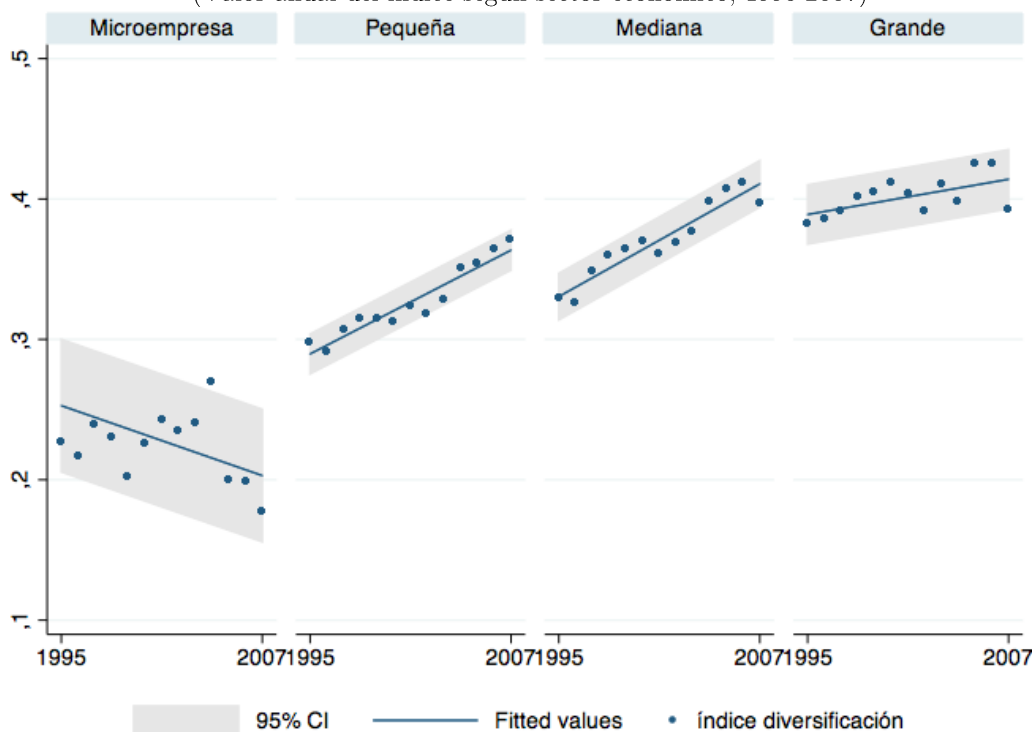
Fuente: Elaboración propia.

En particular, se puede constatar que en Alimentos, Bebidas y Tabaco (31) el nivel del índice es significativamente mayor que el resto de los sectores. Por último, destaca el pronunciado aumento que ha tenido el índice en Textil, Prendas de Vestir y Cuero (32) en los últimos años.

*Diferencias por tamaño*

Luego, se observa la evolución del índice según el tamaño de la firma. En primer lugar, se aprecia en el Gráfico 31 que sólo en las microempresas éste ha ido a la baja y presenta una dispersión significativamente mayor a lo largo de los años considerados que en el resto de los tamaños. Asimismo, se ve una relación positiva entre el índice y el tamaño de la firma: a mayor tamaño, mayor es el índice de diversificación energética.

Gráfico 31: Evolución Índice Diversificación Energética según tamaño  
(Valor anual del índice según sector económico, 1995-2007)



Fuente: Elaboración propia.

Por último, destaca la menor tasa de crecimiento del índice en las firmas de gran tamaño respecto a las pequeñas y medianas, donde las últimas presentan pendientes sin diferencias significativas.

## 7 Elasticidades de demanda y sustitución

La flexibilidad de las firmas para cambiar entre un insumo energético y otro, utilizar diferentes patrones de consumo, diversificar su presupuesto energético y mejorar su eficiencia energética tiene directa relación con cuán sustituibles son los diversos combustibles disponibles dada la tecnología de producción y las características de los demás factores productivos como el capital y el trabajo. Es por esto, que en esta sección se estiman las elasticidades de demanda y de sustitución entre los diferentes insumos utilizado según lo definido en la sección VI.

Si bien, en la ENIA no se tiene información sobre los usos de la energía, ni tampoco los tipos de equipos o maquinarias con los que se cuenta, al estimar las elasticidades con datos desagregados para la industria manufacturera, el presente trabajo constituye un aporte a la evidencia empírica ya existente en nuestro país.

A continuación, se estima el modelo utilizando una forma funcional logístico lineal, tal como lo recomendado por Urga y Walters (2003), permitiendo un ajuste dinámico consistente con la teoría económica (Benavente et al., 2004, Benavente *et al.*, 2010). Además, para minimizar el problema de consumo nulo de algunos combustibles se estimaron las elasticidades por patrón de consumo energético. El modelo se estima utilizando la técnica de Ecuaciones Aparentemente No Relacionadas o SURE por sus siglas en inglés.

De esta manera, se tiene un set de ecuaciones que deben ser estimadas de forma simultánea, asumiendo independencia de los errores en cada ecuación o no correlación entre diferentes periodos de tiempo en cada ecuación y la no existencia de correlación intertemporal (entre dos ecuaciones en dos periodos distintos). Sin embargo, las ecuaciones si están relacionadas en el sentido que los errores (contemporáneos) están asociados con las variables dependientes. Adicionalmente se utiliza la opción de iteración, que significa que el modelo itera sobre la matriz de covarianza de errores estimada y las estimaciones de los parámetros hasta que éstos converjan a los resultados de máxima verosimilitud.

DIVERSIFICACIÓN Y SUBSTITUCIÓN DE INSUMOS ENERGÉTICOS

Los resultados de la estimación para cada patrón de consumo energético (*EPG*, *EP*, *EG* y *E*) y para el agregado de la muestra son:

Cuadro 20: Estimación demandas insumos energéticos Modelo SURE  
(Por patrón de consumo energético y agregado)

Variable	EPG	EP	EG	E	Agregado
<b>ln(Consumo Gas relativo)</b>					
ln trabajadores	0.0301*		0.0727***		0.0181
ln valor bruto producción	-0.0131		-0.0561***		-0.00153
ln(precio gas relativo)	0.379***		0.355***		0.332***
ln(precio pet. relativo)	-0.0235**		-0.11***		-0,109***
ln(Consumo Gas relativo) <sub>t-1</sub>	0.7***		0.677***		0.695***
constante	-0.754*		0		0,0636
<b>ln(Consumo Petróleo relativo)</b>					
ln trabajadores	-0.0826***	-0.0365*			-0.0805***
ln valor bruto producción	-0.0147	-0.0212			-0.0107
ln(precio pet. relativo)	0.271***	0.29***			0.18***
ln(precio gas relativo)	0.016	-0.00648			-0,006
ln(Consumo Gas relativo) <sub>t-1</sub>	0.7***	0.717***			0.695***
constante		-0.21			
<b>ln(Consumo electricidad)</b>					
ln trabajadores				0,0799***	
ln valorbruto producción				0,179**	
ln Precio electricidad				0,0269*	
ln Consumo electricidad <sub>t-1</sub>				0,761***	
constante				-1,11***	
Número obs.	16.150	14.610	6.229	11.808	16.150
R <sup>2</sup> ajustado (ec.1)	0,6162	0,6347	0,6223	0,8403	0,6152
(ec.2)	0,646				0,6443

Niveles de significancia \* p<0.1; \*\* p<0.05; \*\*\* p<0.01

*Dummies* por actividad económica, año y zona geográfica no reportadas.

Consumo gas y consumo petróleo es relativo al consumo de electricidad.

Para el caso del patrón *EPG* y el total de la muestra, se estimaron tanto las demandas condicionales del gas como la del petróleo relativas a la electricidad (en negrita en la tabla). Para el caso del patrón *EP* se estimó la correspondiente

demanda condicional relativa del petróleo y para el caso del patrón *EG* la demanda condicional relativa del gas. Para el subgrupo de firmas que únicamente utilizan electricidad para su producción (cuarta columna), se estimó directamente la demanda de la electricidad. Tal como se describió en la metodología, las variables explicativas para cada demanda fue el tamaño de la empresa medida por el número de trabajadores, el valor bruto de producción, los precios relativos correspondientes y el rezago del consumo del insumo en cuestión relativo a la electricidad. Todas las variables se encuentran expresadas en logaritmos.

Las *dummies* para cada año, si bien no se reportan en el cuadro anterior, capturan los diversos aspectos temporales que puedan afectar la demanda de cada combustible (por ejemplo, las restricciones del envío de gas natural a nuestro país desde Argentina entre los años 2004 y 2006, las sequías, entre otros). También se incorporan *dummies* por zona geográfica (norte, centro y sur) y por actividad económica según CIIU2, las cuales tampoco se muestran en el cuadro de resultados por un tema de espacio.

En primer lugar, respecto al valor bruto de la producción, se aprecia que éste es significativo en el modelo del patrón *EG* y del patrón *E*, indicando que en ambos casos no se cumple la hipótesis de homoteticidad de la función de producción, es decir, la escala de producción si es relevante al determinar las demandas condicionales de los insumos. Por su parte, la variable que refleja el tamaño de la firma, es significativa en todas las estimaciones de los patrones de consumo pero no cuando se estima el modelo agregado. Lo anterior, indicaría que se rechaza la hipótesis de separabilidad de los factores productivos de la función de producción (insumos energéticos y trabajo). Ambas variables, indican por tanto que la minimización de los costos de los insumos energéticos está sujeto a un nivel dado de uso de mano de obra y de la escala de producción, al igual que lo encontrado en Benavente *et al.* (2010).

Respecto a los parámetros relacionados a los precios, se observa que el precio del gas relativo a la electricidad no es significativo en la ecuación de demanda condicional del petróleo en ninguna de las estimaciones (patrón *EPG*, *EG* y

agregado). Mientras que el resto de los precios son estadísticamente significativos en todas las estimaciones.

Por último, respecto al valor de  $\lambda$  que es el parámetro de ajuste de la demanda al incorporar la dinámica de corto y largo plazo (coeficiente que acompaña al rezago del consumo del insumo), se puede apreciar que éste es altamente significativo y de gran magnitud, lo que indicaría un rezago importante en el ajuste. En particular, se tiene que para el caso del patrón *EPG* un 70% del ajuste total de la demanda en el largo plazo se realiza con rezago y un 30% se realiza en el año, similar al valor del patrón *EP* (72%). Para el caso del patrón *EG*, el valor es levemente menor (68%) y en el caso de las firmas que solo consumen electricidad, el ajuste también es un 70%.

Luego, a partir de los coeficientes estimados, se pueden obtener las elasticidades propias y cruzadas de las demandas de los insumos energéticos y las elasticidades de sustitución, tanto para el corto plazo como para el largo plazo. Cabe recordar que  $\eta_{ij}$  representa la elasticidad precio de la demanda de  $i$  ante un cambio en el precio de  $j$ , y  $\sigma_{ij}$  representa la elasticidad de sustitución del ratio de los consumos entre  $i$  y  $j$  ante un cambio en el ratio de sus precios manteniendo el producto constante y permitiendo que el resto de los insumos se ajusten de manera óptima.

En el Cuadro 21 se muestran las elasticidades propias, cruzadas y de sustitución calculadas por patrón de consumo y para el agregado en el corto y largo plazo. Lo primero que hay que señalar es que todas las elasticidades propias son negativas, en línea con lo que señala la teoría económica. Luego, llama la atención que en el agregado, sea la elasticidad del petróleo tanto para el corto como el largo plazo la más inelástica entre los distintos insumos energéticos. En particular, si el precio del petróleo sube en un año un 10%, el consumo de éste se reduce en un 3,8%. Para el caso del gas, en ese mismo ejercicio (un alza en su propio precio), el consumo se reduciría un 5,7% y en la electricidad un 4,4%. En el largo plazo, todas superan la unidad en valor absoluto, indicando una mayor sensibilidad a las variaciones de los precios.

DIVERSIFICACIÓN Y SUBSTITUCIÓN DE INSUMOS ENERGÉTICOS

Cuadro 21: Elasticidades propias y cruzadas de Corto y Largo Plazo  
(Por patrón y agregado, datos a nivel de planta)

$\eta_{ij}$	EPG		EP		EG		E		Agregado	
	CP	LP	CP	LP	CP	LP	CP	LP	CP	LP
$\eta_{PP}$	-	-	-	-					-	-
	0,405	1,352	0,348	1,231					0,384	1,282
$\eta_{PG}$	0,079	0,264							0,043	0,142
$\eta_{PE}$	0,326	1,087	0,351	1,243					0,342	1,140
$\eta_{GP}$	0,225	0,750							0,281	0,936
$\eta_{GG}$	-	-			-	-			-	-
	0,523	1,744			0,555	1,718			0,568	1,895
$\eta_{GE}$	0,298	0,993			0,433	1,341			0,288	0,959
$\eta_{EP}$	0,241	0,803	0,359	1,272					0,300	1,000
$\eta_{EG}$	0,098	0,326			0,212	0,655			0,052	0,175
$\eta_{EE}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,371	1,236	0,363	1,283	0,090	0,278	0,027	0,113	0,444	1,481

Fuente: Elaboración propia.

Donde G=Gas, P=Petróleo, E=Electricidad.

CP= Corto plazo y LP=Largo plazo.

Las elasticidades cruzadas, por su parte, muestran que todos los combustibles son sustitutos. En general, la reacción de las demandas de los insumos ante un cambio en el precio del gas es la de menor magnitud, lo cual tiene relación con la menor proporción que representa el gas sobre el costo total energético.

Por otro lado, es interesante constatar cómo cambian las elasticidades entre patrones de consumo. Por ejemplo, al comparar las elasticidades del petróleo y la electricidad entre el patrón *EPG* y el patrón *EP*, se tiene que tanto la elasticidad propia del petróleo como de la elasticidad son más altas en el patrón *EPG*, mientras que las elasticidades cruzadas son más altas en el patrón *EP*. Lo último, podría reflejar el hecho que ante un cambio en el precio de uno de estos dos insumos, el ajuste en las demandas se disipa al considerar un tercer insumo (el gas) para el caso del patrón *EPG*. Sin embargo, al comparar las elasticidades del gas y la electricidad entre el patrón *EPG* y el patrón *EG*, tanto la elasticidad propia del gas como las elasticidades cruzadas son mayores



DIVERSIFICACIÓN Y SUBSTITUCIÓN DE INSUMOS ENERGÉTICOS

en el patrón *EG*, siendo la excepción la electricidad propia de la electricidad que es considerablemente menor (más inelástica) en este último caso.

En relación a las elasticidades de sustitución, cabe recordar que éstas no son simétricas. Luego,  $\sigma_{GP} > \sigma_{PG}$  indica que la razón de *P/G* es más sensible ante cambios en el precio del petróleo que del gas, mientras que sucede lo contrario al analizar la relación entre el petróleo y la electricidad. En este caso,  $\sigma_{PE} > \sigma_{EP}$ , es decir, la razón de *P/E* es más sensible ante cambios en el precio de la electricidad que del petróleo. Lo mismo ocurre con la relación entre el gas y la electricidad, donde  $\sigma_{GE} > \sigma_{EG}$  indica que la razón de *G/E* también es más sensible al precio de la electricidad.

Si bien el análisis se mantiene para el patrón *EPG* y *EP*, en el caso del conjunto de firmas que utilizan electricidad y gas (patrón *EG*), la desigualdad cambia de dirección. Es decir, para este caso ocurre que  $\sigma_{EG} > \sigma_{GE}$ , lo cual indica que la razón entre ambos consumos es más sensible al cambio en el precio del gas.

Cuadro 22: Elasticidades de sustitución de Corto y Largo Plazo  
(Elasticidades Morishima, por patrón y agregado, datos a nivel de planta)

$\sigma_{ij}$	EPG		EP		EG		E		Agregado	
	CP	LP	CP	LP	CP	LP	CP	LP	CP	LP
$\sigma_{PG}$	0,602	2,008							0,611	2,036
$\sigma_{PE}$	0,697	2,323	0,714	2,526					0,786	2,621
$\sigma_{GP}$	0,630	2,102							0,665	2,218
$\sigma_{GE}$	0,669	2,229			0,523	1,618			0,732	2,440
$\sigma_{EP}$	0,646	2,154	0,707	2,503					0,684	2,282
$\sigma_{EG}$	0,621	2,070			0,767	2,373			0,621	2,070
$\sigma_{ij}$	0,602	2,008							0,611	2,036
$\sigma_{PG}$	0,697	2,323	0,714	2,526					0,786	2,621
$\sigma_{PE}$	0,630	2,102							0,665	2,218

Fuente: Elaboración propia.

Donde G=Gas, P=Petróleo, E=Electricidad. Las elasticidades de sustitución son calculadas en la media de cada *share*.

CP= Corto plazo y LP=Largo plazo.

## 8 Comentarios Finales

En este trabajo se han utilizado datos microeconómicos para caracterizar de forma detallada el consumo energético de las empresas en el sector manufacturero de nuestro país, constituyendo así un aporte relevante para la evidencia empírica existente en Chile. Para esto, se utilizó una base de datos de panel para el periodo comprendido entre los años 1995 al 2007.

En primer lugar, destaca la alta dependencia de las empresas al petróleo y sus derivados como fuente energética aparte de la electricidad. A pesar que, en todos los años analizados se distinguen hasta 347 patrones de consumo o combinaciones de combustibles diferentes, demostrando la factibilidad técnica y económica del uso de distintos insumos, sólo 15 combinaciones representan más de tres cuartas partes del total de observaciones. Respecto al uso de la electricidad como único insumo, destaca que éste ha ido cayendo a lo largo del tiempo, desde un 26,3% en el año 1995 a un 16,8% en el 2007, revelando que el consumo de combustibles ha ido adquiriendo cada vez más importancia. De hecho, en promedio, cerca del 40% del gasto en energía corresponde a combustibles y el resto a la electricidad.

Por su parte, en relación a la diversificación del gasto energético, se aprecia que en promedio las empresas utilizan 2,5 combustibles al año. Dentro de las empresas que viven más de un año, un 72,7% cambia alguna vez de patrón energético en el periodo analizado, realizando en promedio 3,2 cambios y utilizando 3,4 patrones diferentes. Por otro lado, es interesante destacar la diferencia significativa de edad entre las empresas que cambian de patrón de aquellas que no lo hacen (7,4 años versus 3,8 años), a pesar de que pareciera ser que la edad no es una limitación para cambiar de patrón. Esto porque un 48,7% de las empresas que sí cambian alguna vez de patrón lo hacen sólo un año después de haber entrado a la muestra<sup>18</sup>.

---

<sup>18</sup> Sin embargo, hay que analizar con cautela estas cifras, debido a que la entrada de una empresa en la muestra no significa necesariamente su “nacimiento”, ya que puede ocurrir que una empresa existente deje de ser catalogada como vigente por el SII en un año, y vuelva adquirir este estado después. Sería

Si se hace una distinción según el tamaño de las empresas (de acuerdo al número de trabajadores), se pueden evidenciar grandes diferencias respecto a la evidencia recién mostrada. Mientras las microempresas que cambian de patrón ascienden sólo a un 38,2% del total, dicho porcentaje para las pequeñas es 72,7%, en las medianas es 83,2% y en las grandes 87,5%. Además, el número de cambios y patrones diferentes de las grandes empresas es el doble que aquel presentado por las microempresas.

Por último, en este trabajo se estimó la sensibilidad de las demandas de los insumos energéticos y el grado de sustitución entre éstos a través del cálculo de sus elasticidades, comprobando que todos los insumos energéticos son sustitutos entre sí. Además se tiene, con la excepción de los cambios en los precios del gas, que las magnitudes de las elasticidades son significativas. De hecho, en el largo plazo se ven elasticidades de sustitución mayores a 2 para todos los casos. Este resultado es relevante desde el punto de vista de las empresas, ya que refleja el hecho de que éstas si reaccionan ante cambios en los precios relativos de los insumos energéticos con tal de minimizar sus costos en el largo plazo, y además abre la posibilidad de implementar diferentes políticas que incentiven el uso de determinados insumos, ya sea porque son más limpios o porque presentan una tecnología subyacente más eficiente.

En definitiva, la motivación principal de este trabajo es aportar al debate acerca de la importancia que tiene la diversificación energética para nuestro país, ya sea como mecanismo de adaptación ante los shocks energéticos, cortes de suministro, y cualquier otro fenómeno que afecte la seguridad energética a nivel agregado y la productividad a nivel microeconómico. Dado que Chile es un país que presenta altos costos energéticos, puede ser de gran utilidad para la política energética del país, conocer la efectividad que tiene la inversión en nuevas tecnologías que permitan cambiarse de un insumo a otro al modificar la combinación o *mix* energético de ser necesario.

---

ideal para esto contar con una variable que indicara el año de inicio de actividades de una empresa, sin embargo, la base de datos de la ENIA no incorpora esta variable.

De todas formas, la evidencia aún es incipiente e incompleta, por lo que deben hacerse más estudios al respecto para poder tener una noción más acabada de los mejores mecanismos para aumentar la diversificación y seguridad energética tanto a nivel micro como agregado. De partida, en trabajos futuros se podría evaluar el impacto que tienen los *shocks* en los precios de los insumos sobre la inversión del stock de capital y con esto sobre la diversificación y eficiencia energética. Una de las principales limitaciones de los datos en los que se basa este estudio, es que no se cuenta con el uso que se le da a los diferentes insumos energéticos, ni tampoco mayores características de la tecnología utilizada en la producción. Por otro lado, se podría investigar cómo el uso de capital más tecnológico y que permita un uso más eficiente de la energía, afecta el desempeño de las empresas medido a través del valor agregado y productividad.

Adicionalmente, sería de gran relevancia incorporar el uso de las energías renovables en las encuestas con datos microeconómicos, para así poder evaluar el impacto de las diversas políticas y programas en materia energética que se han implementado y que están por implementarse en el futuro en nuestro país y que tienen por objetivo incentivar una mayor diversificación y uso de fuentes menos contaminantes. Por lo demás, el análisis presentado en este trabajo sólo incorpora a empresas del sector manufacturero, pudiendo extenderse posteriormente a otros sectores de la economía como la minería, donde estas empresas constituyen una parte importante de la demanda energética de la zona norte del país.

Lo que sí está claro, es que las autoridades deben tomar un rol más activo en el diseño de una estrategia energética de largo plazo, fundamentada en la evidencia empírica tanto nacional como internacional. A pesar de que la evolución de la matriz energética depende de varios factores como la disponibilidad de recursos, los costos de producción, los beneficios medioambientales y los avances tecnológicos, la diversificación de los diferentes insumos energéticos utilizados para la producción es uno de los más significativos, siendo considerada como una de las principales propuestas para crecer de forma sostenida y sustentable. De hecho, el reconocimiento mundial del impacto medioambiental que tiene la excesiva dependencia de combustibles fósiles ha aumentado en los últimos años

y ha hecho que los países centren su atención en la necesidad de una matriz energética más limpia y diversificada. En este sentido, Chile aún se encuentra rezagado, por lo que se requiere con urgencia de medidas estratégicas de política y de considerables inversiones para desarrollar nuevas fuentes energéticas que actualmente son muy costosas.

## Bibliografía

Akerberg, D., Benkard, C.L., Berry, S. y Pakes, A. (2007) “Econometric tools for analyzing market outcomes”. Handbook of Econometrics (Vol. 6(1), pp. 4171–4276).

Aghion, P., Howitt, P., (2009) “The Economics of Growth”, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts London, England.

Álvarez, R. y Fuentes, J.R. (2009) “Labor Market Regulation and Productivity” Mimeo, Pontificia Universidad Católica de Chile

Álvarez, R., García, A., García, P (2008): “Shocks de Energía y Productividad en la Industria Manufacturera Chilena”. Documento de Trabajo N°482, Banco Central de Chile.

Apostolakis, B.E. (1990): “Energy-Capital Substitutability/Complementarity: The Dichotomy”, Energy Economics 1, 48-58.

Barsky R. y Kilian, L. (2004). "Oil and the Macroeconomy Since the 1970s," NBER Working Papers 10855, National Bureau of Economic Research, Inc.

Benavente, J.M., Galetovic, A, Sanhueza, R. y Serra P., (2004): “Estimando la demanda residencial por electricidad en Chile: a doña Juanita le importa el precio”, Documentos de Trabajo 192, Centro de Economía Aplicada, Universidad de Chile.

Benavente, J.M, Gómez-Lobo, A., Turén J. y Vásquez J. (2010): “Estudio de Demanda Energética para el Sector Industrial Manufacturero y Minero de Chile”, Departamento de Economía, Universidad de Chile.

Berndt, E.R., y Wood D. (1975): "Technology, Prices, and the Derived Demand for Energy". The Review of Economics and Statistics, Vol. 57, No. 3, pp. 259-268. The MIT Press.

Berndt, E.R., y Wood D. (1984): " Energy price changes and the induced revaluation of durable capital in U.S. manufacturing during the OPEC decade ". MIT Energy Laboratory Working Paper No. 84-003. Cambridge, Mass.

Berndt, E.R. (1987a): "Energy price shocks and productivity growth: A survey". *Energy: Markets and regulation-essays*, Cambridge, Mass. MIT Press.

Berndt, E.R. (1987b): "Interindustry differences in the effects of energy price-induced capital utilization changes on multifactor productivity measurement ". *Advances in the economics of energy and resources*, Greenwich, Conn. JAI Press

Berndt, E.R., Mori, S., Sawa, T. y Wood, D. (1991): "Energy Price Shocks and Productivity Growth in the Japanese and U.S. Manufacturing Industries", *Productivity Growth in Japan and the United States*, pp 173-199, University of Chicago Press.

Berndt, E.R., Kolstad, Ch., Lee, J.K. (1993): "Measuring the Energy Efficiency and Productivity Impacts of Embodied Technical Change", *The Energy Journal* 14, p 33 – 55.

Bjorner, TB., y Jensen, H.H, (2002): "Interfuel substitution within industrial companies: an analysis based on panel data at company level". *Energy Journal* 23 (2), 27-50.

Blanchard, O.J., y J. Galí (2007): "The Macroeconomic Effects of Oil Shocks: Why are the 2000s so Different from the 1970s?", NBER Working Paper No. 13368.

Bohi, D.R. y M.A. Toman (1993): "Energy security: externalities and policies", *Energy Policy* 21(11), pp. 1093-1109.

Bohi, D.R. y M.A. Toman (1996): "The Economics of Energy Security", Kluwer Academic Publishers: Boston.

Bousquet, A. y Ladoux, N., (2004): "Flexible versus Designated Technologies and Inter-Fuel Substitution," IDEI Working Papers 282, Institut d'Économie Industrielle (IDEI), Toulouse.

Bousquet, A. y Ladoux, N., (2004): "Fuel-Switching Capability," IDEI Working Papers 322, Institut d'Économie Industrielle (IDEI), Toulouse.

Broadstock D., Hunt L., Sorrell S (2007): "Review of Evidence from the Rebound Effect – Technical Report 3: Elasticity of substitution studies". UK Energy Research Centre, London.

Cho, WG, Nam, K., y Pagán, J.A., (2004): "Economic growth and interfactor/interfuel substitution in Korea", *Energy Economics*, Vol. 26, pp. 31-50.

CNE (2004): "Regulación del Mercado Eléctrico en Chile", presentación en la VIII Reunión Annual Iberoamericana de Reguladores de Energía.

CNE (2008): "Política Energética: Nuevos Lineamientos. Transformando la crisis energética en una oportunidad", Comisión Nacional de Energía.

De Loecker, J. (2007): "Product Differentiation, Multi-product Firms and Estimating the Impact of Trade Liberalization on Productivity". NBER Working Papers 13155, National Bureau of Economic Research, Inc.

De Loecker, J., y Konings, J., (2006): "Job reallocation and productivity growth in a post-socialist economy: evidence from Slovenian manufacturing". *European Journal of Political Economy* 22, 388-408.

Echavarría, G, Jervis, P. y Soto C., (2008): "Impacto del Costo de la Energía en la Medición del PIB Potencial en el Escenario Central de Proyecciones". Documento de Trabajo, Banco Central de Chile.

Field, B., y Grebenstein, Ch. (1980): "Capital-Energy Substitution in U.S. Manufacturing", *The Review of Economics and Statistics*, vol 62, núm. 2, páginas 207-212.

Fuss, M.A. (1977): "The Demand for Energy in Canadian Manufacturing: An Example of the Estimation of Production Structures with Many Inputs". *Journal of Econometrics* 5, p 89-116.

Griffin, J. y C. Schulman (2005): "Price Asymmetry: A Proxy for Energy Saving Technical Change?", *The Energy Journal* Vol. 26 n°2, 1-21.

Griffin, J.M. (1981): "Engineering and Econometric Interpretations of Energy-Capital Complementarity: Comment". *The American Economic Review* Vol.71 N°5; p 1100-1104.

Griffin, J.M., Gregory, P.R. (1976): "An Intercountry Translog Model of Energy Substitution Responses", *American Economic Review* 66, 845-857.



Halvorsen, R. (1977): "Energy substitution in U.S. manufacturing", *The review of economics and statistics*, MIT Press, Cambridge, Vol. 59.1977, 4, p. 381-388.

Hamilton J. D. (1983): "Oil and the Macroeconomy since World War II", *The Journal of Political Economy*, Vol. 91, No 2, pp 228-248, The University of Chicago Press.

Hamilton J. D. (2009): "Understanding Crude Oil Prices", *Energy Journal* 2009, vol 30, no. 2, pp. 179-206.

Hooker, M.A. (1996): "What Happened to the Oil Price-Macroeconomy Relationship," *Journal of Monetary Economics*, 38, 195-213.

IEA (2014): "Electricity Information (2014 Edition)". International Energy Agency, Statistical Publications.

IEA (2009): "Chile. Energy Policy Review 2009", OECD/International Energy Agency, France.

Jacob, M., Haller, M. y Marschinski, R. (2011): "Will History Repeat Itself? Economic Convergence and Convergence in Energy Use Patterns", Postdam Institute for Climate Impact Research (PIK).

Kilian, L. (2005): "Exogenous Oil Supply Shocks: How Big Are They and How Much do they Matter for the US Economy?," CEPR Discussion Papers No5131, Centre for Economic Policy Research.

Kilian, L. (2007): "Not All Oil Price Shocks Are Alike: Disentangling Demand and Supply Shocks in the Crude Oil Market," Mimeo, University of Michigan.

Kilian, L., (2009): "Oil Price Shocks, Monetary Policy and Stagflation," CEPR Discussion Papers 7324, C.E.P.R. Discussion Papers.

Koetse, M., de Groot, H. y Florax R. (2008): "Capital-energy substitution and shifts in factor demand: a meta-analysis", *Energy Economics*, 30,2236-51.

Kratena, K y Wüger, M, (2003). "The Role of Technology in Interfuel Substitution: A Combined Cross-Section and Time Series Approach," WIFO Working Papers 204, WIFO.

Lee, K., S. Ni, y R.A. Ratti (1995): "Oil Shocks and the Macroeconomy: The Role of Price Variability," *Energy Journal*, 16, 39-56.

Levinsohn, J., y A. Petrin (2003). "Estimating Production Functions Using Inputs to Control for Unobservables," *Review of Economic Studies* 70(2): 317-341.

Löschel, A., Moslener, U. y Rübbelke, D. (2010): "Energy security-- concepts and indicators," *Energy Policy*, Elsevier, vol. 38(4).

Magnus, J.R. y A.D. Woodland, (1987): "Inter-Fuel Substitution in Dutch Manufacturing", *Applied Economics* Vol.19, 1639-1644.

McRae, R. (1985). "The implications of capital revaluation to the demand for energy in Canadian manufacturing". *Papers and Proceedings, Seventh Annual International Conference of the International Association of Energy Economists*.

Miller, E.M. (1986): "Cross-Sectional and Time- Series Biases in Factor Demand Studies: Explaining Energy-Capital Complementary", *Southern Economic Journal* 52, 745-762.

Mori, S., y Sawa T. (1985). "Revaluation of durable capital stock in Japanese manufacturing during the OPEC decade". *Papers and Proceedings, Seventh Annual International Conference of the International Association of Energy Economists*.

Mork, K.A. (1989): "Oil and the Macroeconomy. When Prices Go Up and Down: An Extension of Hamilton's Results," *Journal of Political Economy*, 97, 740-744.

Morrison, C. (1993): "Energy and Capital: Further Exploration of E-K Interactions and Economic Performance," *The Energy Journal*, International Association for Energy Economics, vol. 0(Number 1), páginas 217-244.

Muga, R. (2013): "Desafíos eléctricos para Chile", presentación en Provexpo, La Serena. Generadoras de Chile A.G.

Nguyen, S., Andrews, S., (1989): "The Effect of Energy Aggregation on Energy Elasticities: Some Evidence from U.S. Manufacturing Data," *The Energy Journal*, International Association for Energy Economics, vol. 0(Number 1), páginas 149-156.

OLADE (2014): "Informe de Estadísticas Energéticas 2014". Organización Latinoamericana de Energía.

Olley, G.S. y A. Pakes (1996): "The Dynamics of Productivity in the Telecommunications Equipment Industry," *Econometrica* 64(6): 1263-1297.

O`Ryan, R., de Miguel, C., Pereira, M. y Lagos C., (2008): "Impactos Económicos y Sociales de Shocks Energéticos en Chile: Un Análisis de Equilibrio General", Documento de Trabajo No 466, Banco Central de Chile.

Paderes, R. (2001): "Regulación Económica en Chile: la Opción de un enfoque no estructural", en F. Larraín y R. Vergara (editores), *La transformación económica de Chile*, Santiago, Centro de Estudios Públicos (CEP).

Pedersen, M., Ricaurte, M., (2013): "Efectos de Shocks al Precio del Petróleo sobre la Economía de Chile y sus Socios Comerciales", Documento de Trabajo No 691, Banco Central de Chile.

Pincheira, P., García, A., (2007): "Impacto inflacionario de un shock de precios del petróleo: análisis comparativo entre Chile y países industriales", Documento de Trabajo No 413, Banco Central de Chile.

Pindyck, R.S. (1979): "Interfuel Substitution and the Industrial Demand for Energy: An International Comparison", *Review of Economics and Statistics* 61, p 169-179.

Rotemberg, J., y Pindyck, R. (1984) "Energy Price Shocks and Macroeconomic Adjustment." In *Oil Shock: Policy Response and Implementation*, Cambridge: Ballinger Publishing Company, 1984.

Soest, D.P. van, Kuper, G.H. y Jacobs, J., (2000): "Threshold effects of energy price changes," Research Report 00C31, University of Groningen, Research Institute SOM (Systems, Organisations and Management).

Steinbuks, J., Meshreky, A. y Neuhoff, K., (2009): "The Effect of Energy Prices on Operation and Investment in OECD Countries: Evidence from the Vintage Capital Model", Cambridge Working Papers in Economics 0933, Faculty of Economics, University of Cambridge.

Solow, R., (1957): "Technical Change and the Aggregate Production Function", *Review of Economics and Statistics*, Vol. 39 (Agosto), pp. 312-20.

Stern, D. I., (2008): "Elasticities of Substitution and Complementarity", MPRA Paper 12454, University Library of Munich, Alemania.

Stern, D. I., (2009): "Interfuel Substitution: A Meta-Analysis", MPRA Paper 13734, University Library of Munich, Alemania.

Stern, D. I., (2010): "The Role of Energy in Economic Growth," CCEP Working Papers 0310, Centre for Climate Economics & Policy, Crawford School of Public Policy, The Australian National University.

Treadway, A.B, (1971): "The Rational Multivariate Flexible Accelerator", *Econometrica* 39, 845-856.

Urga, G., Walters, C., (2003): "Dynamic translog and linear logit models: a factor demand analysis of interfuel substitution in US industrial energy demand", *Energy Economics*, 25, pp. 1-22.

Uzawa, H., (1962), "Production Functions with Constant Elasticities of Substitution", *Review of Economic Studies*, 291-299.

Van Beveren, I., (2010): "Total Factor Productivity Estimation: a Practical Review". *Journal of Economics Surveys*.

Welsch, H. y Ochsén, C., (2005). "The determinants of aggregate energy use in West Germany: factor substitution, technological change, and trade," *Energy Economics*, 27, pp. 93-111.

## Anexos

### Anexo 1: Estructura y propiedad en subsectores energéticos

El mercado eléctrico chileno, como ya se mencionó, comprende actividades de generación, transmisión y distribución de electricidad, siendo desarrolladas por empresas privadas, mientras que el Estado cumple las funciones de regulación, fiscalización y orientación de inversiones en generación y transmisión a través de la Comisión Nacional de Energía (CNE) y la Superintendencia y Combustibles (SEC) (CNE, 2008). La regulación del mercado eléctrico está basada en los siguientes principios de eficiencia: generación de competencia donde sea posible; regulación sólo cuando existen fallas de mercado; precios que reflejen costos; ausencia de subsidios cruzados evitables; iniciativa privada como eje del sistema y reglas claras para asegurar eficiencia dinámica en la inversión (CNE, 2004).

En relación a la estructura del mercado de generación, cabe destacar que las firmas pertenecen a un mercado competitivo, donde variaciones en el precio al consumidor final reflejan variaciones en el costo marginal de producción y los riesgos de mercado se enfrentan a través de contratos de venta con clientes libres (con capacidad conectada mayor o igual a 2 mil kW) y/o regulados. Además, son las mismas firmas las que deciden y planifican las inversiones en cuanto a ubicación, tecnologías y escala de generación. Sin embargo, en la práctica la generación está concentrada en pocas empresas, por lo cual se infiere un problema de incentivos para la entrada de nuevos actores (Muga, 2013).

En cuanto a la transmisión<sup>19</sup> y distribución, se caracterizan por constituir monopolios naturales, donde la primera se adjudica mediante licitaciones y los retornos de la inversión se establecen según costos de mercado, mientras que la segunda son concesiones y se enfrentan a tarifas reguladas. Las empresas transmisoras tienen la obligación de dar servicio a quien lo requiera, y es de su responsabilidad invertir en nuevas instalaciones o ampliaciones de las líneas de

---

<sup>19</sup> El sistema de transmisión se denomina al conjunto de líneas, subestaciones y equipos destinados al transporte de electricidad desde las generadoras hasta los centros de distribución, que tengan un voltaje o tensión superior a los 23 mil volts.

transmisión. La coordinación de la operación de las centrales generadoras y las líneas de transmisión es efectuada por los Centros de Despacho Económico de Carga (CDEC). Al cierre del año 2013, habían instaladas en el país 151.000 km de líneas de distribución y 15.059 km de transmisión.

Entre las empresas generadoras del SIC utilizando datos para el 2013 destaca ENDESA S.A. (29,5% de la generación), Colbún S.A. (22,8% de la generación) y AES Gener S.A. (14,1% de la generación). La primera, es controlada por el Grupo Enel (Italia) a través de ENERSIS S.A que posee el 59,98% de las acciones de ENDESA. Además destaca que ese mismo año, ENDESA compró el 50% de Gas Atacama (genera el 4,3% de la energía del SING), con lo cual ahora tiene el 100% de su propiedad. Los principales accionistas de Colbún, por su parte, son Minera Valparaíso S.A (35,17%), Forestal Cominco S.A. (14,00%) y ANTARCHILE (9,58%). Por último, Inversiones Cachagua SpA posee el 70,71% de AES Gener. Estas tres empresas representan el 66,4% de la generación de energía del SIC. Por su parte, también para el año 2013 entre las empresas generadoras del SING destaca E-CL S.A. (52,1% de la generación) y AES Gener (36,2% de la generación). La primera es controlada por el grupo GDF Suez (Francia), el cual posee el 52,77% de la propiedad. Estas dos empresas representan el 88,3% de la generación de energía del SING.

Dentro de las empresas transmisoras destaca Transelec S.A., la cual cuenta con un sistema de transmisión de 9.271 kilómetros de líneas de transmisión de simple y doble circuito y posee 56 subestaciones, teniendo en el SIC el 85% del total de las líneas de transmisión del sistema troncal, mientras que es propietaria del 100% en el SING (Memoria Transelec Año 2013). Dicha empresa, que inicialmente era de propiedad de ENDESA, actualmente es propiedad del consorcio canadiense Brookfield Asset Management, a través de Transelec Holdings Rental LTDA que posee el 99,99% de las acciones.

Por último, dentro de las empresas distribuidoras destaca Chilectra S.A., CGE Distribución S.A. y Chilquinta Energía S.A. En primer lugar, Chilectra pertenece también al Grupo Enel a través de ENERSIS S.A. que posee el 99,08% de las acciones. CGE Distribución por su parte es de propiedad de Compañía

General de Electricidad S.A., la cual posee el 99,34% de las acciones. Chilquinta pertenece al Grupo Sempra Energy (Estados Unidos) a través de Inversiones Sempra Ltda que posee el 100,00%<sup>20</sup>. La primera tuvo 1.693.948 clientes, la segunda tuvo 1.718.228 clientes y la tercera 535.707 clientes durante el 2013.

---

<sup>20</sup> Los datos de los principales accionistas de las empresas nombradas provienen de [www.svs.cl](http://www.svs.cl) y corresponde a la información entregada a septiembre del 2014. Por su parte, la información sobre la participación de las empresas en la generación por sistema corresponde a lo informado por SysteP a septiembre de 2014 para el SIC y a agosto de 2014 para el SING.

## Anexo 2: Normativa del sector eléctrico y agenda energética<sup>21</sup>

La legislación en materia energética en nuestro país tiene sus comienzos hace ya casi 90 años atrás. En particular, la primera Ley General de Servicios Eléctricos (LGSE) fue publicada en el Diario Oficial el 18 de febrero de 1925 mediante el DL N° 252, a la cual le siguieron varias modificaciones como la del 30 de mayo de 1931 (DFL N° 244) y el 31 de agosto de 1959 (DFL N° 4). Por su parte, el 8 de Junio de 1978 (DFL N° 2224), se crea la Comisión Nacional de Energía (CNE), cuya principal función es elaborar y coordinar los planes, políticas y normas para el buen funcionamiento y desarrollo del sector.

Si bien, hasta entonces se habían realizado mejorías a la ley, no fue hasta principios de la década de los 80s donde la normativa en el sector eléctrico sufrió un giro más significativo. En aquel entonces, se tuvo como principal objetivo revertir la preponderancia estatal que había comenzado desde la década de los 50s, con tal de aumentar la participación privada y así incrementar la eficiencia del sector de generación energética. Para esto, se dicta el 29 de diciembre de 1982 la cuarta Ley General Eléctrica (DFL N° 1), la cual pretendía establecer las reglas del juego lo más claras y objetivas posibles para así lograr un desarrollo sostenido y estable del mercado eléctrico<sup>22</sup>. Dicha ley, fue pionera en el mundo al introducir la metodología marginalista de fijación de precios.

Luego, el 22 de enero 1985, se dicta el Reglamento de Centros de Despacho Económico de Carga (DS N°34), el cual introduce mecanismos de coordinación

---

<sup>21</sup> Toda la información relacionada a las diferentes leyes proviene de [www.leychile.cl](http://www.leychile.cl).

<sup>22</sup> A esta ley, le siguieron varias modificaciones como la ley N° 18.196 (29 de diciembre de 1982) sobre *Normas Complementarias de Administración Financiera, Personal y de Incidencia Presupuestaria* y sus diferentes cambios: ley N° 18.482, (28 de diciembre de 1985), ley 18.681 (31 de diciembre de 1987) y ley N° 18.768, (29 de diciembre de 1988); ley N° 18.341 (14 de septiembre de 1984) que *Modifica el Decreto con Fuerza de Ley N° 1 de 1982*; ley N° 19.489, (28 de diciembre de 1996) que *Modifica Ley General de Servicios Eléctricos en materia de tarifas a usuarios finales*; ley N° 19.613, (08 de junio de 1999) que *Modifica la Ley N° 18.410, Orgánica de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, y el Decreto con Fuerza de Ley N° 1, de 1982, de Minería, Ley General de Servicios Eléctricos, con el objeto de fortalecer el régimen de fiscalización del Sector*; ley N° 19.674, (03 de mayo de 2000) que *Modifica el D.F.L. N° 1, de 1982, de Minería, Ley General de Servicios Eléctricos, con el objeto de regular los cobros por servicios asociados al suministro eléctrico que no se encuentran sujetos a fijación de precios*.



de la operación de sistemas de generación y transmisión y se crea formalmente el 22 de mayo de 1985 (Nº 18.410) la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, la cual ya existía desde 1904. El 12 de febrero de 1990 se dicta la Ley de Peajes (Ley Nº18.990), la cual define peajes básicos y peajes adicionales, los cuales se fijan por acuerdo entre las partes y en caso contrario por arbitraje. Ocho años más tarde, el 10 de septiembre de 1998, se dicta el Reglamento Eléctrico (DFL Nº327), el cual reglamenta el cálculo de peajes y crea las Direcciones de Operación y Peajes en los CDEC. Además, tal como se señala en dicho decreto, la reglamentación complementaria al DFL Nº1 de 1982 existente hasta esa fecha era incompleta y en parte, superada por los avances tecnológicos, y era necesario dictar un reglamento que contenga en forma íntegra las diversas materias normadas por la LGSE.

A raíz de los problemas de suministros tras la crisis del gas argentino, se comenzaron a tomar acciones que potenciaran una mayor competencia en la generación de la energía y que perfeccionaran la regulación en la transmisión y distribución. En esta línea, el 13 de marzo de 2004, se dicta la denominada ley Corta I (Ley Nº 19.940), teniendo como objetivo principal regular la toma de decisiones y el desarrollo de la expansión de la transmisión de electricidad, y se establecen incentivos para medios de generación no convencionales y pequeños medios de generación. Además, se crea el Panel de Expertos con el objetivo de definir controversias, siendo éste un ente independiente y técnico.

Un año más tarde, el 15 de mayo de 2005, se crea la Ley Corta II (Ley Nº 20.018) con el objetivo de incentivar la inversión en generación, definiendo un sistema de licitaciones competitivas que aseguraran el precio por un tiempo determinado. La Ley Corta II fortaleció el marco normativo con tal de enfrentar mejor las contingencias y diversificar las fuentes externas de combustibles, asegurando una mayor participación de las energías renovables. Debido a que la aplicación de esta ley tuvo como consecuencia un alza en las cuentas de electricidad, se entregó mediante la Ley Nº 20.040 un subsidio transitorio para aquellos hogares de bajos ingresos durante los años 2005 y 2006.

El 5 de febrero de 2007, y a raíz de las múltiples modificaciones a las cuales había sido objeto la LGSE, ésta se refunde en un solo texto mediante el DFL N°4. Además, ese mismo año, el 14 de septiembre, se dicta la Ley N°20.220 que perfecciona el marco legal vigente con el objeto de resguardar la seguridad del suministro a los clientes regulados y la suficiencia de los sistemas eléctricos, especialmente en el corto plazo, removiendo los obstáculos que dificultan la inversión, construcción y ejecución de los proyectos.

El 1 de abril de 2008, se publica la Ley N° 20.257, conocida como ley de Energías Renovables no Convencionales (ERNC). Con el mismo objetivo de incentivar mayores inversiones y diversificar las fuentes de suministro eléctrico, esta ley obliga a las generadoras con capacidad instalada superior a 200 MW a comercializar un 10% de ERNC o de centrales hidroeléctricas con potencia inferior a 40.000 kilowatts (de pasada), sean propios o contratados a partir del 1 de Enero del año 2010. Tal incremento se debía realizar de forma gradual: entre los años 2010 y 2014 debía ser 5%, y posteriormente cada año se debía ir incrementando un 0,5% hasta alcanzar el 10% el año 2024. Sin embargo, el 22 de octubre de 2013, se publica la Ley N° 20.698 que propicia la ampliación de la matriz energética mediante ERNC, la cual modifica la ley N° 20.257, aumentando el porcentaje de la matriz que debe ser ERNC a 20% para el año 2020. La gradualidad de los incrementos se mantiene para los contratos celebrados con posterioridad al 31 de agosto de 2007 y con anterioridad al 1 de julio de 2013, mientras que los contratos firmados después de esta fecha deben realizar incrementos del 1% a partir del 2014 hasta llegar a 12% el año 2020, incrementos del 1,5% a partir del año 2012 para llegar al 18% el año 2024 y un incremento final del 2% al año 2025 para así alcanzar la meta del 20%.

El 3 de diciembre de 2009, ocurre otro hito relevante en la normativa eléctrica, al crearse el Ministerio de Energía (Ley N° 20.402). Para cumplir de manera eficaz con los objetivos básicos a los que deben apelar las políticas energéticas como la seguridad de abastecimiento, la contribución de la energía al aumento de la competitividad y la integración de los objetivos medioambientales, en Chile era necesario adaptar la institucionalidad para que ésta fuera capaz de

responder a las necesidades y desafíos actuales. Dada la multiplicidad de organismos (CNE, SEC, Ministerio de Minería, Ministerio de Economía, entre otros), existía una deficiente asignación de responsabilidades e incoherencia entre dichas responsabilidades y las atribuciones de los diferentes organismos.

Dentro de las últimas leyes dictadas en materia energética destaca la publicación de la Ley de Concesiones Eléctricas (Ley N° 20.701) el 14 de octubre de 2013, la cual surge con el objetivo de agilizar la tramitación y los plazos asociados al proceso de concesión, simplificando la obtención de concesiones provisionales y mejorando el procedimiento para la obtención de concesiones definitivas. Con esto, se pretende impulsar la inversión y la competitividad del mercado, así como entregar mayor certidumbre para los actores involucrados. El proyecto fue ingresado como parte fundamental de la *Carretera Eléctrica Pública*, iniciativa que actualmente se encuentra paralizada. La interconexión de ambos sistemas tenía por objetivo principal promover el desarrollo sustentable de las energías tradicionales y renovables, facilitando el desarrollo de capacidad de transmisión eléctrica con una mayor holgura. Luego, en agosto de 2015 se ingresó un proyecto de ley que establece nuevos sistemas de transmisión de energía y crea un organismo coordinador independiente del sistema eléctrico nacional, el cual se encuentra en segundo trámite constitucional.

A pesar de que la LGSE se ha ido mejorando y actualizando, nuestro país no cuenta con una Política Energética integral, que incorpore los objetivos de largo plazo para el desarrollo sustentable y eficiente del sector. Un avance en esta dirección, y a raíz del informe realizado por la Comisión Asesora para el Desarrollo Eléctrico (CADE), fue la publicación de la Estrategia Nacional de Energía (septiembre 2012), la cual contemplaba seis ejes:

1. Incorporación de la Eficiencia Energética en las distintas áreas de la economía.
2. Incorporación acelerada de las Energías Renovables No Convencionales.
3. Fortalecimiento de las Energías Tradicionales, en particular la Hidroelectricidad.
4. Resolver las urgentes necesidades del sistema de Transmisión.

5. Fomentar la competencia en el sector eléctrico.
6. Perseverar en la integración eléctrica regional.

Recientemente, el Ministerio de Energía publicó la Agenda de Energía (mayo 2014), la cual se espera sea el primer paso para la elaboración de una Política Energética que tenga validación social, política y técnica. En la Agenda, se enfatiza que el principal objetivo del país es disponer de “*energía confiable, sustentable, inclusiva y de precios razonables, con una matriz eléctrica diversificada, equilibrada y que garantice al país mayores niveles de soberanía en sus requerimientos de energía*”. Los siete ejes de la Agenda son:

1. Un nuevo rol del Estado.
2. Reducción de los precios de la energía, con mayor competencia, eficiencia y diversificación en el mercado energético.
3. Desarrollo de recursos energéticos propios.
4. Conectividad para el desarrollo energético.
5. Un sector energético eficiente y que gestiona el consumo.
6. Impulso a la inversión en infraestructura energética.
7. Participación ciudadana y ordenamiento territorial.

Con esto, se espera disminuir los riesgos de la dependencia a los combustibles fósiles; desarrollar fuentes energéticas a precios accesibles; minimizar y gestionar los impactos ambientales del sector incrementando el involucramiento de las comunidades locales en los beneficios de los desarrollos energéticos; usar de manera eficiente la energía, tanto por hogares como industrias; y dinamizar las inversiones del sector y promover la competencia.

Por último, el Gobierno lanzó a fines del 2015 la Política Energética de largo plazo llamada “Energía 2050”. En ésta, se tratan temas de seguridad y calidad de suministro, lineamientos para constituir a la energía como motor de desarrollo (acceso equitativo, inclusividad territorial y competitividad), efectos en el medioambiente y sustentabilidad y por último, eficiencia y educación energética<sup>23</sup>.

---

<sup>23</sup> [http://www.energia2050.cl/uploads/libros/libro\\_energia\\_2050.pdf](http://www.energia2050.cl/uploads/libros/libro_energia_2050.pdf)

### Anexo 3: Efectos de un shock energético

#### Efectos macroeconómicos

En el trabajo seminal de Hamilton (1983) se establece que todas las recesiones de Estados Unidos desde la Segunda Guerra Mundial, salvo una, han sido precedidas por un dramático aumento en el precio del petróleo, y a pesar de que esto no significa necesariamente que los shocks son la causa de la caída en el producto, se encuentra evidencia de que la correlación entre ambos es estadísticamente significativa y no espuria. En esta misma línea, diversos estudios como el de Mork (1989), Lee, Ni y Ratti (1995) y Hooker (1996) también encontraron una relación negativa entre los shocks en el precio del petróleo y la actividad económica. En particular, Mork (1989) amplía el periodo analizado en el trabajo de Hamilton, para poder incluir movimientos a la baja en el precio del petróleo, además de corregir el índice de precios utilizado por los controles de precios implementados en la década de los setenta. Entre sus conclusiones, establece que la correlación negativa persiste y que es incluso mayor a lo estimado anteriormente si se corrige por los controles de precios. Por otro lado, identifica una respuesta asimétrica ante la caída en el precio, indicando que un shock energético a la baja tiene un nulo efecto en el producto.

Sin embargo, hay quienes han encontrado la evidencia contraria como Barsky y Kilian (2004), los que concluyen que se ha sobreestimado la relación entre los shocks en el precio del petróleo y el desempeño macroeconómico. En particular, señalan que los conflictos políticos externos son sólo uno de los numerosos factores que explican los movimientos en el precio del petróleo, y que éstos no pueden explicar la estanflación norteamericana de los setenta por sí solos. Más recientemente, Kilian (2009) señala que se debe considerar la causalidad inversa, y que no se pueden evaluar los efectos causales del aumento en el precio del petróleo sobre la economía global, asumiendo que éste es exógeno, dado que gran parte de este aumento es causado por el crecimiento en la demanda por commodities industriales previo al shock. Por otro lado, el autor distingue dos principales canales de transmisión de los shocks que hay que considerar para

evaluar su impacto económico: el primero por el lado de la demanda y el segundo por el lado de la oferta.

Por el lado de la demanda, destaca que los mayores precios energéticos reducen el ingreso disponible de los hogares, afectando con esto el consumo, y que este efecto será mayor, mientras más inelástica sea la demanda energética y que estará delimitado por la participación que tiene la energía en el consumo total. Por su parte, la volatilidad en el precio de la energía genera incertidumbre sobre los precios futuros, provocando que los consumidores pospongan compras irreversibles de bienes durables. Esto, sumado a que algunos bienes de consumo durable son complementarios con la energía, hace que la demanda por éstos disminuya aún más. Por último, señala que el consumo puede caer al aumentar el ahorro como medida precautoria ante una mayor probabilidad de desempleo futuro y/o menores ingresos.

Por el lado de la oferta, los mecanismos de transmisión son más complejos de establecer. Un problema que surge es que el petróleo importado se considera en la función del valor bruto de la producción pero no en el valor agregado, por lo que un shock en el precio del petróleo por definición no puede ser interpretado como un shock de productividad en el PIB real, sino que más bien afecta a la economía doméstica a través de su impacto en el capital y el trabajo. Por lo demás, el incremento en el costo marginal de la producción dependerá del grado de sustitución con los demás insumos y de la participación de la energía en los costos de producción, la cual generalmente es baja. Sin embargo, el autor reconoce que reasignaciones del capital y el trabajo intra e intersectorialmente, pueden amplificar el efecto de mayores precios energéticos en la economía real, al existir rigideces, mercados no competitivos y costos de transacción.

Hay quienes han tomado una posición intermedia, como Bernanke et al. (1997) quienes señalan que una parte importante del impacto que tiene un shock en el precio del petróleo sobre la economía norteamericana, no es por el shock mismo, sino que es resultado de una contracción en la política monetaria. Blanchard y Gali (2007) muestran por su parte que el efecto dinámico que tienen los shocks sobre la economía ha ido cayendo considerablemente en los últimos años, debido

a un mejor manejo de la política monetaria, a la mayor flexibilidad del mercado laboral y a una menor dependencia del petróleo en la matriz productiva de Estados Unidos. Sin duda, que el impacto que tiene un shock en el precio del petróleo sobre el crecimiento y el nivel general de precios de una economía, depende de muchos factores como el tamaño del shock, su persistencia, la dependencia energética de la economía y la respuesta de la política monetaria y fiscal. Por su parte, tal como lo establece claramente Cashin, Mohaddes, Raissi y Raissi (2012), el efecto que tiene un shock ocasionado por un aumento creciente en la demanda debido a un alto crecimiento económico (por ejemplo por el mayor consumo de China e India) no será igual al que tiene un shock ocasionado por una caída en la oferta.

### **Efectos microeconómicos**

Tal como se mencionó en la revisión de la literatura de este trabajo, hace un par de décadas atrás los estudios empíricos no incluían a la energía directamente en la función de producción. En este sentido, el trabajo de Berndt y Wood (1975) fue uno de los pioneros en la materia, junto con el de Hudson y Jorgenson (1973). En Berndt y Wood, los autores caracterizan la estructura tecnológica de la industria manufacturera en Estados Unidos para el período 1947-1971, y analizan las posibilidades de sustitución entre la energía y el resto de los insumos a través de un modelo translog de producción. Dentro de los principales resultados, destacan que las posibilidades tecnológicas de sustitución entre la energía y los insumos no energéticos existe pero es limitada, siendo ligeramente substituta con el trabajo y complementaria con el capital.

En un trabajo posterior, Berndt et al (1991) analiza la relación entre los shocks en los precios de la energía y el crecimiento de la productividad en la industria manufacturera de Japón y Estados Unidos en el período 1958-1981. Según los autores, el principal problema en este tipo de estudio es establecer cuál es el mecanismo por el cual aumentos inesperados en el precio de la energía pueden estar relacionados a cambios en el crecimiento de la productividad total de factores (PTF). Esto porque, sea cual sea el mecanismo, debe ser consistente con dos hechos: el primero, es que la eficiencia energética promedio de los bienes

de capital durables cambia sólo gradualmente en el tiempo, y el segundo, es que la energía representa un porcentaje menor en los costos totales de la producción, lo que implicaría que incluso cambios significativos en el precio de la energía debiesen tener como resultado cambios reducidos en los costos totales.

Sin embargo, exponen que las firmas pueden ajustar las tasas de utilización del capital que poseen, tomando en cuenta la eficiencia energética de cada maquinaria y equipo, para así mitigar parcialmente los efectos del shock; y que si se pudiese medir este efecto e incorporarlo adecuadamente en la contabilización de la PTF, los shocks energéticos tendrían un impacto considerablemente mayor en la productividad. Un problema que se presenta para poder lograr este objetivo es que generalmente la eficiencia energética del capital y las tasas de utilización no son observables<sup>24</sup>. Utilizando simulaciones donde se combinan datos históricos con ciertos supuestos sobre los precios esperados de la energía y capital y la elasticidad de sustitución ex ante en ambos países, los autores analizan la respuesta de las firmas ante shocks en el precio de la energía y comprueban la significativa importancia que tiene el mecanismo de ajuste en el stock de capital agregado y en la medición de la productividad total de factores.

No obstante, no toda la evidencia apunta en la misma dirección. En el trabajo de Griffin y Gregory (1976) se encuentra que la energía es substituta tanto del trabajo como del capital, al igual que en Halvorsen (1977), y coinciden con Berndt y Wood (1975) en que la demanda energética es inelástica. Por otro lado, se tienen estudios como los de Field y Grebenstein (1980), Nguyen y Andrews (1989) y Morrison (1993) que encuentran resultados mixtos. Estas diferencias pueden deberse porque los datos de corte transversal capturan las respuestas de largo plazo ante los shocks energéticos, mientras que las series de tiempo, capturan las respuestas de corto plazo, con lo cual la elasticidad de sustitución tiende a estar sobreestimada en el primer caso y subestimada en el

---

<sup>24</sup> Dado lo anterior, dicho estudio se basa en dos supuestos: las firmas escogen las características de eficiencia energética de los nuevos bienes de capital de forma consistente con la minimización de los costos esperados del ciclo de vida y las tasas de utilización relativas entre los bienes de capital más antiguos y más nuevos de forma consistente con la minimización de los costos variables del periodo actual.

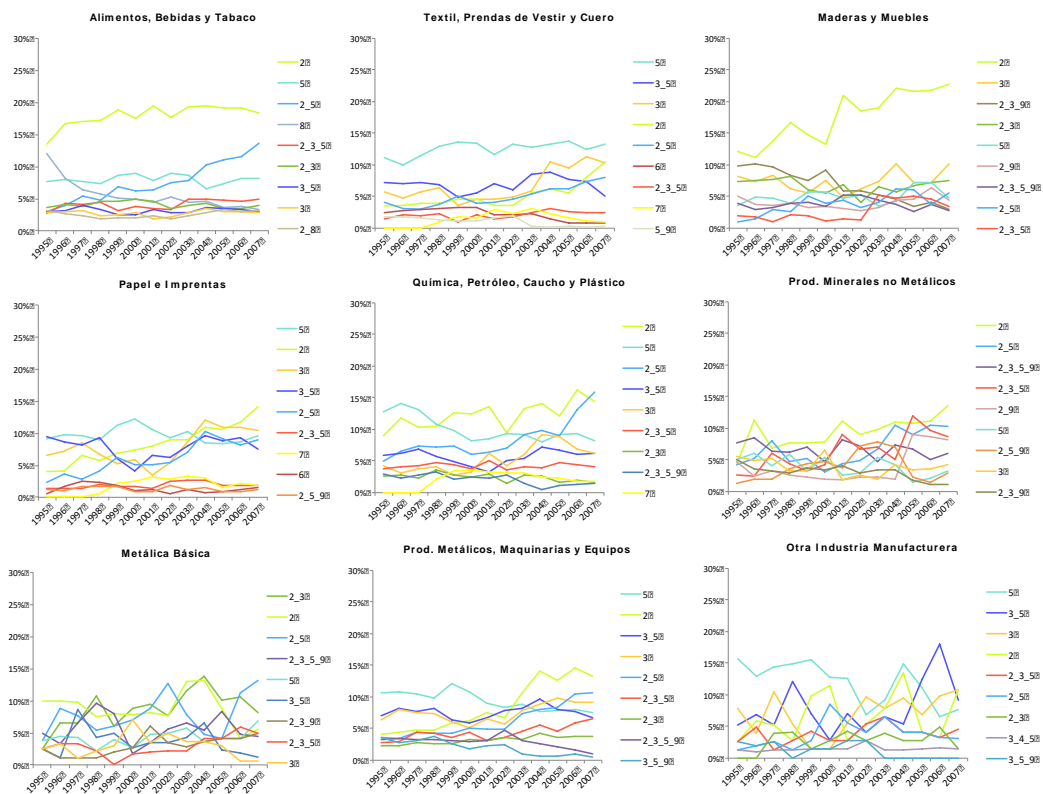


segundo. Por otro lado, hay que considerar que las estimaciones de las elasticidades de sustitución entre la energía y los demás insumos son sensibles a la industria y país del que se trate, además de la metodología y del período analizado, por lo que cualquier comparación debe tener en consideración dichas diferencias.

Para el caso de Chile la evidencia es limitada, por lo que es aún más complejo establecer cuál es el impacto de un shock energético a nivel microeconómico y la elasticidad de sustitución entre la energía y los demás insumos productivos. Uno de los trabajos más relevantes en el tema, es el de Álvarez et al (2008), el cual utiliza datos para el sector manufacturero, y encuentra una relación negativa y significativa entre la productividad de las firmas y los costos energéticos, especialmente en las firmas de mayor tamaño y concluye que entre el 20% y 60% de la caída de la productividad del sector manufacturero chileno entre 1992-1999 y 2000-2005 es explicado por shocks en el precio de la energía. En términos generales, tal estudio muestra que un incremento de 10% en el precio de la energía reduce la productividad en un poco más de 2% en el largo plazo. Además, se encuentra evidencia de que los sectores más intensivos en energía han experimentado una mayor reducción en la tasa de crecimiento de la productividad.

## Anexo 4: Principales patrones de consumo de energía según sector

Porcentaje del total firmas por patrón de consumo, 1995-2007



Fuente: Elaboración propia.

\*Donde 1 es carbón, 2 es petróleo, 3 es bencina, 4 es parafina, 5 es gas licuado, 6 es gas cañería, 7 es gas natural, 8 es leña, 9 es grasas y aceites. Todos los patrones incluyen además electricidad.