

PALABRAS CLAVE

Industria
 Consumo de energía
 Producción industrial
 Productividad
 Desarrollo sostenible
 Estadísticas de energía
 Estadísticas industriales
 América Latina
 Brasil
 Chile
 Colombia
 México

Hugo Altomonte

Director, División de Recursos Naturales

e Infraestructura

CEPAL

✉ hugo.altomonte@cepal.org

Nelson Correa

Asistente de investigación,

División de Desarrollo Productivo

CEPAL

✉ nelson.correa@cepal.org

Diego Rivas

Asistente de investigación,

División de Desarrollo Productivo

CEPAL

✉ diego.rivas@cepal.org

Giovanni Stumpo

Jefe de la Unidad de Inversiones y

Estrategias Empresariales,

División de Desarrollo Productivo y

Empresarial

CEPAL

✉ giovanni.stumpo@cepal.org

La dinámica del consumo energético industrial en América Latina

y sus implicancias para un desarrollo sostenible

Hugo Altomonte, Nelson Correa, Diego Rivas y Giovanni Stumpo

En el presente artículo se analiza la relación entre el consumo energético de la industria, la productividad industrial y sus implicancias para un desarrollo sostenible. Con este objetivo, se presenta una matriz que caracteriza a aquellas economías que: i) convergen o divergen en términos de consumo energético por unidad de valor agregado, y ii) aumentan o disminuyen su productividad relativa con respecto a la frontera internacional (Estados Unidos). Sobre la base de los datos de las encuestas industriales de cuatro países latinoamericanos (Brasil, Chile, Colombia y México), se concluye que la manifiesta especialización de la región en sectores intensivos en recursos naturales ha contribuido a un patrón de alto consumo energético y lenta dinámica de la productividad, y que si bien no hay convergencia productiva, se observa evidencia de sostenibilidad energética en tres de los cuatro países analizados.

I

Introducción

Un aspecto central en las discusiones actuales sobre el desarrollo económico es la creciente demanda energética de los aparatos productivos industriales y las consecuencias ambientales que la acompañan. En particular, se plantea que los países en desarrollo no podrían replicar los procesos industriales efectuados por las economías desarrolladas y, por lo tanto, sería necesario un cambio estructural sostenible para producir un proceso de desarrollo virtuoso, dados los negativos efectos ambientales generados por los procesos intensivos en energías más contaminantes y la clara tendencia al aumento de los precios de los energéticos en el largo plazo.

Adquiere importancia analizar entonces en forma conjunta el consumo energético industrial y la estructura industrial predominante en un país. Así, mientras que, por una parte, tanto para los Estados Unidos como para los países latinoamericanos el consumo de energía industrial representa alrededor del 30% del consumo total, por otra, la importancia de la industria —dado su papel tradicional como generadora y difusora del progreso técnico hacia otros sectores de la economía— la convierte en un sector crucial para la producción de innovaciones que mitiguen los impactos ambientales y reduzcan el consumo de energía (propio y de otros sectores).

La relación entre el consumo energético de la industria y el respectivo incremento de su valor agregado fue ampliamente discutida en la literatura sobre las etapas de los procesos de industrialización en los países desarrollados, cuestión que se torna nuevamente central para las economías en desarrollo con motivo del avance industrial en la periferia.

La dirección y relación entre la cantidad de energía consumida y el nivel de desarrollo alcanzado por una sociedad no son unívocas ni universales. Por consiguiente, las disparidades en el tiempo y en los distintos espacios productivos aparecen vinculadas, por una parte, a elecciones tecnológicas que resultan claves para la estructura sectorial industrial, y por otra, a los comportamientos en el uso de los recursos. De esta manera, las elecciones tecnológicas de los agentes productivos afectan tanto a la cantidad de energía consumida como a los niveles de su productividad y competitividad. Se plantea, entonces, un doble desafío de política económica, ya que las elecciones tecnológicas de los aparatos productivos nacionales deberían ser eficientes en términos de productividad y asegurar un uso energético racional.

La eficiencia productiva refleja el grado de progreso técnico y normalmente se describe mediante la dinámica de la productividad del trabajo. La tendencia del consumo energético nos indica cuál es la relación entre los usos de la energía y el desarrollo económico de un país a lo largo del tiempo. Al descomponer el crecimiento del consumo de energía en la estructura productiva, el factor tecnológico que mide la intensidad energética por sector nos informa acerca de la cantidad de energía —directa e indirecta— necesaria para producir una unidad de valor agregado industrial (VAI). A su vez, esta relación es afectada por la escala de producción y los distintos combustibles utilizados en el proceso productivo.

Si bien no se analizarán en detalle respecto de cada país los procesos de reformas y modernización de la industria energética que tuvieron lugar en la región con posterioridad a la crisis de la deuda —en algunos casos, desde mediados de los años ochenta y en otros en la década de 1990—, es necesario tenerlos presentes a la hora de explicar la toma de decisiones por parte de los agentes económicos y al analizar, también, las evoluciones y los procesos de sustitución de fuentes de energía. Así, para los países estudiados en este trabajo, las principales reformas reflejan que (OLADE/CEPAL/GTZ, 2003; H. Altomonte, 2010):

- Una completa reestructuración de la cadena eléctrica, desde la generación hasta la distribución, se observa en Chile y Colombia. En menor medida, en el eslabón de la generación —con apertura parcial a agentes privados— en el Brasil y México.
- En Chile, aun cuando se observe una participación de la producción nacional de petróleo en su matriz energética, no se ha privatizado la industria petrolera, al igual que en México. En el Brasil, si bien se conserva a Petrobras como empresa del Estado y una de las empresas líderes “translatinas” de la región, se permitió la apertura y participación del sector privado en diferentes eslabones, al igual que en Colombia.

El propósito del presente artículo es efectuar un análisis comparativo del consumo de energía industrial sectorial y la eficiencia productiva en el Brasil, Chile, Colombia y México con respecto a la frontera tecnológica, a objeto de verificar si se están acercando o alejando de las mejores prácticas a nivel mundial. La

selección de estos cuatro países se realizó sobre la base de la disponibilidad de los datos, ya que solo en algunos países se recolecta información del consumo energético por sectores manufactureros dentro de sus encuestas industriales¹. Esta escasez de datos limita también el período de estudio, que se enfocará en el decenio comprendido entre los años 1997 y 2006.

La estructura del documento es la siguiente: en la sección II se presenta una tipología de los patrones de desarrollo productivo según sus distintos niveles de desempeño y su relación con el consumo de energía,

¹ Las encuestas industriales que se utilizarán son las siguientes. Brasil: Pesquisa Industrial Anual de Empresas – Instituto Brasileiro de Geografia y Estadística (IBGE); Chile: Encuesta Nacional Industrial Anual (ENIA) – Instituto Nacional de Estadísticas (INE); Colombia: Encuesta Anual Manufacturera (EAM) – Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE); México: Encuesta Industrial Anual (EIA) – Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI); Estados Unidos: Encuesta de la Actividad Empresarial Actual (Oficina de Análisis Económicos) – Departamento de Comercio.

lo que permite comparar las trayectorias energéticas y sectoriales específicas de los países estudiados. A su vez, se especifica la metodología de descomposición empleada para explicar los distintos factores que influyen en la evolución del consumo de energía. En la sección III se analiza la dinámica del sector industrial en el Brasil, Chile, Colombia y México y en la frontera de los Estados Unidos. En la sección IV se expone una caracterización de la situación energética general de los cuatro países mencionados. Al mismo tiempo, se establece la relación de las fuentes energéticas predominantes con la emisión de CO₂. En la sección V se profundiza el análisis de la evolución del consumo energético a nivel del sector industrial en los cuatro países latinoamericanos, descomponiendo este sector en tres grupos de subsectores: los intensivos en ingeniería, los intensivos en recursos naturales (RRNN) y los intensivos en trabajo. En la última sección se entregan las conclusiones generales que emergen del análisis presentado en las secciones anteriores.

II

Patrones generales de desarrollo: brecha productiva y brecha energética

Cuando se analiza la trayectoria de América Latina con una visión de largo plazo se observa que en la región no se ha conseguido reducir las diferencias de ingresos por habitante que la separan del mundo desarrollado. En la CEPAL, tanto en sus primeras formulaciones como en los documentos más recientes, es posible encontrar esta inquietud como tema clave.

La creciente preocupación ambiental ha conducido al planteamiento de nuevas interrogantes y desafíos para el logro de un patrón de crecimiento más sostenible. Al abordar estos temas se afirma que la intensidad energética debería mostrar una evolución de largo plazo semejante a una curva cóncava hacia el origen (una U invertida).

A nivel sectorial, este fenómeno se basaría en que normalmente el proceso de industrialización va evolucionando desde industrias altamente intensivas en RRNN (como las del hierro, el acero y otros metales) hacia industrias mucho más intensivas en tecnología (por ejemplo, la industria aeronáutica). Aquellas industrias intensivas en RRNN, debido a las características técnicas de

su proceso productivo, son mucho más energo-intensivas² que las industrias intensivas en tecnología. Por lo tanto, el consumo de energía debería crecer durante las primeras etapas de desarrollo —a medida que prosperan las industrias intensivas en RRNN—, para luego estabilizarse y finalmente decrecer con la incorporación de sectores de mayor intensidad tecnológica, complementando así el proceso de industrialización.

A nivel de los agentes, la observación de largo plazo en la introducción del cambio tecnológico dentro de las empresas también podría explicar cambios en la intensidad energética. De este modo, la primera ola de cambio tecnológico se definiría como un proceso de automatización que reemplaza la mano de obra por maquinaria (aumentando así el consumo de energía). Sin embargo, una vez introducida la total automatización de

² Un claro ejemplo son las industrias básicas de hierro, acero y otros metales, ya que para forjar el metal se necesita lograr altas temperaturas (energía calórica) y, por ende, estas industrias consumen mucha energía y se denominan energo-intensivas.

las etapas de los procesos productivos, el nuevo salto tecnológico consistiría en digitalizarlas, centralizando toda la información en un ordenador que mejorara la eficiencia de dicho proceso. Es probable que este mejoramiento produzca también ahorros en términos de energía. Por lo tanto, desde este punto de vista, el patrón de introducción de las innovaciones también se relacionaría con un mayor uso de la energía en las fases iniciales (de automatización) y un menor uso (o al menos no creciente) durante las etapas posteriores (de digitalización) gracias a la optimización de los procesos productivos.

La estructura productiva y la dinámica de la productividad en comparación con la frontera tecnológica es una preocupación recurrente en el debate sobre el desarrollo de la región. Al centrar la atención en el desarrollo productivo sostenible, la reflexión se remite a un debate más amplio. ¿Qué tipo de transformación de la estructura productiva acompaña o promueve la convergencia o divergencia energética? ¿En qué medida la estructura predominante en las economías de la región no solo mantiene la brecha productiva, sino la energética con respecto a la frontera?

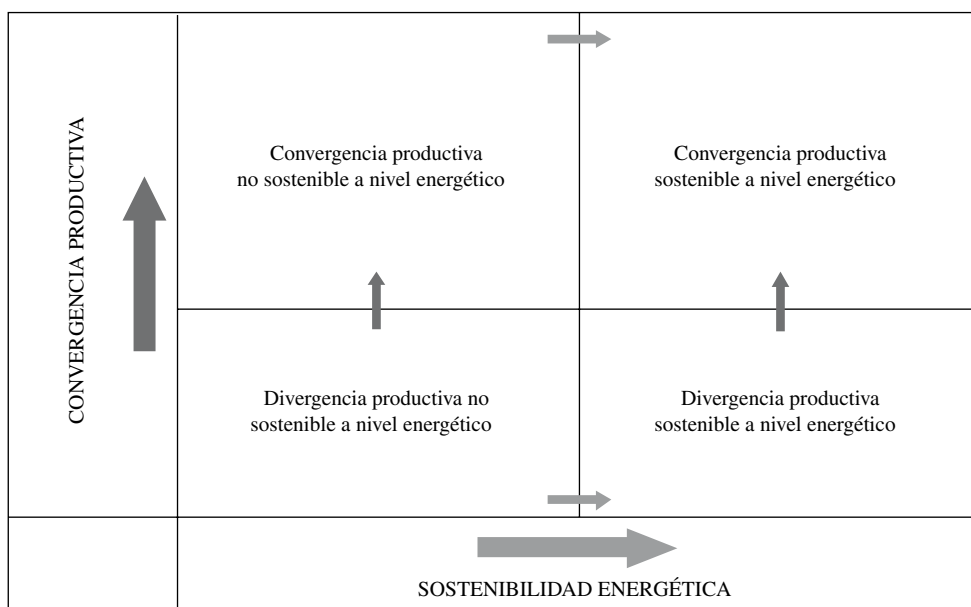
En relación con estas preguntas, en el gráfico 1 se distinguen cuatro casos:

- Modelo de desarrollo virtuoso: cierre de la brecha energética y productiva (*catching up*) (cuadrante superior derecho).
- Modelo de cierre de brecha productiva, pero no sostenible: procesos de cierre de la productividad relativa con ampliación de los patrones de consumo energético (cuadrante superior izquierdo).
- Modelo sostenible con ampliación de la brecha productiva: aumenta esta brecha con una convergencia de los patrones de consumo energético (cuadrante inferior derecho).
- Modelo de desarrollo vicioso: ampliación de las brechas energética y productiva (*falling behind*) (cuadrante inferior izquierdo).

El problema que las economías latinoamericanas enfrentan dependerá de su ubicación dentro de los casilleros planteados. Para llegar a un patrón de desarrollo virtuoso y sostenible en el tiempo (cuadrante superior derecho del gráfico 1) se requiere un proceso de cambio estructural que permita reducir las diferencias de productividad (cambio técnico) con un sendero de menor consumo de energía por unidad de producto. Obviamente, este cambio de estructura no siempre se da en la dirección correcta y esto redundaría en las otras tres trayectorias posibles.

GRÁFICO 1

Matriz de desarrollo productivo y sostenibilidad energética



Fuente: elaboración propia.

El caso opuesto al patrón virtuoso involucraría una situación en que la estructura productiva se especializa en sectores tecnológicamente menos dinámicos, ampliando la brecha de productividad y con patrones de consumo de energía mayores que los de las economías desarrolladas (cuadrante inferior izquierdo). En tal caso, se plantea el clásico problema de divergencia en productividad con un patrón de consumo energético insostenible en el tiempo.

Por otra parte, se puede dar la situación en que los esfuerzos se focalizan en la modificación de los patrones de consumo energético con miras a la incorporación de energías de menor intensidad, pero con menos eficiencia productiva, que amplíen la brecha en productividad con respecto a la frontera (cuadrante inferior derecho).

Por último, existiría la posibilidad de tener un patrón de especialización más intensivo en tecnología

que reduzca la brecha de productividad, pero aumente los patrones de consumo de energía (cuadrante superior izquierdo). Este tipo de sendero presenta un enfoque acentuadamente dirigido a objetivos productivos, pero no energéticos. En este sentido, sería necesario un mayor gasto en tecnologías energéticamente más eficaces (orientado a un reciclaje eficiente de materiales, a tecnologías con menos emisión, o a ambos) que implicaría una menor intensidad en el uso energético.

De esta manera, el esquema planteado implica distintas trayectorias de desarrollo vinculadas a dos indicadores: brecha productiva y brecha energética. Este esquema será usado en las siguientes secciones como marco analítico de referencia para presentar la situación energética y productiva de la industria en los países latinoamericanos seleccionados.

III

Dinámica del sector industrial en América Latina

Entre 2003 y 2007, América Latina ha experimentado una etapa de fuerte crecimiento en un contexto caracterizado por un importante incremento de los precios de las materias primas y un aumento del grado de apertura de los países que la integran³.

Como se puede observar en el cuadro 1, el producto interno bruto (PIB) total creció un 5,5% anual, mientras que el PIB per cápita se incrementó un 4,2% anual, ritmo de crecimiento solo comparable al del período 1970-1980.

Al mismo tiempo, entre 2003 y 2007 el sector manufacturero —que desde los años setenta había perdido su papel de “motor del desarrollo”— presenta un dinamismo superior al que ha caracterizado a la agricultura y la minería (véase el cuadro 2). Esto permitió que se redujera la tendencia a la caída del coeficiente de industrialización que caracterizaba a la región desde mediados de la década de 1970. Incluso el peso de la industria en la generación del valor agregado nacional se ha incrementado en varios países⁴.

³ Para identificar el “grado de apertura” se estima el cociente entre la suma de las exportaciones e importaciones y el producto interno bruto (PIB).

⁴ Se trata de Argentina, Bolivia (Estado Plurinacional de), Colombia, Costa Rica, Ecuador, Nicaragua, Perú y Uruguay.

CUADRO 1

América Latina (18 países^a): tasa de crecimiento promedio anual, cinco subperíodos

	1970-1980	1980-1990	1990-1997	1997-2003	2003-2007
PIB total	5,9	1,2	3,7	1,4	5,5
PIB per cápita	3,3	-0,8	1,9	0,0	4,2
Exportaciones totales			8,7	5,1	8,4
Importaciones totales			13,3	2,2	13,6

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

PIB: producto interno bruto.

^a Argentina, Bolivia (Estado Plurinacional de), Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, Uruguay, Venezuela (República Bolivariana de).

CUADRO 2

América Latina: producto interno bruto (PIB), tres subperíodos
(Tasa de crecimiento promedio anual)

	1990-1997	1997-2003	2003-2007
PIB total	3,7	1,4	5,5
Agricultura	2,4	3,3	3,5
Minería	4,2	1,3	1,5
Industria	3,3	0,5	5,4
Electricidad	4,8	2,3	5,2
Construcción	4,0	-0,8	8,2
Comercio	3,7	0,8	6,9
Transporte	5,9	4,2	8,1
Establecimientos financieros	3,1	2,3	6,3
Servicios comunales y sociales	2,3	1,7	3,3

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Este nuevo dinamismo del sector manufacturero presenta algunas características dignas de destacar. La continua destrucción de las capacidades productivas y tecnológicas y de encadenamientos productivos, así como una disminución del gasto en investigación y desarrollo (I+D) y una importación acrecentada de bienes de alto contenido tecnológico a lo largo de los años ochenta y noventa, habrían redundado en un nuevo modelo de organización de la producción. Si bien los sectores intensivos en tecnología han alcanzado tasas de crecimiento superiores a las de los otros grupos de sectores industriales en varios países de la región, este buen desempeño no ha logrado restablecer el peso relativo que habían registrado en etapas anteriores a los años ochenta. Además, este proceso de pérdida de capacidades tecnológicas también habría ido acompañado de una drástica merma de capacidades institucionales en el interior del sector público (Katz y Stumpo, 2001).

Por lo tanto, el aparato productivo vinculado al proceso de crecimiento del subperíodo 2003-2007 es cualitativamente muy distinto del que existió en la región en décadas anteriores, así como también es diferente el contexto institucional de fomento a la producción que podría haber acompañado y direccionado ese proceso. En efecto, cuando en años recientes algunos países de la región intentaron realizar planes de fomento industrial, se encontraron con dificultades relevantes en la etapa de diseño y con obstáculos insuperables en su implementación a consecuencia de su reducida capacidad institucional.

Los países en que se ha alcanzado una mayor participación de los sectores intensivos en tecnología (aproximadamente el 40% de su capacidad industrial) son el Brasil y México (véase el cuadro 3). Sin embargo, pese a su similitud, las políticas aplicadas han sido

CUADRO 3

América Latina (países seleccionados): peso relativo de los sectores intensivos en tecnología en el valor agregado industrial, 1970-2007
(En porcentajes)

Países	1970	1980	1990	1997	2003	2007
Brasil	22,0	32,3	27,8	33,7	33,2	39,6
Chile	16,6	11,0	10,2	12,4	11,3	11,6
Colombia	11,3	11,3	10,4	12,4	11,2	12,3
México	20,2	26,9	26,3	30,5	33,0	41,3

Fuente: elaboración propia sobre la base del Programa de Análisis de la Dinámica Industrial (PADI) de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

profundamente distintas en los dos casos: mientras que en el Brasil la producción industrial se ha orientado al mercado interno y su economía se ha tornado relativamente menos abierta, en México se ha incrementado la apertura e implementado una política dirigida al fomento de la "industria manufacturera de exportación" (IMANE) y a la integración en cadenas productivas internacionales.

La casi total ausencia de políticas activas de fomento industrial⁵ en la etapa de crecimiento de 2003-2007, sumada a la profunda transformación que había experimentado el aparato productivo en las décadas anteriores, hizo que el incremento de la producción impulsado en los sectores intensivos en tecnología (y más en general, en el conjunto manufacturero) fuese esencialmente cuantitativo, sin que se realizara un verdadero proceso de construcción de capacidades tecnológicas.

Las consecuencias de esta situación se pueden apreciar en dos dimensiones dispares. La primera tiene que ver con la inserción externa y el balance comercial industrial, mientras que la segunda se relaciona con la evolución de la productividad.

La mayor relevancia que ha adquirido el sector externo se refleja en el aumento de los coeficientes de exportación e importación industriales. En particular, el incremento de los segundos, que se aprecia entre 2003 y 2007, pone en evidencia la dificultad del aparato productivo industrial de competir en la mayoría de los sectores. Esto es sobre todo evidente en el caso de los sectores intensivos en tecnología, pero también en los sectores intensivos en trabajo que están expuestos a la competencia de nuevos productores, sobre todo de países de Asia.

⁵ La excepción importante en este caso es el Brasil.

El resultado de esta debilidad es que, en un contexto de engrosamiento sostenido de la demanda interna, los balances comerciales industriales presentan déficits crecientes o una sensible reducción del superávit (véase el cuadro 4).

Estos déficits han sido compensados, en esos años, por medio de los elevados precios de los productos agrícolas y mineros exportados por la región. Pero en el mediano y largo plazo esta situación difícilmente será sostenible, tomando en cuenta el grado de apertura de las economías de la región y la volatilidad de los precios de las materias primas, lo que ha sido confirmado por la crisis internacional desatada en septiembre de 2008.

La etapa de crecimiento de la economía y del sector industrial de los últimos años no parece haberse traducido en cambios estructurales relevantes y los aspectos mencionados que se relacionan con el balance comercial industrial son en buena medida un reflejo de esa situación.

Para evaluar el resultado del proceso de transformación de la estructura productiva han sido considerados, por una parte, la participación en el valor agregado industrial (VAI) de las tres categorías de sectores en que ha sido subdividido el aparato productivo industrial (sectores intensivos en tecnología, en recursos naturales y en trabajo) y, por otra, la productividad de estos grupos de sectores. Los cambios realizados en algunos de los países de la región en el subperíodo 1997-2006 han sido comparados con los cambios que se han registrado en la estructura productiva de los Estados Unidos en el mismo período de referencia utilizado en este estudio para analizar el consumo de energía sectorial.

En los gráficos 2 a 5 se puede apreciar, en primer lugar, que los incrementos de productividad alcanzados

por los Estados Unidos fueron mucho mayores que los logrados por los países de la región en todos los grupos de sectores considerados, sobre todo en el caso de los sectores intensivos en tecnología. Sin embargo, las diferencias no se limitan a los aumentos de productividad, sino que conciernen también a la composición de la estructura productiva.

En los Estados Unidos, los sectores intensivos en tecnología representan el 53% del valor agregado industrial (VAI) y muestran, en 2006, una productividad mayor en comparación con los otros grupos de sectores industriales. Las ramas basadas en tecnología generan efectos de derrame de conocimiento hacia el resto de la estructura productiva, efectos que favorecen el acrecentamiento de la productividad de toda la estructura industrial. Esto hace que la transformación estructural en los Estados Unidos se relacione con un incremento generalizado de la productividad en el conjunto de la economía.

En general, los sectores más productivos y los que más contribuyen a la generación del valor agregado manufacturero son aquellos intensivos en recursos naturales (a excepción del Brasil y México en el año 2006). Por lo tanto, la estructura productiva no ha favorecido un proceso de crecimiento tecnológico y de aquellas actividades que difunden conocimiento y mejoran las capacidades tecnológicas.

Chile y Colombia aumentan su productividad en todos los sectores, pero muestran una estructura del valor agregado manufacturero mucho más concentrada en estos sectores intensivos en recursos naturales. Por otra parte, el Brasil y México son —en alguna medida— una excepción, porque presentan dinámicas de productividad mucho menos uniformes, y además porque los sectores intensivos en tecnología mantienen una alta participación

CUADRO 4

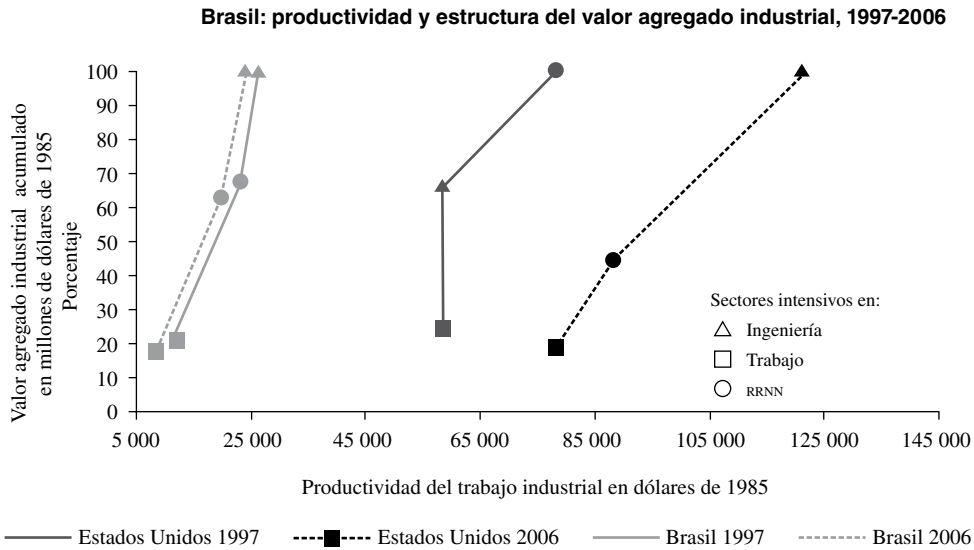
América Latina (18 países^a): balance comercial industrial, 1970-2007
(En millones de dólares corrientes)

Sectores	1970	1980	1990	1997	2003	2006	2007
Sectores intensivos en tecnología	-5 522	-28 686	-21 378	-56 934	-22 779	-66 752	-90 620
Sectores intensivos en recursos naturales	2 092	2 726	17 818	1 446	8 283	37 527	31 058
Sectores intensivos en trabajo	-530	-1 132	1 037	-8 928	-10 803	-22 035	-29 943
<i>Total</i>	<i>-3 960</i>	<i>-27 092</i>	<i>-2 523</i>	<i>-64 416</i>	<i>-25 299</i>	<i>-51 261</i>	<i>-89 505</i>

Fuente: Banco de Datos del Comercio Exterior de América Latina y el Caribe (BADECEL) de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

^a Argentina, Bolivia (Estado Plurinacional de), Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, Uruguay, Venezuela (República Bolivariana de).

GRÁFICO 2

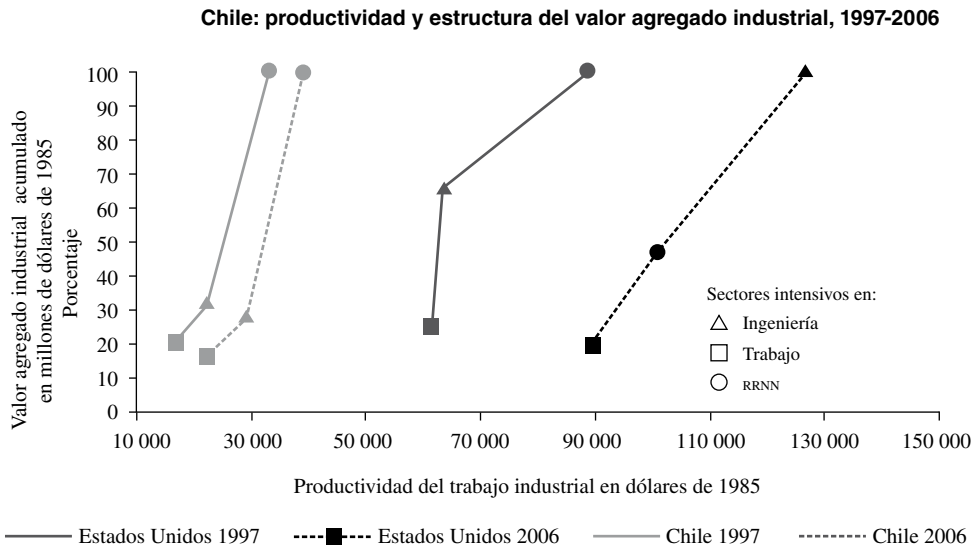


Fuente: elaboración propia sobre la base del Programa de Análisis de la Dinámica Industrial (PADI) de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Nota: En el eje horizontal se encuentra la productividad del trabajo en dólares constantes de 1985; en el eje vertical, la participación acumulada en el total del valor agregado industrial. El cuadrado representa a los sectores intensivos en trabajo, el círculo a los sectores intensivos en recursos naturales y el triángulo a los sectores intensivos en ingeniería.

RRNN: recursos naturales.

GRÁFICO 3

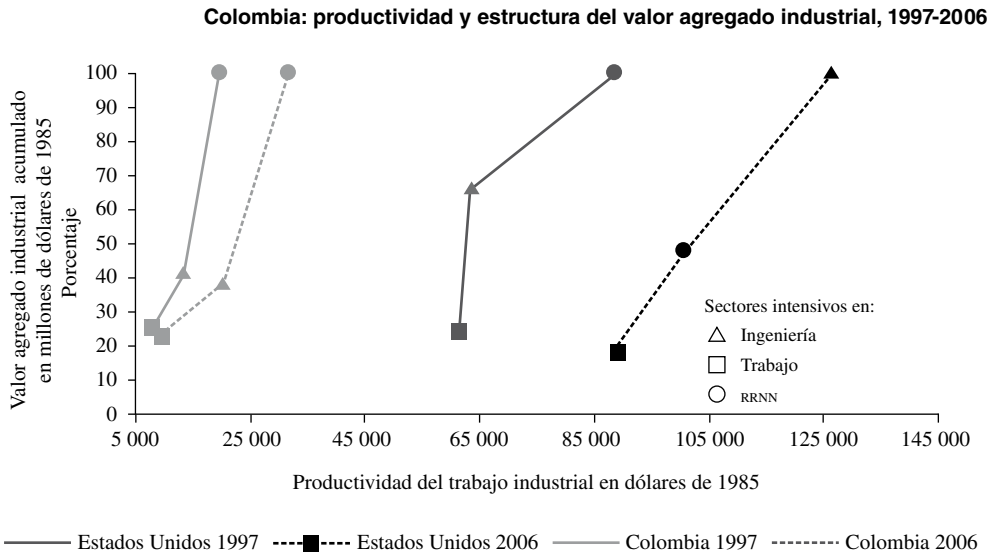


Fuente: elaboración propia sobre la base del Programa de Análisis de la Dinámica Industrial (PADI), de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Nota: En el eje horizontal se encuentra la productividad del trabajo en dólares constantes de 1985; en el eje vertical, la participación acumulada en el total del valor agregado industrial. El cuadrado representa a los sectores intensivos en trabajo, el círculo a los sectores intensivos en recursos naturales y el triángulo a los sectores intensivos en ingeniería.

RRNN: recursos naturales.

GRÁFICO 4

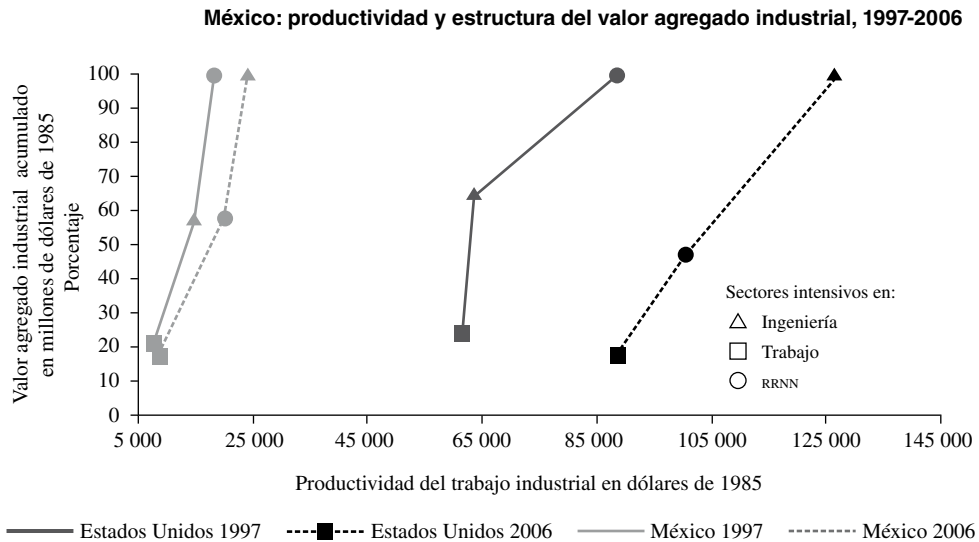


Fuente: elaboración propia sobre la base del Programa de Análisis de la Dinámica Industrial (PADI), de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Nota: En el eje horizontal se encuentra la productividad del trabajo en dólares constantes de 1985; en el eje vertical, la participación acumulada en el total del valor agregado industrial. El cuadrado representa a los sectores intensivos en trabajo, el círculo a los sectores intensivos en recursos naturales y el triángulo a los sectores intensivos en ingeniería.

RRNN: recursos naturales.

GRÁFICO 5



Fuente: elaboración propia sobre la base del Programa de Análisis de la Dinámica Industrial (PADI), de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Nota: En el eje horizontal se encuentra la productividad del trabajo en dólares constantes de 1985; en el eje vertical, la participación acumulada en el total del valor agregado industrial. El cuadrado representa a los sectores intensivos en trabajo, el círculo a los sectores intensivos en recursos naturales y el triángulo a los sectores intensivos en ingeniería.

RRNN: recursos naturales.

en el aparato industrial, que es mucho mayor que la de los casos anteriores.

En el caso del Brasil, los resultados poco alentadores en la productividad laboral se deben a que la industria ha incrementado notoriamente su absorción de empleo, de 4,9 millones de ocupados en 1997 a 6,5 millones en 2006, revirtiendo así la tendencia a la expulsión de mano de obra que venía presentando desde 1986, pocos años después de la crisis de la deuda. Asimismo, la mayoría de las empresas del Brasil han orientado sus procesos de reestructuración hacia una mayor eficiencia, priorizando la modernización mediante la importación de bienes de capital y la introducción de nuevas técnicas organizacionales. La inclinación a invertir en I+D ha sido bastante limitada y en general el perfil exportador del país no experimentó cambios sustantivos, permaneciendo sustentado principalmente en la elaboración de productos básicos (*commodities*) industriales (Ferraz, Kupfer y Serrano, 1999).

En el caso mexicano se observa un fuerte incremento de la productividad en los sectores intensivos en ingeniería, que pasaron a ser los más productivos en 2006. Estos sectores estarían estrechamente relacionados con la integración de cadenas productivas internacionales de valor, participando en los eslabones de menor valor agregado y capacidad de innovación con una manifiesta orientación hacia la eficiencia, pero sin producir efectos de derrame en la productividad agregada industrial. A

pesar del incremento del peso de los sectores intensivos en ingeniería, un alto porcentaje de los sectores intensivos en recursos naturales (RRNN) sigue manteniéndose dentro del entramado industrial.

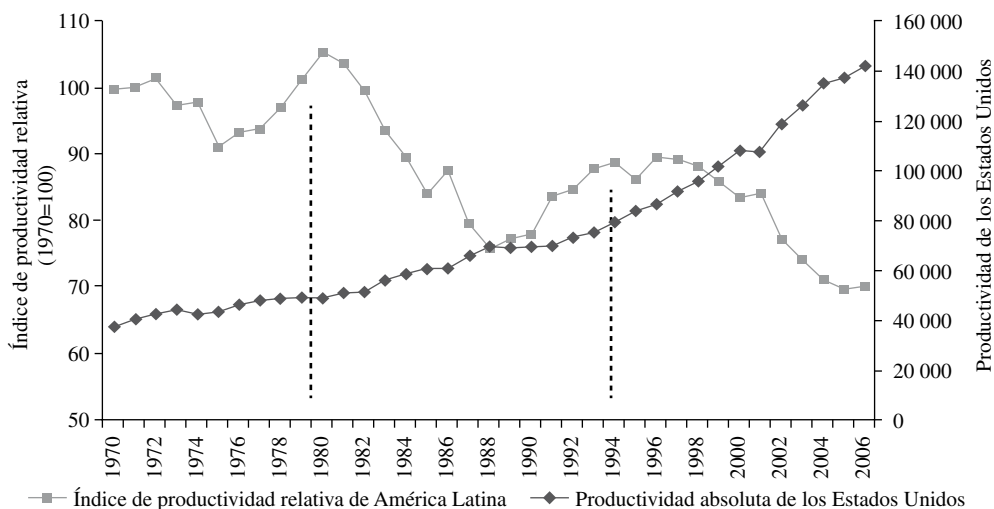
Los aspectos mencionados ponen en evidencia que los cambios tecnológicos en la industria de estos países latinoamericanos han sido limitados e insuficientes frente a los desafíos que plantea una estructura productiva más abierta e integrada al comercio internacional. Esta situación puede volverse aún más compleja en un contexto internacional en el que se están verificando, desde hace varios años, cambios en las tecnologías y en las modalidades de producción como consecuencia de una mayor incorporación de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) a los procesos productivos.

La comparación entre los niveles de productividad alcanzados por los países de la región y los Estados Unidos permite apreciar en alguna medida la dimensión de los desafíos que habrá que enfrentar. La evolución del índice de productividad laboral relativa de América Latina⁶ en el sector industrial muestra que no se verifica un cierre de la brecha de productividad a lo largo de todo el período considerado (véase el gráfico 6).

⁶ Se trata de un índice (base 1970=100) construido sobre la base del cociente entre la productividad laboral de América Latina y la productividad laboral de los Estados Unidos.

GRÁFICO 6

Índice de productividad relativa de América Latina y productividad de los Estados Unidos, 1970-2006



Fuente: elaboración propia sobre la base de Programa de Análisis de la Dinámica Industrial (PADT) de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

A partir de los años ochenta se observa una tendencia a la ampliación de la brecha de productividad, que se reduce en los años noventa. Sin embargo, desde mediados de la década de 1990 el índice de productividad relativa vuelve a caer (y, por lo tanto, la brecha se amplía). Cabe constatar que la caída es particularmente acentuada en los últimos seis años del período estudiado, lo que obedece a dos hechos. En primer lugar, la productividad laboral del sector industrial de los países de la región se incrementó un 2% anual entre 2003 y 2007, lo que representa el peor desempeño de este indicador en los últimos 36 años, con la excepción de la “década perdida” de los años ochenta. En segundo lugar, la productividad de los Estados

Unidos, después de haber aumentado durante 20 años a un ritmo del 3% anual aproximadamente, se incrementa a partir de mediados de los años noventa pasando a un valor de alrededor del 5% anual. Este segundo hecho, es decir, el mayor ritmo de la tasa de crecimiento de la productividad de los Estados Unidos se vincularía a la creciente incorporación del nuevo paradigma de las TIC en los procesos de producción de ese país (Oliner, Sichel y Stiroh, 2007). Por lo tanto, la “aceleración” de la tasa de crecimiento de la productividad de los Estados Unidos obedece principalmente a la transformación de la estructura industrial y la incorporación en ella de nuevos paradigmas (en particular las TIC).

IV

Estructura del consumo energético del Brasil, Chile, Colombia y México

En América Latina, la mayor participación dentro del consumo energético corresponde al sector industrial con el 37,1%, seguido del sector transporte que da cuenta del 35,4% del consumo energético total en la región en el año 2007. En el mismo período, el sector residencial representó el 17,4% y los demás sectores el restante 10% del consumo de energía (véase el cuadro 5). En los Estados Unidos, el sector de mayor consumo es el industrial, que concentra el 33%, mientras que el transporte consume un 29%, el residencial un 21% y los restantes un 17% de la energía total durante el mismo año, presentando así una estructura del consumo ligeramente distinta del caso latinoamericano, si bien la participación del sector

industrial se mantiene en alrededor del 33% en ambas economías (EIA, 2009).

Para analizar la importancia del consumo del sector industrial en el total de la región, en especial en los países seleccionados, es necesario tener en cuenta ciertos problemas de cuantificación de los consumos vinculados al sector manufacturero, dado que en muchos países la asignación de los consumos sectoriales de energía puede no ser exacta: por ejemplo, los complejos minero-metalúrgicos aparecen agregados, de manera que los consumos de las fases de producción primaria (minería) no se distinguen de los consumos de la fase de transformación (manufacturas). Lo mismo puede

CUADRO 5

América Latina: estructura del consumo energético en 2007
(En porcentajes)

Región/país	Transporte	Industria	Residencial	Comercial, servicios públicos	Agricultura, pesca, minería	Construcción y otros
América Latina y el Caribe	35,4	37,1	17,4	4,9	4,9	0,3
Brasil	31,9	43,6	12,3	5,3	6,9	0,0
Chile	38,6	32,7	23,8	4,8	0,0	0,1
Colombia	40,3	25,0	23,1	5,4	5,4	0,8
México	48,5	28,2	16,6	3,4	3,0	0,3

Fuente: elaboración propia sobre la base de datos provenientes de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), “Sistema de Información Económica Energética” (SIEE), abril de 2010.

ocurrir con algunas agroindustrias. De todas formas, puede observarse que la participación del consumo de energía industrial en los distintos países comparados es bastante homogénea, con la excepción del Brasil. En tal sentido, es posible caracterizar a un grupo definido de países donde el consumo energético industrial es menor que el promedio regional, con un mayor peso del transporte. Este es el caso de Chile, Colombia y México. En cambio, el Brasil representa el caso opuesto, donde el sector industrial sobrepasa el promedio regional y es el de mayor gravitación entre los sectores económicos.

El balance de la energía consumida por el sector industrial especifica la matriz de las distintas fuentes energéticas utilizadas por este y, en consecuencia, proporciona valiosa información acerca de las variables de energía que determinan tanto la intensidad energética como la emisión de carbono (CO₂) del sector. El consumo de energía primaria ha perdido peso con respecto a las fuentes secundarias, sin embargo, todavía representa alrededor de un cuarto del consumo total⁷. Dentro del consumo de energía primaria, la fuente más utilizada en la industria corresponde al gas natural, seguida por la producción leña y caña. Entre las fuentes secundarias se destaca el uso mayoritario de la electricidad y de dos componentes importantes dentro del consumo industrial, como son los derivados del petróleo (gasolina, diésel y fueloil) y coque.

En cuanto al consumo total de energía, varios han sido los procesos de sustitución entre fuentes que se produjeron desde 1980 hasta la fecha (Altomonte, 2008). La reducción del consumo de energía primaria fue provocada por la sustitución de la biomasa en general y de la leña en particular, caída que no fue compensada por el aumento del gas natural, aun cuando se duplicó la participación de este en la composición del consumo final (Altomonte, 2008). La expansión del gas natural obedece sobre todo a la acentuada sustitución del fueloil en el sector industrial y en la generación eléctrica. En menor medida debe mencionarse su penetración en el sector residencial, originada por el constante proceso de urbanización y expansión de las redes de distribución.

El crecimiento de la cobertura eléctrica y el proceso de urbanización explican la considerable penetración de la electricidad en la ecuación del consumo total: desde poco más de un 9% en 1980 a casi un 16% en

⁷ Se consideran como energía primaria las distintas fuentes de energía tal como se obtienen en la naturaleza, ya sea en forma directa —como en el caso de las energías hidráulica y solar, la leña y otros combustibles vegetales— o después de un proceso de extracción, como el petróleo, el carbón mineral, la geoenergía, y otros (OLADE, 2006).

CUADRO 6

**Estructura del consumo por fuentes,
1980-2006**
(En porcentajes)

Fuentes energéticas	1980	1990	2000	2006
Gas natural	10,57	11,96	11,77	13,93
Carbón mineral	0,82	1,05	1,40	1,61
Leña	16,88	13,03	9,43	9,16
Otras fuentes primarias	0,69	0,98	1,18	1,24
Total fuentes primarias	28,97	27,02	23,78	25,94
Electricidad	9,38	12,71	15,80	15,92
GLP	3,91	5,52	6,69	5,73
Gasolina	18,90	19,70	19,69	18,19
Fueloil	11,57	7,07	4,76	3,06
Otras fuentes secundarias	27,27	27,98	29,29	31,17
Total fuentes secundarias	71,03	72,98	76,22	74,06
<i>Total (en millones de bep)</i>	<i>1 966</i>	<i>2 382</i>	<i>3 043</i>	<i>3 676</i>

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) sobre la base de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), "Sistema de Información Económica Energética (SIEE)", agosto de 2008.

Bep: barriles de equivalente en petróleo.

GLP: gas licuado de petróleo.

2006 (véase el cuadro 6). Finalmente, cabe resaltar la notable expansión del gas licuado de petróleo (GLP), que casi duplica su participación y la "dieselización" del transporte, en especial del transporte de carga, que explica que el diésel oil ampliara sustantivamente su participación (contabilizado en otras fuentes secundarias).

Con relación a las fuentes renovables —no obstante los interesantes progresos normativos tendientes a impulsar su aplicación—, su participación en la oferta total de energía se mantiene prácticamente constante con un 25,7% entre 2002 y 2005. Dentro de estas fuentes predominan la hidroenergía, la leña y los productos de caña. Por ahora la geotermia, la energía eólica y la solar solo tienen participaciones marginales.

Como se planteó anteriormente, la combinación de energía utilizada en cada país es una dimensión relevante para evaluar la emisión de carbono y las respectivas intensidades energéticas a nivel industrial. En otras palabras, tanto la intensidad energética como su relación con el medio ambiente se ven afectadas por la composición de los distintos combustibles utilizados en las industrias de la región.

En el cuadro 7 se presenta la relación entre el poder calorífico y la cantidad de emisiones de CO₂ por cada tipo de fuente energética. En este cuadro se indica que un barril de equivalente en petróleo (bep) de 159 litros de petróleo emite 116,2 gramos de CO₂. La

CUADRO 7

Poder calorífico y emisiones de CO₂ por tipo de combustible^a

Fuente energética	Poder calorífico (Cantidades necesarias para obtener un bep de energía)		Emisiones de CO ₂ (gramos de carbono emitidos por cada bep de energía)
Petróleo	159,0	litros	116,2
Gas natural	165,2	m ³	88,9
Carbón mineral	205,7	kg	149,9
Electricidad ^b	1,6	MWh	93,0
Gasolina	178,9	litros	109,8
Kerosene	165,1	litros	113,3
Diésel	152,6	litros	117,4
Fueloil	150,3	litros	122,6
Coque	206,9	kg	173,1
Productos de caña ^c	1 297,9	kg	–
Gas licuado	131,0	kg	99,9

Fuente: Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), *Informe de estadísticas energéticas*, Quito, 2006; Agencia Internacional de la Energía, *World Energy Outlook 2008*, París, 2008; y *Voluntary Reporting of Greenhouse Gases*, Washington, D.C., 2007.

Notas:

^a Estos datos son meramente referenciales.

^b Dato correspondiente a América del Sur y Centroamérica, según la Agencia Internacional de la Energía (2007).

^c Las emisiones de la producción de caña dependen mucho de cuánto de esta producción se transforma en etanol y cuánto se utiliza como bagazo, que se emplea en la producción de papel o para quemar en caldera.

Bep: barril de equivalente en petróleo.

MWh: megavatio-hora.

misma equivalencia energética se podría obtener con 165, 2 metros cúbicos de gas natural, que sin embargo producen solo 88,9 gramos de CO₂.

Del cuadro 7 se desprende que las distintas fuentes de energía se pueden clasificar en tres grandes grupos de acuerdo con el grado de sus emisiones de CO₂. En el grupo de energías menos contaminantes están el gas natural, el gas licuado y la energía eléctrica⁸. En el grupo intermedio se hallan todos los derivados del petróleo y, por último, el grupo de las energías más contaminantes comprende todos los productos relacionados con el carbón (incluido el coque).

De lo anterior se infiere que aquellos países que consumen más gas natural presentan menores emisiones industriales que aquellos que se concentran en fuentes energéticas derivadas del petróleo o del carbón. En consecuencia, la elección de las fuentes energéticas va a ser un factor clave que dependerá no solo de las necesidades calóricas de la industria, de las regulaciones y políticas

ambientales y de los paradigmas tecnoeconómicos⁹, sino también de la dotación de recursos energéticos propios de cada país y de las posibilidades de abastecimiento desde países vecinos.

Muy poco se puede decir sobre las distintas variantes de estos paradigmas tecnoeconómicos dentro de cada país, ya que las restricciones tecnológicas varían sustancialmente incluso dentro de un mismo sector; y desde el punto de vista económico, los precios del sector energético también pueden ser muy diferentes de un país a otro. De hecho, estos distan mucho de estar sujetos a la libre competencia del mercado, puesto que muchos de ellos se determinan por intervención estatal, ya sea mediante regulación, subvenciones o a través de empresas públicas, en concordancia con la política energética de cada país.

⁸ La cantidad de emisiones derivadas del uso de energía eléctrica es un dato referencial que corresponde al promedio de América Latina. En este sentido, conviene destacar que existen diferencias importantes en las emisiones de CO₂ provenientes de las distintas fuentes primarias que se emplean en la producción de la energía eléctrica.

⁹ Por paradigmas tecnoeconómicos se entienden, en este caso, aquellas decisiones tomadas por los agentes económicos para satisfacer sus necesidades calóricas al menor costo posible dadas ciertas restricciones tecnológicas y un cierto nivel de precios relativos de los combustibles. También cabe considerar que tres de los cuatro países analizados cuentan con abundante disponibilidad de recursos fósiles, lo que ciertamente pesa a la hora de la toma de decisiones por parte de los agentes. Son los casos del Brasil, Colombia y México (aunque en el caso mexicano su relación reserva-producción de petróleo esté en franco retroceso).

Aun así, la composición de fuentes energéticas o el grado de utilización que se hará de ellas en la matriz energética industrial en cada país estarían determinados, al menos en parte, por la combinación de los precios relativos que existe entre las distintas fuentes en un momento histórico. Dada la relevancia de este tema, en el cuadro 8 se exponen ciertas tendencias internacionales de los precios de los principales combustibles, que si bien no dan luces en el contexto específico de cada país, permiten comprender los incentivos generales que operan en la utilización de ciertos tipos de energías, sobre todo en lo que respecta al menor costo que tienen las energías más contaminantes en relación con las energías más limpias, aun cuando dentro de cada país puedan

operar políticas explícitas de subsidios a los precios de ciertos energéticos.

De hecho, en el cuadro 8 se sugiere que el carbón es el combustible más económico para producir una unidad de energía (medida en términos de energía final, sin tener en cuenta el rendimiento de utilización de los equipos y procesos en que es utilizada), dado que en 2008 esta costaba solo poco más de 28 dólares si se producía con carbón, mientras que si se producía con gas natural costaba 57,033 dólares y 97,035 dólares si se producía con petróleo. Es por esto que el menor precio relativo del tipo de combustibles más contaminantes constituye un poderoso incentivo para la utilización de energéticos que producen más daño al medio ambiente.

CUADRO 8

Precios de los principales combustibles, 1990-2008

			1990	1996	2000	2006	2007	2008
Petróleo	(precio promedio)	(dólar/barril)	22,99	20,37	28,23	64,27	71,13	97,04
Gas natural	(precio promedio)	(dólar/1 000 m ³)	73,26	92,64	129,85	235,90	240,41	345,24
Carbón	(precio promedio)	(dólar/ton)	38,42	38,25	27,32	59,01	67,43	136,27
Gasolina	(precio en los Estados Unidos)	(dólar/barril)	29,84	25,02	34,98	76,53	85,47	103,49
			1990	1996	2000	2006	2007	2008
Petróleo	(precio promedio)	dólar/bep	22,99	20,37	28,23	64,27	71,13	97,04
Gas natural	(precio promedio)	dólar/bep	12,10	15,30	21,45	38,97	39,72	57,03
Carbón	(precio promedio)	dólar/bep	7,90	7,87	5,62	12,14	13,87	28,03
Gasolina	(precio en los Estados Unidos)	dólar/bep	33,57	28,16	39,35	86,11	96,17	116,44

Fuente: Fondo Monetario Internacional (FMI), *Estadísticas financieras internacionales*, Washington, D.C., 2010.

Bep: barriles de equivalente en petróleo.

V

Patrones sectoriales de consumo energético industrial en la región

La intensidad energética es un indicador comúnmente utilizado para medir la relación entre los usos de la energía y el desarrollo económico de un país a lo largo del tiempo. La evolución de este indicador, medido como la relación entre la cantidad de energía consumida y el PIB del país en un momento determinado, informa acerca de cómo la energía es utilizada —directa e indirectamente— para producir una unidad de producto. Las disparidades temporales y espaciales de este indicador son un reflejo a la vez de las estructuras de los sistemas energéticos y las estructuras de los sistemas productivos, y aparecen —por ende— relacionadas por una parte con elecciones tecnológicas y, por otra, con comportamientos sociales y económicos diferenciados.

Los analistas energéticos aceptan generalmente que la intensidad energética muestra a lo largo del tiempo una evolución creciente al comienzo de las primeras etapas de desarrollo (proceso de mecanización de la agricultura, desarrollo de industrias intensivas en energía como la química, la cementera, la metalúrgica y la del papel) o crecimiento de sectores primarios intensivos en energía como la minería; luego se estanca (estabilización de dichos procesos), para finalmente decrecer mediante la incorporación de innovaciones tecnológicas y del conocimiento, y por medio de mejoras en el rendimiento y en la transformación y consumo de energía.

De la misma manera, este concepto se puede aplicar con un alcance sectorial. Así, para el caso del sector industrial, podría utilizarse como indicador de intensidad energética la cantidad de energía consumida para producir una determinada unidad física de producto, por ejemplo, kilocalorías por tonelada de acero o cemento. Además, dada la disponibilidad de información y la necesidad de proceder a analizar este indicador de forma más desagregada, en esta investigación se utilizarán dos metodologías complementarias:

i) Por una parte, se separarán según los diferentes “efectos” que explican el consumo energético industrial¹⁰. En este caso se hará referencia a la intensidad energética

del agregado del sector industrial, entendida como la cantidad de energía física (en calorías) necesaria para producir una unidad de valor agregado medido en moneda constante (calorías/dólar de valor agregado en dólares constantes del año 2000).

ii) Por otra parte, para realizar un análisis más desagregado del sector manufacturero, se examinará la estructura del consumo industrial según la taxonomía de Katz y Stumpo (2001). En este caso se utilizarán las encuestas industriales, que en su gran mayoría no publican los datos de consumo físico de energía, sino los datos del gasto monetario en energía. De este modo, en esta segunda parte del análisis de la dinámica energética se usará una variable sustitutiva (*proxy*) de intensidad energética, como lo es el gasto energético necesario para producir una unidad de valor agregado, ambos valores medidos en dólares constantes del año 2000.

Nótese que la evolución del consumo energético medido en cantidades físicas (en calorías) podría ser muy distinta de la evolución del consumo energético medido como gasto monetario (en pesos o dólares). Esta diferencia estriba en que un aumento del gasto monetario no implica necesariamente un incremento del consumo físico y, por ende, un mayor gasto por unidad de valor agregado no representa necesariamente un acrecentamiento de la intensidad energética¹¹.

1. Estados Unidos

Los Estados Unidos no solo se perfilan como una potencia productiva, dada la modernización de su aparato industrial y su alta productividad, sino que también presentan estándares energéticos muy elevados, producto

¹⁰ La metodología de descomposición de la energía consumida en el sector industrial se presenta en el Anexo.

¹¹ Un ejemplo de esto podría producirse en una empresa o sector que modernizara sus procesos de consumo energético recurriendo a fuentes más limpias, pasando de fuentes más contaminantes y baratas (como el carbón o el petróleo) a otras más refinadas, de mayor rendimiento, pero también más costosas (como el gas o la energía eléctrica). El traspaso de fuentes más baratas y contaminantes a fuentes de mayor rendimiento de seguro implicaría un gasto (monetario) más elevado en energía, pero no necesariamente un mayor consumo físico o una mayor intensidad energética, dado justamente el mejor rendimiento de las nuevas fuentes.

de la disminución de su consumo energético industrial y su especialización en actividades menos intensivas en energía y con alto valor agregado. Por esta razón, los Estados Unidos se han tomado como variable sustitutiva para la frontera, ya que proporcionan una idea de las mejores prácticas posibles en términos productivos y presentan además una notable reducción en la intensidad energética industrial.

Como se aprecia en el cuadro 9, en el subperíodo 1997-2006 disminuyen tanto la intensidad energética (-0,1% anual) como el consumo de energía total en el sector industrial (-0,8% anual). Además, en un contexto de más largo plazo, en los tres períodos estudiados se observa que el efecto estructura ha sido negativo, lo que implica que la industria pierde participación dentro del producto, mientras que lo opuesto ha ocurrido con el nivel de actividad, que implica que el crecimiento económico ha contribuido notablemente al mayor consumo energético en la industria estadounidense (véase el gráfico 7).

En el gráfico 8 se ilustra la participación del consumo energético acumulado (eje vertical) y el gasto necesario en energía para generar una unidad de valor agregado (eje horizontal), según las tres agrupaciones manufactureras: sectores intensivos en ingeniería, recursos naturales (RRNN) y trabajo. En 1997, los sectores con menor gasto energético por unidad de valor agregado son los intensivos

CUADRO 9

Estados Unidos: evolución de los efectos intensidad, estructura y actividad del consumo energético de la industria, tres subperíodos
(En porcentajes)

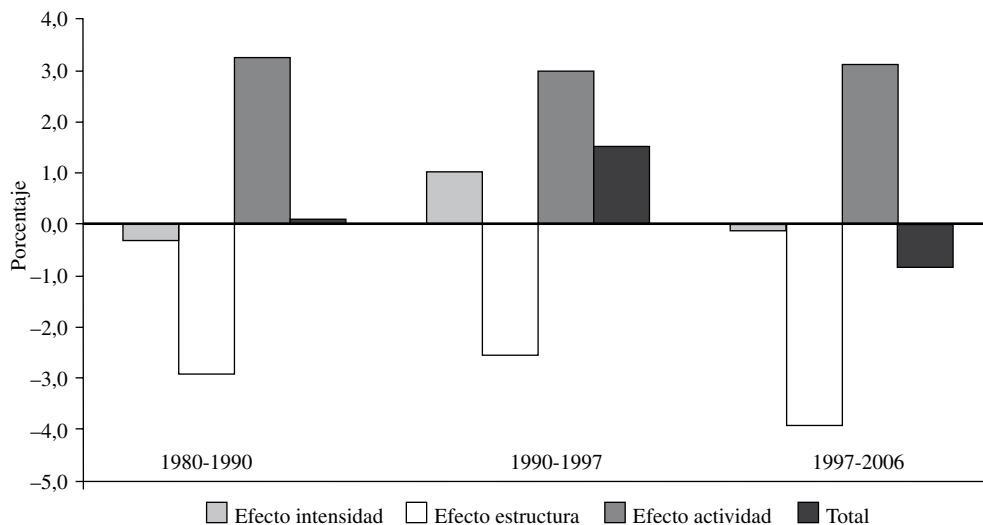
Subperíodo	Efecto intensidad	Efecto estructura	Efecto actividad	Total
1980-1990	-0,3	-2,9	3,2	0,0
1990-1997	1,0	-2,4	3,0	1,5
1997-2006	-0,1	-3,8	3,1	-0,8

Fuente: elaboración propia sobre la base de Departamento de Energía de los Estados Unidos/Administración de Información Energética, *Monthly Energy Review*, junio de 2009; y Oficina de Análisis Económicos, "Encuesta de la Actividad Empresarial Actual", 2009.

en ingeniería, seguidos por los sectores intensivos en trabajo que presentan una intensidad intermedia y por último están los sectores intensivos en RRNN, que son los más intensivos en energía. La misma clasificación sectorial se mantiene en 2006, casi una década después, aun cuando todos los sectores presentan una reducción del consumo energético por unidad de producto. Así, vemos que de 1997 a 2006 ha habido un desplazamiento de la curva de derecha a izquierda en todos los sectores de la industria, indicando que estos necesitan gastar una

GRÁFICO 7

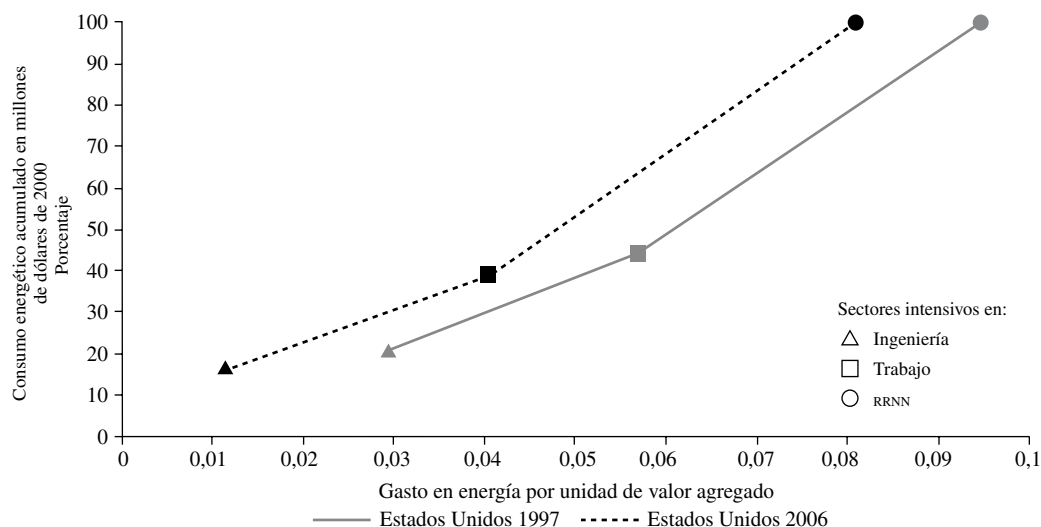
Estados Unidos: evolución de los efectos intensidad, estructura y actividad del consumo energético de la industria, tres subperíodos
(En porcentajes)



Fuente: elaboración propia sobre la base de Departamento de Energía de los Estados Unidos/Administración de Información Energética, *Monthly Energy Review*, junio de 2009; y Oficina de Análisis Económicos, "Encuesta de la Actividad Empresarial Actual", 2009.

GRÁFICO 8

Estados Unidos: consumo energético acumulado y gasto de energía en la industria por unidad de valor agregado, 1997-2006



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) sobre la base de encuestas industriales.

Nota: el gasto en energía por unidad de valor agregado está calculado como la razón entre el consumo energético industrial (en millones de dólares de 2000) y el valor agregado industrial (en millones de dólares de 2000).

RRNN: recursos naturales.

menor cantidad de recursos monetarios en energía para generar la misma unidad de valor agregado.

Con respecto al consumo energético acumulado, se aprecia que en los Estados Unidos los sectores intensivos en ingeniería e intensivos en trabajo consumen, cada uno, de un 15% a un 20% y de un 20% a un 25%, respectivamente, de la energía total industrial, mientras que entre el 55% y el 60% restante lo consumen los sectores intensivos en RRNN. Nótese que los Estados Unidos no son una economía que se caracterice por ser especializada en RRNN; por ende, la alta participación de los recursos naturales dentro del consumo energético total industrial implica un consumo relativo mucho mayor de estos sectores (y de hecho, ello se ve reflejado en el mayor consumo por unidad de valor agregado).

Además, aun cuando esta estructura del consumo es aproximadamente constante en el tiempo, se observa una mejoría en los sectores intensivos en ingeniería, que logran aminorar acentuadamente su intensidad energética y disminuir su participación en el consumo total de energía, representando un claro ejemplo de un cambio estructural virtuoso. De esta manera, se puede observar que la reducción de la intensidad energética se ve explicada no solo por una merma del gasto energético por unidad de valor agregado en todos los

sectores manufactureros, sino también por un cambio de composición de la estructura productiva hacia los sectores menos intensivos en energía, es decir, aquellos intensivos en ingeniería.

2. Brasil

El comportamiento del consumo del sector industrial brasileño denota una tendencia creciente y preocupante de su consumo energético: si bien este cae pronunciadamente en el subperíodo 1980-1990 (-6,0%), aumenta en los subperíodos sucesivos: un 3,7% durante 1990-1997, y un 3,5% en el lapso 1997-2006.

De manera similar al caso estadounidense, se observa que el efecto estructura es sistemáticamente negativo, mientras que el efecto actividad contribuye siempre a un mayor consumo energético, tendencia que obedece a la intensa dinámica de la economía brasileña de los último 15 años (véanse el cuadro 10 y el gráfico 9).

En el caso brasileño, el aumento de la intensidad energética se observa tanto a nivel agregado, que muestra un incremento de un 1,2% anual en el subperíodo 1997-2006, como a nivel desagregado, por grupos de sectores productivos. De hecho, el Brasil presenta un patrón opuesto a la frontera energética, ya que las tres agrupaciones

CUADRO 10

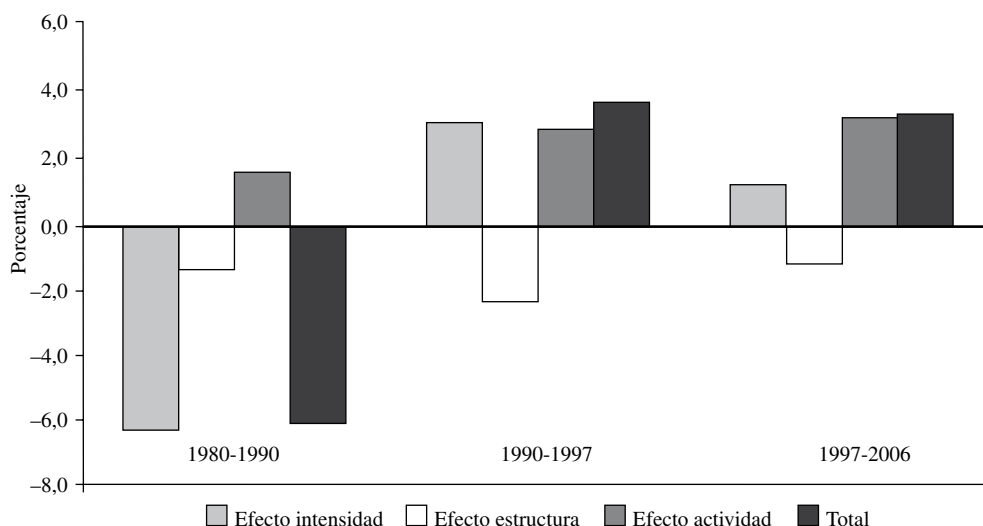
Brasil: evolución de los efectos intensidad, estructura y actividad del consumo energético de la industria, tres subperíodos
(En porcentajes)

Subperíodo	Efecto intensidad	Efecto estructura	Efecto actividad	Total
1980-1990	-6,2	-1,3	1,6	-6,0
1990-1997	3,1	-2,3	2,9	3,7
1997-2006	1,2	-1,1	3,3	3,5

Fuente: elaboración propia sobre la base de CEPALSTAT y Ministerio de Minas y Energía de Brasil. "Balance energético nacional", 2009.

GRÁFICO 9

Brasil: evolución de los efectos intensidad, estructura y actividad del consumo energético de la industria, tres subperíodos
(En porcentajes)



Fuente: elaboración propia sobre la base de CEPALSTAT y Ministerio de Minas y Energía de Brasil. "Balance energético nacional", 2009.

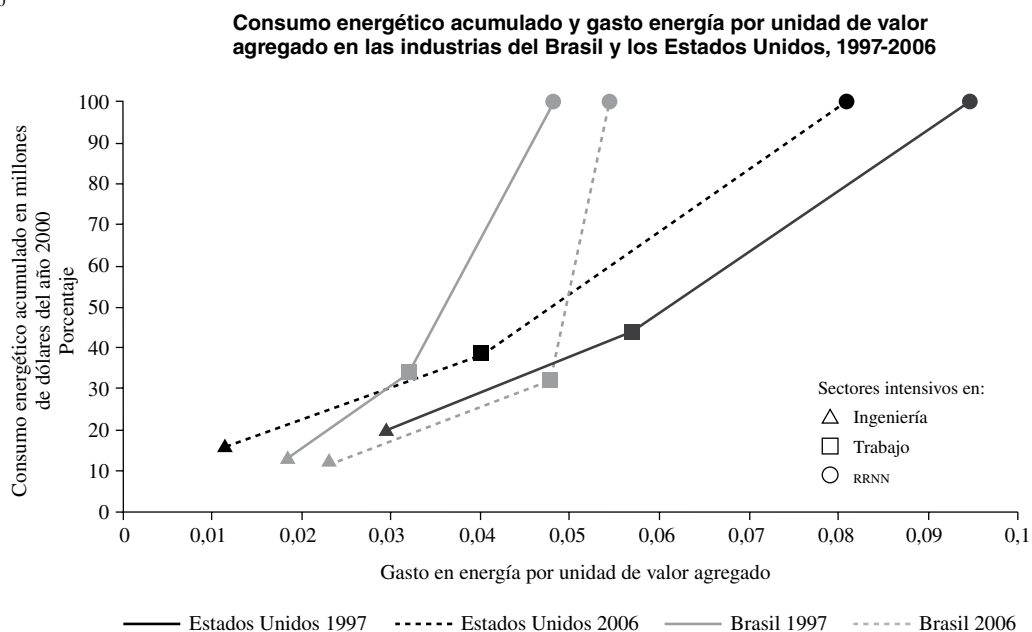
sectoriales muestran un acentuado incremento en el gasto de energía por unidad de valor agregado durante el período de estudio. Además, la composición del consumo energético dentro del sector industrial tampoco muestra señales positivas, ya que la participación de los sectores intensivos en RRNN —justamente los más intensivos energía— se ha incrementado (véase el gráfico 10).

Uno de los factores explicativos del empeoramiento de la intensidad energética puede radicarse en los cambios registrados en la composición del consumo por fuentes energéticas, dado que se sustituyeron fuentes de alto rendimiento por otras de menor rendimiento energético. Así, entre 1990 y 2006, se observa en el Brasil un aumento de la participación del carbón (del 53% al 63%) y del gas natural (por lo general, fuentes destinadas a

usos calóricos) en detrimento de la participación de la electricidad (del 24% al 20%), usualmente utilizada como fuerza motriz. Además, la crisis eléctrica de comienzos de los años noventa implicó un cambio en el patrón de comportamiento energético con miras a disponer de una mayor reserva eléctrica con centrales que quemen combustibles fósiles y una mayor participación de agentes industriales y privados en la "autoproducción" eléctrica. Quizás esa sea una de las explicaciones de este descenso en la participación del consumo de electricidad.

Como es sabido, la energía eléctrica es la fuente de mayor rendimiento, mientras que los procesos para el uso calórico de energías fósiles presentan pérdidas considerables y consiguientes bajos rendimientos (véase el cuadro 11).

GRÁFICO 10



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) sobre la base de encuestas industriales.

Nota: El gasto en energía por unidad de valor agregado está calculado como la razón entre el consumo energético industrial (en millones de dólares del año 2000) y el valor agregado industrial (en millones de dólares del año 2000).

RRNN: recursos naturales.

CUADRO 11

Brasil: evolución de la estructura del consumo industrial por fuentes, 1990-2006
(En millones de TEP y porcentajes)

Brasil	Electricidad	Gas natural	Petróleo y derivados	Carbón y otras	Total
1990 10 ⁶ TEP	9,66	2,45	6,85	21,20	40,15
Porcentaje	24,05	6,10	17,06	52,79	100,00
2000 10 ⁶ TEP	12,61	5,51	7,31	31,53	56,96
Porcentaje	22,14	9,68	12,83	55,35	100,00
2006 10 ⁶ TEP	15,60	9,65	3,96	49,27	78,48
Porcentaje	19,88	12,30	5,05	62,78	100,00

Fuente: elaboración propia sobre la base de Ministerio de Minas y Energía de Brasil. "Balance energético nacional", 2009.

TEP: toneladas de equivalente en petróleo.

Estas tendencias del consumo por fuente (sobre todo el aumento del uso del carbón) y la gran actividad industrial en el Brasil arrojan como resultado una evolución oscilante de la intensidad en carbono (CO₂ por unidad de valor agregado), aunque con una notoria tendencia creciente: de 0,6903 en 1990 a 0,8948 en 2006 (véase el cuadro 12).

Si bien se podría concluir que el aumento del consumo y de la intensidad energética¹² a nivel industrial perfilan al Brasil como uno de los países cuyo modelo de crecimiento industrial no es sostenible energéticamente, se debe considerar que la propensión a la búsqueda de la autosuficiencia energética explica en parte una mayor

utilización de recursos fósiles de producción local. Es así como en 2008 el Brasil anunció su autonomía energética, y en el futuro mediano —en caso de ser explotados en su totalidad los grandes yacimientos petroleros submarinos descubiertos— este país podría constituirse en un exportador de hidrocarburos.

3. Chile

El consumo energético industrial en este país crece constantemente a tasas iguales o superiores al 2% anual, destacándose el subperíodo 1990-1997 con un 8,7% anual. Al igual que en los casos brasileño y estadounidense, el efecto estructura presenta valores negativos, mientras que el efecto actividad es siempre positivo (véanse el cuadro 13 y el gráfico 11). Esto denota la pérdida de participación del valor agregado del sector industrial en el conjunto de la economía, y la magnitud del efecto actividad sobre todo en los últimos dos subperíodos.

¹² El aumento de la intensidad energética se explica por un incremento general del gasto en energía por unidad de producto, una creciente participación de los sectores intensivos en RRNN dentro del total del consumo energético y la sustitución de fuentes de alto rendimiento energético por otras de bajo rendimiento.

CUADRO 12

Brasil: intensidad de carbono de la industria, 1990-2006

	1990	2000	2005	2006
Millones de toneladas de CO ₂	57,5	94,0	99,5	105
VAI (millones de dólares de 2000)	83 293	96 131	110 925	117 463
Kg CO ₂ /VAI	0,6903	0,9778	0,8970	0,8948

Fuente: elaboración propia sobre la base de Administración de Información Energética (2007), *Voluntary Reporting of Greenhouse Gases*, Washington, D.C., Departamento de Energía, 2010; y Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), *La hora de la igualdad: Brechas por cerrar, caminos por abrir* (LC/G.2432(SES.33/3)), Santiago de Chile, 2010.

VAI: valor agregado industrial.

Kg CO₂/VAI: kilos de carbono por unidad de valor agregado industrial.

CUADRO 13

Chile: evolución de los efectos intensidad, estructura y actividad del consumo energético de la industria, tres subperíodos (En porcentajes)

Subperíodo	Efecto intensidad	Efecto estructura	Efecto actividad	Total
1980-1990	0,0	-0,3	2,9	2,6
1990-1997	2,4	-1,9	8,2	8,7
1997-2006	-0,7	-0,9	3,6	2,0

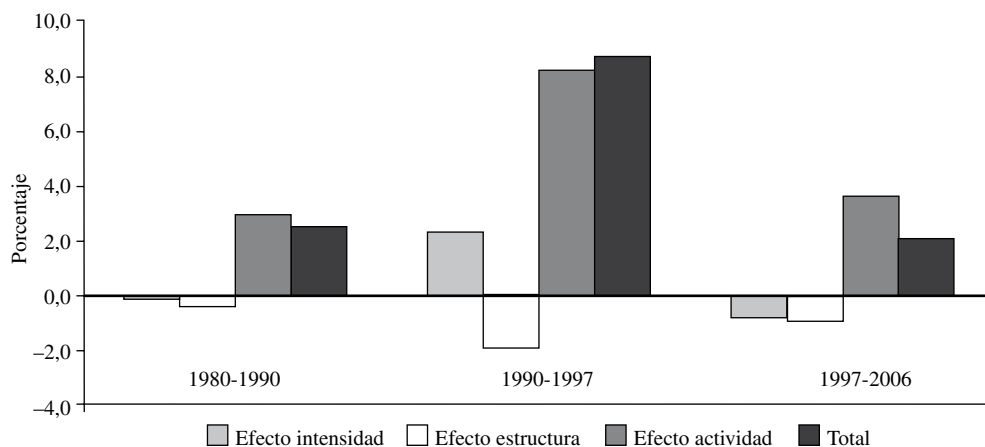
Fuente: elaboración propia sobre la base de Ministerio de Energía, "Balance energético", 2009, Santiago de Chile, 2009; CEPALSTAT y Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), *La hora de la igualdad: Brechas por cerrar, caminos por abrir* (LC/G.2432(SES.33/3)), Santiago de Chile, 2010.

Por otra parte, la intensidad energética se ha mantenido fluctuante, mostrando una leve caída ($-0,7\%$ anual) durante el último subperíodo de estudio. A nivel de grupos de actividades se presentan tendencias contradictorias. Mientras que los sectores intensivos en RRNN aumentan

su gasto energético por unidad de valor agregado, incrementando también su ya alta participación dentro del consumo total, los sectores intensivos en trabajo e ingeniería disminuyen su consumo por unidad de valor agregado (véase el gráfico 12).

GRÁFICO 11

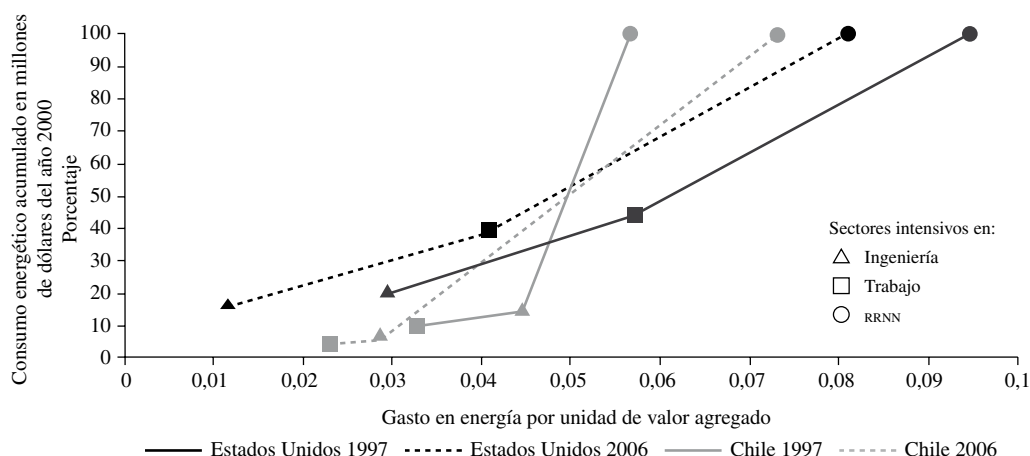
Chile: evolución de los efectos intensidad, estructura y actividad del consumo energético de la industria, tres subperíodos
(En porcentajes)



Fuente: elaboración propia sobre la base de Ministerio de Energía, "Balance energético", 2009, Santiago de Chile, 2009; CEPALSTAT y Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), *La hora de la igualdad: Brechas por cerrar, caminos por abrir* (LC/G.2432 (SES.33/3)), Santiago de Chile, 2010.

GRÁFICO 12

Participación del consumo energético y productividad en los sectores manufactureros de Chile y los Estados Unidos, 1997-2006



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) sobre la base de encuestas industriales.

Nota: El gasto en energía por unidad de valor agregado está calculado como la razón entre el consumo energético industrial (en millones de dólares del año 2000) y el valor agregado industrial (en millones de dólares del año 2000).

RRNN: recursos naturales.

La reducción de la intensidad energética a nivel agregado, así como el mayor gasto de energético en los sectores más intensivos en energía podrían explicarse, en parte, al examinar la industria del cobre, de particular importancia en el caso chileno dada la profunda especialización de este país en ese sector. En la industria cuprífera no se han explotado aún todas las potencialidades para aumentar su eficiencia energética; sin embargo, desde los años ochenta hasta hoy su consumo de energía en cantidades físicas por unidad de valor agregado ha disminuido sistemáticamente, debido sobre todo a los cambios tecnológicos orientados a la sustitución de fuentes de menor costo y menor rendimiento por otras de mayor costo y mayor rendimiento. Así, por ejemplo, se ha alcanzado una elevada penetración de la hidrometalurgia para la refinación de los óxidos de cobre, en desmedro del proceso pirometalúrgico tradicional y, además, se han reemplazado muchos hornos de reverbero (caracterizados por su alto consumo energético) en la fundición de cobre, si bien todavía están vigentes en algunas explotaciones importantes. Estos cambios en el proceso productivo han significado una disminución del 13% de la intensidad energética en la industria cuprífera (Maldonado, 2007).

Si bien no hay información o estudios similares para otras industrias que sean tan concluyentes como en el caso del cobre, se observa que el efecto “tecnológico” presenta períodos con signos cambiantes. De todos modos, se puede inferir que solo en los últimos años la industria, al igual que en el resto de la política energética nacional, habría asignado una incipiente importancia a la eficiencia energética. Los resultados de los esfuerzos realizados por el Programa País de Eficiencia Energética (PPEE), desde su creación a la fecha, así como el impacto del alza sostenida de los precios de la energía hasta fines de 2008, no se tradujeron en una agresiva

política de eficiencia energética que haya redundado en la disminución del uso intenso de energía.

Por otra parte, las variaciones del coeficiente de intensidad energética se dieron en paralelo con un complejo proceso de sustitución entre fuentes. La presencia preponderante de fuentes importadas de energía sometió a Chile a una exposición relevante no solo por el riesgo de suministro, sino también por la repercusión de las alzas y la volatilidad de los precios internacionales. Esta dependencia de fuentes externas se agravó ante la presencia de un proveedor casi exclusivo, como en el caso del gas natural que importaba masivamente desde la Argentina hasta 2004. Sin embargo, a partir de 2005 la situación comienza a revertirse en favor de energías más contaminantes, como el incremento del consumo de carbón, retornándose de a poco al patrón de consumo previo a 1998 y a un fuerte consumo de combustible (véase el cuadro 14).

A su vez, este proceso de sustitución se vio reflejado en el comportamiento oscilante de la intensidad de carbono: considerable aumento del 71% de las emisiones de CO₂ por unidad de valor agregado entre 1990 y 2000; reducción de 11% entre 2000 y 2005 e incremento nuevamente de 20% entre 2005 y 2006 (véase el cuadro 15).

Se podría concluir que la reducción de la intensidad energética —que se explica por un menor gasto en energía por unidad de producto en las industrias intensivas en trabajo e ingeniería, y la disminución del uso intensivo de energía en la industria del cobre— sugiere que Chile se encuentra en una situación bastante positiva en términos energéticos, aunque con interrogantes en el futuro debido a la creciente participación del carbón mineral.

4. Colombia

Desde 1980, el consumo energético total en la industria colombiana presentaba una tendencia creciente digna

CUADRO 14

Chile: evolución de la estructura del consumo industrial por fuentes, 1990-2007

(En millones de TEP y porcentajes)

		Electricidad	Gas natural	Petróleo y derivados	Carbón y otras	Total
1990	10 ⁶ TEP	0,88	0,18	1,43	1,39	3,87
	Porcentaje	22,61	4,69	36,94	35,76	100,00
2000	10 ⁶ TEP	2,21	0,98	2,14	1,96	7,28
	Porcentaje	30,32	13,45	29,37	26,86	100,00
2007	10 ⁶ TEP	1,39	0,47	2,95	2,16	6,96
	Porcentaje	19,95	6,70	42,33	31,01	100,00

Fuente: Ministerio de Energía, “Balances Energéticos”, 2009, Santiago de Chile, 2009.

TEP: toneladas de equivalente en petróleo.

CUADRO 15

Chile: intensidad de carbono de la industria, 1990-2006

	1990	2000	2005	2006
Millones de ton de CO ₂	8,62	14,78	15,75	17,78
VAI (millones de dólares de 2000)	7 811	12 131	14 560	15 135
Kg CO ₂ /dólar de VAI	1,10	1,22	1,08	1,17

Fuente: elaboración propia sobre la base de Agencia Internacional de la Energía (AIE) y Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Ton: toneladas.

VAI: valor agregado industrial.

Kg CO₂/VAI: kilos de carbono por unidad de valor agregado industrial.

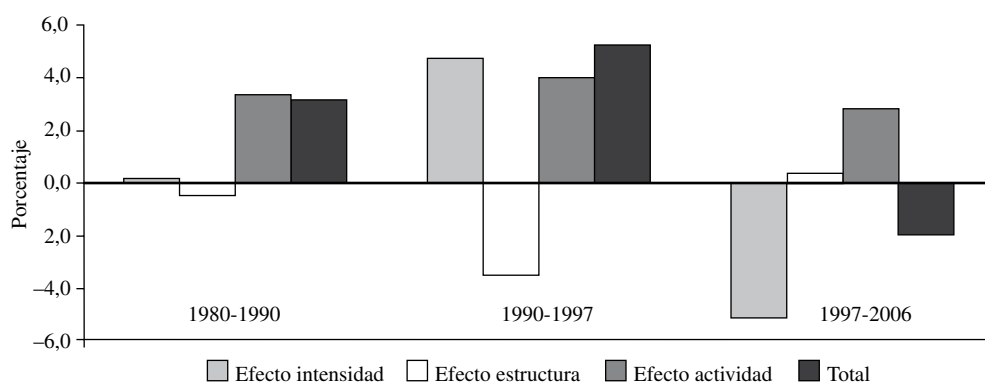
CUADRO 16

Colombia: evolución de los efectos intensidad, estructura y actividad del consumo energético de la industria, tres subperíodos
(En porcentajes)

Subperíodo	Efecto intensidad	Efecto estructura	Efecto actividad	Total
1980-1990	0,2	-0,5	3,4	3,1
1990-1997	4,7	-3,5	4,0	5,2
1997-2006	-5,1	0,4	2,8	-1,9

Fuente: elaboración propia sobre la base de Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), "Sistema de información minero energético colombiano 2010" [en línea] http://www1.upme.gov.co/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=108.

GRÁFICO 13

Colombia: evolución de los efectos intensidad, estructura y actividad del consumo energético de la industria, tres subperíodos


Fuente: elaboración propia sobre la base de Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), "Sistema de información minero energético colombiano 2010" [en línea] http://www1.upme.gov.co/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=108.

de preocupación, que fue revertida durante el último subperíodo (1997-2006). De esta manera, se destaca el crecimiento de 5,3% anual en el subperíodo 1990-1997, seguido del descenso de un -1,9% en el subperíodo

siguiente (véanse el cuadro 16 y el gráfico 13). Es importante enfatizar que mientras el crecimiento económico colombiano sigue contribuyendo a un mayor consumo energético, la tendencia decreciente del efecto estructura

también se revierte en el último subperíodo, implicando un aumento de la participación de la industria en el total del producto nacional y, por ende, un incremento de su consumo energético. Lo positivo de estos dos efectos durante el último subperíodo (1997-2006) destaca aún más la reducción del consumo energético total, que se hace posible solo gracias a la relevante aminoración de la intensidad energética, que disminuye (a una tasa de un -5,1% anual) y contrarresta así el incremento (de un 4,7% anual) registrado en el subperíodo anterior.

A nivel más desagregado se observan tendencias opuestas. Mientras los sectores intensivos en recursos naturales y los intensivos en trabajo aumentan su gasto en energía por unidad de valor agregado, los sectores intensivos en energía lo reducen drásticamente, disminuyendo aún más la escasa participación que tenían en el consumo energético total de la industria colombiana (véase el gráfico 14).

La disminución de la intensidad energética se puede explicar en gran medida por la incorporación de procesos más eficientes en las manufacturas colombianas, como es el uso de energéticos alternativos (UPME, 2008).

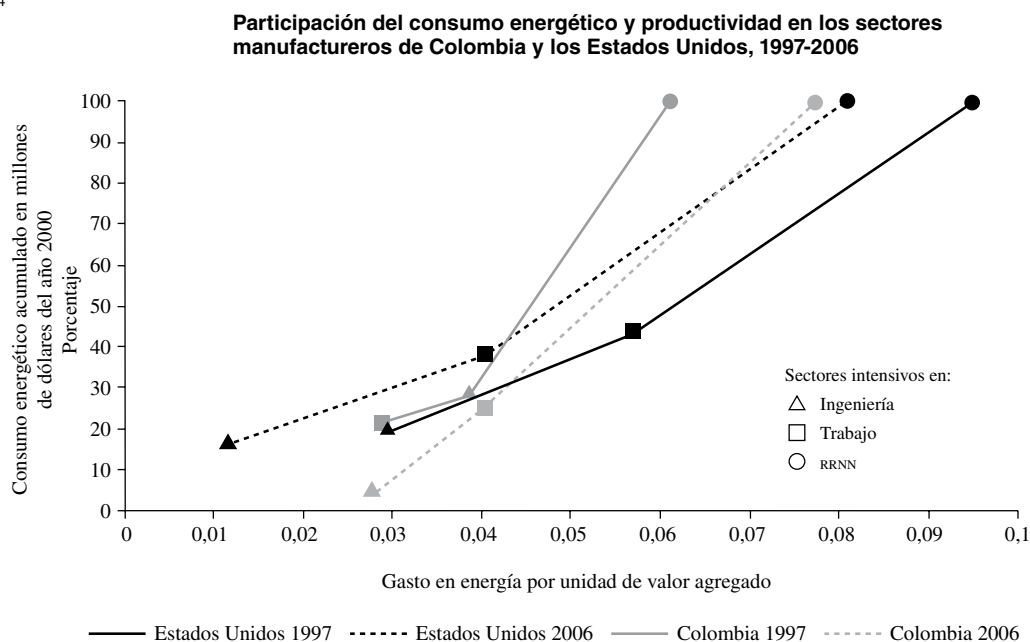
Ciertas industrias sufrieron importantes cambios que, sin embargo, al compararse con indicadores

internacionales parecen presentar todavía espacios para mejorar el rendimiento tanto del valor de los consumos específicos de la energía como del agua.

En diferentes industrias se hacía un elevado uso del carbón, del petróleo crudo (denominado de Castilla) y del fueloil, mientras que la utilización de combustibles gaseosos era incipiente y el uso de residuos, bajo. En la industria del papel, por ejemplo, el análisis comparativo de los resultados evidencia un alto potencial de ahorro de energía según tecnologías y escala de producción: las empresas no integradas pertenecientes a la mediana industria poseen como característica especial el uso de tecnología de tambor rotativo para la formación de la hoja. Solo una de las empresas encuestadas consume energía térmica para el proceso; las otras realizan el proceso de secado con el aire ambiente. El consumo específico de energía de estas industrias no es comparable con los índices internacionales, dado los bajos volúmenes de producción y el tipo de tecnología utilizado en Colombia¹³.

¹³ Los consumos específicos promedio para las empresas integradas son del orden de 0,9 MWh/ton equivalentes a 3,2 Giga Joules / ton (GigaJoules/ton) y de 5.731,8 Mega calorías/ton (Mcal/ton) equivalentes a 23,9 GigaJoules/ton para la energía eléctrica y térmica,

GRÁFICO 14



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) sobre la base de encuestas industriales.

Nota: el gasto en energía por unidad de valor agregado está calculado como la razón entre el consumo energético industrial (en millones de dólares de 2000) y el valor agregado industrial (en millones de dólares de 2000).

RRNN: recursos naturales.

La política de masificación del uso del gas natural implementada en Colombia encontró ciertas dificultades para ampliar su mercado interno vinculadas a la competencia de sus sustitutos y el esquema de precios

respectivamente, y de 27,1 GigaJoules/ton para la energía total (eléctrica más térmica). El consumo específico global es inmensamente superior que el reportado internacionalmente de 16,7 GigaJoules/ton para empresas del mismo tipo, lo que representa un potencial de reducción del consumo específico del 60%. Para las empresas no integradas, los consumos específicos promedio son del orden de 0,9 MWh/ton (3,2 GigaJoules/ton) para la energía eléctrica, 3.487,5 Mcal/ton (14,6 GigaJoules/ton) para la energía térmica y de 17,8 GigaJoules/ton para la energía total. El consumo específico global es ligeramente superior que el reportado internacionalmente de 15,5 GigaJoules/ton. Lo anterior representa un potencial de reducción del consumo específico del 15%. El consumo específico de agua puede estar en valores cercanos a 40 m³/ton e incluso, en plantas con sistemas totalmente cerrados, en valores de 8 m³/ton. En algunas de las empresas se cuenta con sistemas de recuperación y recirculación de aguas en ciertos procesos. Este punto sirve de comparación a las empresas que exceden esta referencia, las que tienen grandes posibilidades de ahorro por reaprovechamiento del agua en los propios procesos, además de la disminución del impacto ambiental ocasionado por el vertimiento de aguas con contaminantes y sólidos.

relativos¹⁴. La participación del gas natural aumentó constantemente en la matriz energética nacional, y en el caso particular del sector industrial pasó del 18,39% a más del 31% en los últimos 20 años. Junto con la energía eléctrica, el gas natural fue la fuente de mayor penetración (véase el cuadro 17).

Si bien las emisiones totales crecieron de 10,3 a 16 millones de toneladas entre los años 1990 y 2006, la tendencia a la disminución de la intensidad de carbono da cuenta de ese proceso de sustitución entre fuentes, representando una reducción de 1,36 a 1,06 kilos de carbono por unidad de valor agregado industrial (véase el cuadro 18).

Profundizar la disminución de la intensidad energética industrial con una progresión más sustantiva del gas

¹⁴ Colombia cuenta con abundantes recursos de carbón mineral, y al nivel de producción actual sus reservas alcanzarían para 92 años, mientras que las de hidrocarburos son también importantes, aunque la relación reserva-producción es algo menor: 34 años para el gas natural y 25 a 30 años en el caso del petróleo. Asimismo, son abundantes sus recursos hídricos. Véase UPME (2010).

CUADRO 17

Colombia: estructura del consumo energético del sector industrial, 1990-2006

	Electricidad	Gas natural	Petróleo y derivados	Carbón y otras	Total
1990: millones de TEP	0,68	0,94	1,04	2,46	5,11
Porcentaje	13,27	18,39	20,31	48,03	100,00
2000: millones de TEP	0,98	1,16	1,03	3,53	6,71
Porcentaje	14,65	17,27	15,42	52,65	100,00
2006: millones de TEP	1,14	1,90	0,62	2,40	6,06
Porcentaje	18,75	31,32	10,26	39,67	100,00

Fuente: elaboración propia sobre la base del balance energético de Colombia y Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), "Sistema de información minero energético colombiano 2010" [en línea] http://www1.upme.gov.co/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=108

TEP: toneladas de equivalente en petróleo.

CUADRO 18

Colombia: evolución de la intensidad de carbono en el sector industrial, 1980-2007

	1980	1990	2000	2005	2007
Millones de ton de CO ₂	10,3	12,3	20,9	19,1	16
VAI (millones de dólares de 2000)	7 558	10 102	10 617	12 967	15 173
Kg CO ₂ /dólar de VAI	1,36	1,22	1,97	1,47	1,06

Fuente: elaboración propia sobre la base de Agencia Internacional de la Energía (AIE) y Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Ton: toneladas.

VAI: valor agregado industrial.

Kg CO₂/VAI: kilos de carbono por unidad de valor agregado industrial.

natural dependerá de que este siga siendo competitivo en calderas industriales a diésel de baja capacidad (industria liviana), y se modifique la política de precios del diésel oil (influencia del subsidio) que impide su penetración en calderas industriales a diésel de alta capacidad. También en ciertos casos de usos industriales con alternativa de fueloil y carbón, el gas natural puede no ser competitivo, lo que a futuro hará que el consumo industrial no solo pueda crecer por unidad de valor agregado, sino ser más contaminante.

Pese a estas perspectivas, durante el subperíodo de estudio 1997-2006 se puede concluir que Colombia presenta uno de los patrones energéticos más sostenibles de la región, dada la marcada disminución de su intensidad energética, así como la caída de su consumo total industrial.

5. México

En una perspectiva de más largo plazo, el consumo energético industrial en este país muestra una evolución cambiante: aumenta entre 1980 y 2006, crece levemente entre 1980 y 1990, su incremento se acelera en el subperíodo 1990-1997, y se reduce posteriormente durante el subperíodo 1997-2006. Esto puede obedecer a una disminución del efecto estructura entre 1997 y 2006, que cambia la tendencia creciente de los dos subperíodos anteriores, pero fundamentalmente a la sistemática caída del efecto “tecnológico” que acentúa su ritmo de descenso a un $-3,9\%$ anual durante el subperíodo 1997-2006 (véanse el cuadro 19 y el gráfico 15).

CUADRO 19

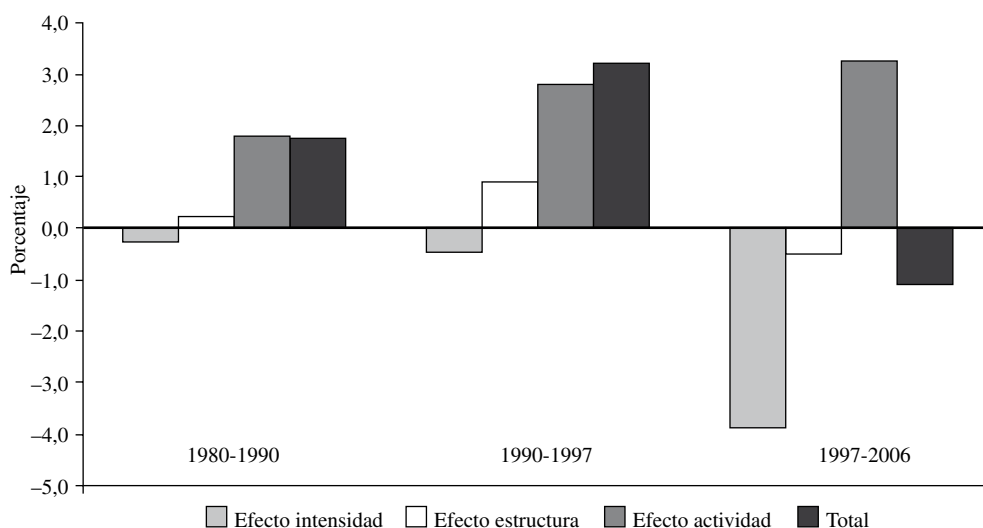
México: evolución de los efectos intensidad, estructura y actividad del consumo energético de la industria, tres subperíodos

Subperíodo	Efecto intensidad	Efecto estructura	Efecto actividad	Total
1980-1990	-0,2	0,2	1,8	1,8
1990-1997	-0,4	0,9	2,8	3,3
1997-2006	-3,9	-0,5	3,3	-1,1

Fuente: elaboración propia sobre la base de Secretaría de Energía de México, *Sistema de Información Energética (SIE)*, 2010 [en línea] <http://www.sener.gob.mx/webSener/portal/Default.aspx?id=1429>.

GRÁFICO 15

México: evolución de los efectos intensidad, estructura y actividad del consumo energético de la industria, tres subperíodos



Fuente: elaboración propia sobre la base de Secretaría de Energía de México, *Sistema de Información Energética (SIE)*, 2010 [en línea] <http://www.sener.gob.mx/webSener/portal/Default.aspx?id=1429>.

Resulta curioso constatar que si bien la intensidad energética disminuye en el agregado manufacturero, las tres agrupaciones de manufacturas aumentan notoriamente su consumo (monetario) de energía por unidad de producto en el subperíodo 1997-2006 (véase el gráfico 16). Pese a ello, hay dos tendencias que ayudan a explicar esta reducción de la intensidad energética en el agregado industrial mexicano. Por una parte, hubo un cambio de composición favorable dentro de la estructura industrial, dado que los sectores intensivos en ingeniería incrementaron considerablemente su participación dentro del consumo energético de 10,1% a 13,8%. Y por otra, gran parte de esta caída del efecto “tecnológico” fue motivada por la propia matriz de consumo industrial, en la que se observa una acentuada sustitución del 13% de energías fósiles (normalmente menos eficientes, pero más baratas) por electricidad (de mayor rendimiento y más costosa).

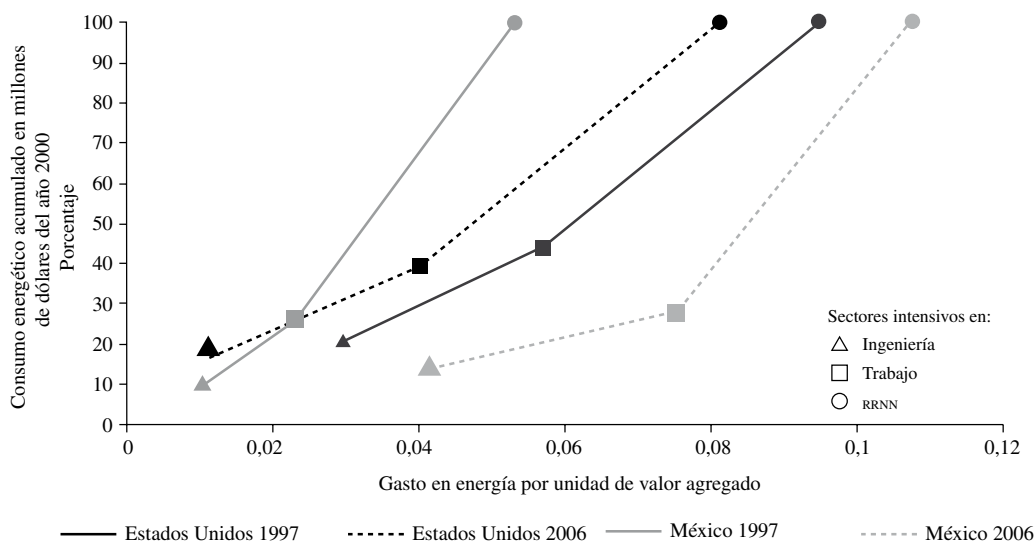
Conviene hacer notar que gran parte del valor agregado de exportación fue generado por las actividades que consumen más energía para fuerza motriz que para usos calóricos, lo que puede explicar en alguna medida el proceso de sustitución entre fuentes que se presentó en los últimos años, sobre todo hasta el año 2000, y

ser también uno de los factores que han incidido en la disminución de la intensidad energética. Aun cuando el proceso de sustitución de energías fósiles se observó ya desde los años setenta, este se profundiza llegando al 28% del consumo total industrial en 2000 y se mantiene en esos niveles hasta 2006. Es decir, se ha dado un proceso de sustitución de fuentes, no solo de las de menores rendimientos (fueloil) por energía eléctrica, sino de esas fuentes en usos de mayor eficiencia, ya que el uso de fuerza motriz presenta por lo general rendimientos superiores al 80%, mientras que el uso calórico rara vez llega a un rango entre 50% y 60% (véase el cuadro 20).

Estas modificaciones en la composición de la estructura del consumo arrojaron como resultado una tendencia a la baja de la intensidad de carbono, que se reduce prácticamente a la mitad, pasando de 0,87 kilos de dióxido de carbono por unidad de valor agregado en 1990 a 0,43 KgCO₂/VA en 2007. Vale decir que el proceso de penetración de la energía eléctrica logró amortiguar el efecto indeseado de la sustitución que se registró entre los combustibles fósiles, reemplazando gas natural y derivados (de casi el 75% en 1990 al 56% en 2006) por carbón mineral, que pasa de un 13% en 1990 a un 26% en 2006-2007 (véanse los cuadros 20 y 21).

GRÁFICO 16

Participación del consumo energético y productividad en los sectores manufactureros de México y los Estados Unidos, 1997-2006



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) sobre la base de encuestas industriales.

Nota: El gasto en energía por unidad de valor agregado está calculado como la razón entre el consumo energético industrial (en millones de dólares a precios del 2000) y el valor agregado industrial (en millones de dólares a precios del 2000).

RRNN: recursos naturales.

CUADRO 20

México: evolución de la estructura del consumo industrial por fuentes, 1980-2006
(En millones de TEP y porcentajes)

	Electricidad	Gas natural	Petróleo y derivados	Carbón y otras	Total
1980: millones de TEP	2,46	10,5	5,3	3,1	21,3
Porcentaje	11,6	49,2	24,7	14,5	100
1990: millones de TEP	4,42	10,8	7,8	3,3	26,3
Porcentaje	16,8	41,2	29,5	12,5	100
2000: millones de TEP	8,04	9,1	6,8	4,7	28,6
Porcentaje	28,2	31,8	23,8	16,3	100
2006: millones de TEP	8,78	10,2	4,7	7,8	31,5
Porcentaje	27,8	32,4	15,0	24,8	100

Fuente: elaboración propia sobre la base de Secretaría de Energía de México. *Sistema de Información Energética (SIE)*, 2010 [en línea] <http://www.sener.gob.mx/webSener/portal/Default.aspx?id=1429>.

TEP: toneladas de equivalente en petróleo.

CUADRO 21

México: emisiones de CO₂ en el sector industrial, 1990-2007

	1990	2000	2005	2007
Millones de ton de CO ₂	73,9	67,8	58,5	62,7
VAI millones de dólares de 2000	85 152	131 376	133 212	143 846
Kg CO ₂ /VAI	0,8679	0,5161	0,4391	0,4357

Fuente: elaboración propia sobre la base de Agencia Internacional de la Energía (AIE) y de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Ton: toneladas.

VAI: valor agregado industrial.

Kg CO₂/VAI: kilos de carbono por unidad de valor agregado industrial.

Para el caso mexicano se podría concluir que la reducción de la intensidad energética —explicada por un cambio de composición favorable de la estructura productiva, pero fundamentalmente por una sustitución de fuentes de menor rendimiento (más baratas y contaminantes) por otras de mayor rendimiento, sobre todo por electricidad— sugiere

que México se encuentra en una situación positiva en términos energéticos. Más aún, cuando a pesar de ser un país históricamente exportador neto de petróleo, desde mediados de la década pasada sus reservas declinaron ostensiblemente. Esta tendencia podría revertirse en un futuro no lejano debido a las nuevas exploraciones.

VI

Resultados finales y conclusiones

Los análisis de la dinámica productiva y energética presentados en las secciones III y IV se pueden resumir en el cuadro 22.

En el cuadro 22 se resumen los antecedentes presentados en las secciones anteriores, mostrando que durante el subperíodo 1997-2006 ninguno de los cuatro países latinoamericanos logra presentar tasas de productividad similares a las de la frontera tecnológica, la que después de haber crecido por 20 años a un ritmo del 3% anual aproximadamente, alcanza niveles extraordinariamente elevados (cerca al 5% anual) gracias a la incorporación de las TIC (Oliner, Sichel y Stiroh, 2007). Por lo tanto, todos estos países terminan por ampliar la brecha productiva mostrando patrones más acentuados —como es el caso del Brasil que, dada su fuerte absorción de empleo,

reduce incluso la productividad laboral a una tasa de —1,5% anual— o patrones más atenuados, como en el caso de Colombia, que pese a su marcado crecimiento de productividad (3,7% anual) termina creciendo 1,5 puntos porcentuales por debajo la frontera.

Por otra parte, la mayoría de los países estudiados convergen en una mayor sostenibilidad energética, excepto el Brasil. A este respecto se vuelve a destacar el caso colombiano, que en virtud de su fuerte caída en la intensidad energética (de —5,1% anual durante el subperíodo 1997-2006) termina siendo el país con mayor sostenibilidad en términos energéticos. De esta manera, la matriz de desarrollo productivo y sostenibilidad energética quedaría distribuida de la siguiente forma (véase el gráfico 17).

CUADRO 22

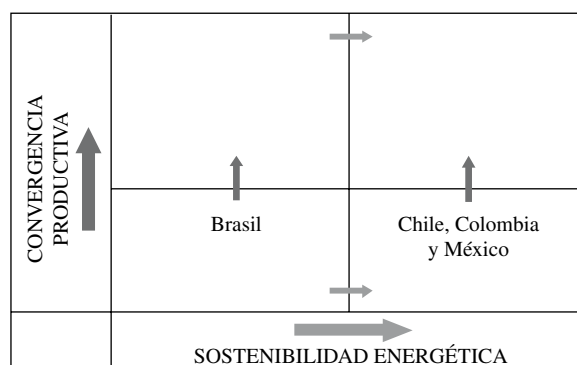
Países seleccionados: desarrollo productivo y sostenibilidad energética, 1997-2006

País	Productividad del trabajo	Intensidad energética	Convergencia productiva	Convergencia energética
	Π	IE	$\Pi_i - \Pi_{EEUU}$	$IE_{EEUU} - IE_i$
Brasil	-1,5	1,2	-6,8	-1,3
Chile	2,6	-0,7	-2,6	0,6
Colombia	3,7	-5,1	-1,5	5,0
México	2,8	-3,9	-2,4	3,8
Estados Unidos	5,3	-0,1	0,0	0,0

Fuente: elaboración propia.

GRÁFICO 17

Matriz de desarrollo productivo y sostenibilidad energética



Fuente: elaboración propia.

Se puede resaltar que si bien los sectores intensivos en recursos son los más intensivos en energía, queda demostrado que una especialización en estos sectores no impide mejorar la eficiencia energética. Del mismo modo, una mayor especialización en los sectores intensivos en ingeniería tampoco garantiza la sostenibilidad energética.

En comparación con los países de América Latina analizados en este trabajo, los Estados Unidos presentan un patrón de desarrollo virtuoso, especializándose en actividades de mayor productividad, alto contenido tecnológico y menor consumo de energía. En América Latina la especialización se realiza en los sectores intensivos en RRNN, que se caracterizan por tener poco contenido tecnológico y una lenta dinámica de la productividad; además, estos son los sectores más energo-intensivos y, por lo tanto, una mayor especialización de estos implica una creciente demanda de energía.

De esta manera, se supone que una mejora tanto de la eficiencia productiva como de la energética

involucraría un proceso de cambio estructural, que no solo implicaría el cierre de la brecha productiva en las economías latinoamericanas con respecto a la frontera, sino que también reforzaría un patrón de crecimiento con una mayor sostenibilidad energética en el tiempo. Del análisis efectuado en este trabajo se infiere que el mayor desafío se enmarca en el ámbito productivo, dada la lenta dinámica de la productividad presentada por estos países de América Latina. Sin embargo, no se debe olvidar que, de no cambiarse el patrón de especialización de la región, un mayor crecimiento industrial implicaría una expansión de los sectores más intensivos en energía y, por ende, un consumo energético más elevado. Es decir, para promover un desarrollo estructural sostenible es necesario cambiar la estructura industrial hacia los sectores más intensivos en conocimiento y dinámicos en productividad, que puedan reemplazar a otros sectores menos dinámicos y más intensivos en energía, modificando el actual vector de especialización de la región.

Bibliografía

- Aguayo, F. y K.P. Gallagher (2003), "Economic reform, energy, and development: the case of Mexican manufacturing", *GDAE Working Papers*, N° 03-05, Tufts University.
- AIE (Agencia Internacional de la Energía) (2008), *World Energy Outlook 2008*, París.
- Altomonte, H. (2010), "Mercados de energía eléctrica en América Latina: la regulación pública y las estrategias de las empresas", *América Latina y petróleo. Los desafíos políticos y económicos de cara al siglo XXI*, Isabel Rousseau, México, D.F., El Colegio de México.
- _____ (coord.) (2008), "América Latina y el Caribe frente a la coyuntura energética internacional: oportunidades para una nueva agenda de políticas", *Documento de proyecto (LC/W.220)*, Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), septiembre.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2010), *La hora de la igualdad: Brechas por cerrar, caminos por abrir (LC/G.2432(SES.33/3))*, Santiago de Chile.
- Cimoli, M. (ed.) (2005), "Brecha tecnológica y crecimiento en América Latina", *Heterogeneidad estructural, asimetrías tecnológicas y crecimiento en América Latina*, Santiago de Chile, Banco Interamericano de Desarrollo/Comisión Económica para América Latina y el Caribe (BID/CEPAL).
- Cole, M.A., A.J. Rayner y J.M. Bates (1997), "The environmental Kuznets curve: an empirical analysis", *Environment and Development Economics*, vol. 2, N° 4, Cambridge, Cambridge University Press.
- De Bruyn, S.M., J.C.J.M. Van den Bergh y J.B. Opschoor (1998), "Economic growth and emissions: reconsidering the empirical basis of environmental Kuznets curves", *Ecological Economics*, vol. 25, N° 2, Amsterdam, Elsevier.
- EIA (Administración de Información Energética) (2009), *Monthly Energy Review*, Washington, D.C., Departamento de Energía, junio.
- Ferraz, J.C., D. Kupfer y F. Serrano (1999), "Productividad y heterogeneidad estructural en la industria brasileña", *Oxford Development Studies*, vol. 27, N° 3, octubre.
- Katz, J. y G. Stumpo (2001), "Regímenes competitivos sectoriales, productividad y competitividad internacional", *serie Desarrollo productivo*, N° 103 (LC/L.1578-P), Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: S.01.II.G.120.
- Maldonado, P. (2007), "Estudio sobre empresas energo intensivas y su posible contribución a programas de eficiencia energética", Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Ministerio de Energía/Comisión Nacional de Energía de Chile (varios años), "Balances energéticos" [en línea] <http://www.cne.cl>
- Ministerio de Minas y Energía, "Balance energético nacional" [en línea] <http://www.mme.gov.br>
- OLADE (Organización Latinoamericana de Energía) (2008), *Informe de estadísticas energéticas*, Quito.
- _____ (2006), *Informe de estadísticas energéticas*, Quito.
- OLADE/CEPAL/GTZ (Organización Latinoamericana de Energía/ Comisión Económica para América Latina y el Caribe/ Sociedad Alemana de Cooperación Técnica) (2003), *Energía y desarrollo sustentable en América Latina y el Caribe: guía para la formulación de políticas energéticas (LC/G.2214-P)*, Santiago de Chile, diciembre. Publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: S.03.II.G.160.
- Oliner, S.D., D. Sichel y K. Stiroh (2007), "Explaining a productive decade" *Journal of Policy Modeling*, vol. 30, N° 4, Amsterdam, Elsevier.
- Pasche, M. (2002), "Technical progress, structural change, and the environmental Kuznets curve", *Ecological Economics*, vol. 42, N° 3, Amsterdam, Elsevier.
- Percebois, J. (1989), "Économie de l'énergie". *Economica*, París.
- UPME (Unidad de Planeación Minero Energética) (2010), *Boletín estadístico de minas y energía 1990-2010*, Bogotá, D.C., Ministerio de Minas y Energía.
- _____ (2008), "Programa estratégico nacional. Gestión integral de la energía en centros productivos, GIE", Bogotá, D.C., Ministerio de Minas y Energía.

ANEXO¹⁵

El consumo energético industrial puede descomponerse en cuatro efectos: efecto tecnológico, efecto estructura, efecto actividad y efectos de segundo orden. El método de descomposición se detalla a continuación:

E_j la cantidad de energía consumida en el sector industrial
 VA_j el Valor agregado del sector industrial j
 PIB el producto bruto interno

Entonces la cantidad de energía consumida por el sector industrial puede escribirse como:

$$E_j = [E_j / VA_j] [VA_j / PIB] PIB$$

y por tanto la tasa de crecimiento del consumo industrial se puede descomponer en tres efectos:

$$\Delta E_j = \Delta [E_j / VA_j] [VA_j / PIB] PIB \quad \text{efecto intensidad o "tecnológico"}$$

$$+ [E_j / VA_j] \Delta [VA_j / PIB] PIB \quad \text{efecto estructura}$$

$$+ [E_j / VA_j] [VA_j / PIB] \Delta PIB \quad \text{efecto actividad}$$

$$+ \epsilon \quad \text{efectos de segundo orden}$$

¹⁵ Véase Jacques Percebois (1989), capítulo II, págs. 75-100.

GRÁFICO

