



NACIONES UNIDAS

CONSEJO
ECONOMICO
Y SOCIAL



LIMITADO

ST/ECLA/CONF.7/L.1.13
28 de diciembre de 1960

ESPAÑOL
ORIGINAL: INGLES

BIBLIOTECA NACIONES UNIDAS MEXICO

PROPIEDAD DE
LA BIBLIOTECA

CATALOGADO

SEMINARIO LATINOAMERICANO SOBRE ENERGIA ELECTRICA

Auspiciado por la Comisión Económica para América Latina, la Dirección de Operaciones de Asistencia Técnica y la Subdirección de Recursos y Economía de los Transportes de las Naciones Unidas, conjuntamente con el Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos.

México, 31 de julio a 12 de agosto de 1961.

RELACION HISTORICA ENTRE EL CONSUMO DE ENERGIA
Y EL PRODUCTO BRUTO NACIONAL EN LOS
ESTADOS UNIDOS

por

Sam H. Schurr

NOTA: Este texto será revisado editorialmente.

I N D I C E

	<u>Página</u>
Introducción.....	1
1. La experiencia de los Estados Unidos.....	1
2. Cambios en la economía-total.....	3
a) Cambios estructurales.....	3
b) Evolución de la productividad nacional.....	4
3. Cambios en la economía energética.....	8
a) Eficiencia térmica en la utilización de la energía.	8
b) El aumento de la generación de electricidad.....	11
Resumen.....	20

Introducción

A menudo se da por sentado que existe una relación relativamente estable entre el mayor consumo de energía de un país y el aumento de su producción total, pues parece de sentido común que el insumo de energía en una economía debe aumentar a un ritmo más o menos concordante con la expansión de su producto nacional. Sin embargo un estudio histórico efectuado recientemente por Resources for the Future revela que esto no ha ocurrido en los Estados Unidos.^{1/} En cambio, el curso de los acontecimientos históricos entre 1880 y 1955 revela dos tendencias dispares - un aumento constante del insumo de energía por unidad de producto nacional bruto entre 1880 y la primera guerra mundial, y una disminución sostenida del consumo de energía por unidad de producto nacional bruto desde entonces.

En este documento se discuten alguno de los factores que podrían explicar tendencias tan contrarias, en la esperanza de que la larga experiencia de los Estados Unidos en esta materia pueda ser útil para países cuyo desarrollo pueda en el futuro reproducir en algún grado los cambios que han caracterizado el desarrollo industrial de los Estados Unidos.

1. La experiencia de los Estados Unidos

La información básica sobre la relación histórica entre el consumo de energía y el producto nacional bruto se muestra, para intervalos de cinco años, en el Cuadro 1 y en el Gráfico I. Estas cifras, presentadas en la forma de índices, se obtuvieron dividiendo el producto nacional bruto (expresado en dólares de valor constante) por el contenido de Btu de las

^{1/} Sam H. Schurr y Bruce C. Netschert en colaboración con Vera F. Eliasberg, Joseph Lerner y Hans H. Landsberg Energy in the American Economy, 1850-1975: An Economic Study of its History and Prospects, John Hopkins Press, Baltimore, 1960. El análisis histórico está contenido en la Primera Parte que fue escrita por Vera Eliasberg en colaboración con el autor de este documento. En el capítulo 4, del cual se adaptó este documento, se trata esta materia con más detalle.

Cuadro 1

INDICE DEL CONSUMO DE ENERGIA POR UNIDAD DEL PRODUCTO NACIONAL
 BRUTO, POR QUINQUENIOS DE 1880 A 1955

Año	Indice de PNB (1900 = 100; dólares a pre- cios de 1929)	Indices de consumo de energía por unidad de PNB (1900 = 100)	Variación de porcentaje	Porcentaje medio anual de variación
	(1)	(2)	(3)	(4)
1880	50.0	56.8		1880-1885
			+20.1	+3.7
1885	57.3	68.2		1885-1890
			+27.0	+4.9
1890	68.6	86.6		1890-1895
			+0.3	+0.1
1895	81.4	86.9		1895-1900
			+15.1	+2.9
1900	100.0	100.0		1900-1905
			+19.8	+3.7
1905	125.3	119.8		1905-1910
			+10.4	+2.0
1910	147.9	132.2		1910-1915
			+1.5	+0.3
1915	158.2	134.2		1915-1920
			+1.3	+0.3
1920	191.9	136.0		1920-1925
			-14.5	-3.1
1925	237.0	116.3		1925-1930
			+1.5	+0.3
1930	249.1	118.0		1930-1935
			-10.8	-2.3
1935	239.4	105.2		1935-1940
			-5.4	-1.1
1940	316.8	99.5		1940-1945
			-11.9	=0.25
1945	473.7	87.7		1945-1950
			+4.3	+0.9
1950	490.6	91.5		1950-1955
			-4.0	-0.8
1955	597.6	87.8		1880-1920
			+139.4	+2.2
			-35.4	-1.2

Fuente: Energy in the American Economy, 1850-1975, Apéndice, cuadros 9 y 13. Los autores agradecen la colaboración de John W. Kendrick, quien facilitó sus cálculos del PNB (definición del Departamento de Comercio), los cuales se derivan de los cálculos de Simón Kuznets para el período anterior a 1929. Estos cálculos serán dados a la publicidad en el próximo volumen de la Oficina Nacional de Estudios Económicos, Productivity Trends in the United States. Los cálculos de Kendrick sobre el PNB en dólares de 1929 fueron traspasados a un índice de 1900 = 100.

fuentes de energía comercial consumida.^{2/}

En resumen, la evolución puede describirse en la forma siguiente. Entre 1880 y 1955 se produjo un aumento de alrededor del 55 por ciento en el consumo de energía por unidad de producto nacional bruto, que equivale a una tasa media de 0,6 por ciento anual. Sin embargo, este aumento de modestas proporciones durante este largo período se compone de varios movimientos, a saber:

a) Un aumento entre 1880 y 1910 de 133 por ciento, que equivale a una tasa media de aumento anual de 2,9 por ciento.

b) Un período de estabilidad relativa comprendido entre 1910 y 1920. El decenio 1910-20 marca la culminación del período de aumento, y también la transición a una nueva relación básica entre la energía y el producto nacional.

c) Una disminución entre 1920 y 1955 de alrededor de 35 por ciento, que equivale a una tasa media de disminución de aproximadamente 1,2 por ciento anual.

El análisis que viene a continuación gravita en torno al cambio fundamental experimentado por la relación que existe entre energía y producto nacional bruto que ocurrió inmediatamente a continuación de la primera guerra mundial, a la transición de un período que se caracterizaba por la tendencia al aumento del consumo de energía a largo plazo en relación al producto nacional bruto, a un período que se caracteriza

^{2/} El total incluye las denominadas fuentes comerciales de energía - carbón, petróleo, gas natural, gas licuado y energía hidroeléctrica. Las estadísticas miden el consumo aparente, es decir, la producción menos las exportaciones más las importaciones, y desde 1920 incluyen las variaciones netas de las existencias de combustibles minerales. Las estadísticas físicas básicas fueron expresadas en unidades térmicas Británicas (Btu) aplicando un factor representativo de conversión que mide el contenido intrínseco de Btu de la unidad física. La conversión de la energía hidroeléctrica se realizó sobre la base del equivalente en Btu del combustible que se habría necesitado para generar la misma cantidad de electricidad en el año.

No se consideró la leña, que representaba en 1880 más de la mitad del contenido total de Btu del suministro de combustible. Sin embargo, alrededor del 95 por ciento de la leña se destinaba a uso doméstico no siendo por tanto consumida por los sectores de la economía cuya producción mide el producto nacional bruto. La energía hidráulica directa y la energía eólica tenían ya muy poca importancia relativa dentro de la energía total en 1880.

por la disminución constante del consumo de energía en relación con la producción nacional. El análisis se presenta en función de los factores clasificados en dos categorías generales.

1) Cambios de la economía total, que abarcan las influencias que tienen origen fuera del sector energía, como los que se producen en la estructura de la economía, y la eficacia general con que ésta funciona.

2) Cambios dentro de la economía energética, como los de la eficiencia térmica en el uso de la energía, y el aumento de la electrificación.

De hecho, es difícil establecer claramente la diferencia entre estos dos tipos de factores. Así, la mayor eficacia general con que funciona la economía tiene indudablemente relación con el modo y forma en que se consume la energía; por ejemplo, el aumento de la electrificación - modificación dentro de la economía energética - parece ser un factor importante que explica el aumento de la productividad total de la economía. Con todo, es útil la clasificación.

2. Cambios en la economía total

a) Cambios estructurales.

Es de suponer que mientras más rápida sea la expansión de la industria y la minería, en relación con la economía total, mayor será el consumo de combustibles comerciales en relación al aumento de la producción total de bienes y servicios del país. Es por tanto razonable partir con la hipótesis de que la tendencia creciente del consumo de combustibles minerales y energía hidroeléctrica por unidad de producto nacional entre 1880 y el decenio 1910-1920 y la tendencia decreciente que se observa en el período comprendido entre 1920 y 1955 guardan relación con diferencias en el ritmo de expansión del sector industrial en comparación con la economía total durante esos dos períodos.

La hipótesis se ha visto en parte corroborada por las circunstancias. En 1920 la industria manufacturera y la minería, medida a través del índice de producción, era cinco veces mayor que la de 1885. Esta expansión tuvo lugar a un ritmo más acelerado que el de la economía en su conjunto, la cual en términos de producto nacional bruto superó en tres veces y un tercio su nivel anterior (véase el cuadro 2). No es sorprendente que en un período

Cuadro 2

CRECIMIENTO COMPARATIVO DEL PRODUCTO NACIONAL BRUTO Y LA
 PRODUCCION INDUSTRIAL, 1885-1920 Y 1920-1955

Año	PNB	Indices de la producción			Relación de aumento en comparación con el PNB (PNB=1.00)		
		Manufacturera	Minera	Industrial Total	Manufactura	Minería	Industrial total
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
1885	100	100	100	...			
1920	335	479	540	...	1.43	1.61	
1920	100	100	100	100			
1955	311	359	234	339	1.15	0.75	

Fuentes: Columna 1: Energy in the American Economy, 1850-1975, Apéndice, cuadro 13.

Columna 2: Cifras de la Oficina del Censo de los Estados Unidos para 1885-1920, Historical Statistics of the United States, 1789-1945 (Washington, D.C.: Imprenta del Gobierno), Series J 13 y J 14, índice de producción física de la industria manufacturera (Warren M. Persons) en relación directa con el índice de producción física de todas las industrias fabriles (Oficina Nacional de Estudios Económicos). Las cifras para 1920-55 proceden del Índice de Producción Fabril del Directorio de la Reserva Federal.

Columna 3: Índice de Volúmen Físico de la Producción Minera, Oficina de Minas, Anuario Minero de 1956 (Washington, D.C.: Imprenta del Gobierno), Vol. I, páginas 3-4.

Columna 4: Índice de Producción Industrial del Directorio de la Reserva Federal (manufacturas y minerales en conjunto).

/de industrialización

de industrialización tan rápido aumente el consumo de energía por unidad de producto nacional. En el segundo período, entre 1920 y 1955, cuando el consumo de energía disminuyó en relación al producto nacional bruto, nuevamente el sector industrial se expandió con mayor rapidez que la economía en su conjunto, pero no sucedió lo mismo con la minería. En tanto que el producto nacional bruto se elevó de 100 en 1920 a 311 en 1955, la producción manufacturera se expandió a 350, la producción minera a 234, y la producción industrial total a 339. Sin embargo, durante este período, el crecimiento más rápido de la industria no fue tan pronunciado como en el anterior; superó en apenas el 10 por ciento al total de la producción nacional en comparación con aproximadamente el 50 por ciento de aumento que corresponde al período anterior.

b) Evolución de la productividad nacional

La explicación parcial de la retroversión de la tendencia que acusa la energía en relación al producto nacional bruto que tuvo lugar después de 1920 puede residir en otra fuerza que influye sobre la economía total - la eficiencia con que los factores de insumo se transformaban en general en los productos finales que constituye la producción nacional de bienes y servicios. Es a todas luces evidente que la eficiencia de la economía norteamericana en este sentido, expresada por el índice que mide la relación entre el producto nacional y el insumo de trabajo y capital, experimentó un cambio de tendencia en esa misma época.

Los estudios realizados por el National Bureau of Economic Research que se refieren específicamente a la productividad de la economía de Estados Unidos señalan que poco después de la primera guerra mundial se produjo una marcada aceleración en la tasa de incremento de la productividad del trabajo y del capital. La trayectoria histórica de la relación de la energía al producto nacional bruto no es paralela a la del trabajo y el capital, como quedó demostrado por los estudios del National Bureau. El punto de inflexión de la relación energía producto nacional bruto implicaba una retroversión de la tendencia, en tanto que el de la productividad del trabajo y del capital no entrañaba una retroversión, sino por el contrario una marcada aceleración de una tendencia que siempre ha registrado una misma dirección. No obstante lo que tiene importancia para los fines de

/este análisis

este análisis es que la producción nacional después de 1919 aumentó con mucho mayor rapidez en relación al insumo de trabajo y de capital que en el período anterior. No hay motivo aparente para creer que las mismas influencias generales que operaron para acelerar el crecimiento de la producción nacional después de la primera guerra mundial en relación al insumo de trabajo y capital no hayan contribuido a aumentar en alguna medida la tasa de incremento de la producción nacional en relación al insumo de energía.

Es bien sabido que cuanto mayor es el uso de energía inanimada por trabajador tanto más aumenta la productividad general de la economía, pero esto supone que la naturaleza de los factores que causaron después de 1920 la aceleración del crecimiento de la producción nacional en relación al insumo de capital y trabajo también podía influir en el incremento de la "productividad" del insumo de energía en relación a la producción nacional. ¿Se justifica esta hipótesis? Los estudios del National Bureau sugieren que la aceleración de la productividad del trabajo y el capital después de la primera guerra mundial se explica por el aumento del "capital intangible" de la sociedad, es decir "todos los mejoramientos de las ciencias básicas, la tecnología, la administración de empresas, la educación y la formación profesional, que contribuyen a la producción" y otras influencias generales que influyen sobre la eficacia de la producción. Parece que en parte estos factores son del tipo que contribuye a aumentar la productividad de la energía, aunque la eficacia de algunos (por ejemplo las ciencias básicas y la tecnología) podrían depender de grandes aumentos del insumo de energía por unidad de producto nacional. Por tanto la composición del capital intangible no resuelve el problema.

No obstante hay cierta base estadística en la circunstancia de que la aceleración que experimentó después de 1920 el aumento de la productividad dentro de la industria manufacturera no se ha debido a una aceleración comparable de la mecanización. En el Cuadro 3 aparecen estos datos, que abarcan el período comprendido entre 1879 y 1954, que establecen la comparación entre la producción por hora hombre con los caballos de fuerza instalados por hora hombre.

Cuadro 3

HORAS-HOMBRE, RENDIMIENTO POR HORA-HOMBRE Y POTENCIA EN CABALLOS DE FUERZA DEL EQUIPO INSTALADO POR HORA-HOMBRE EN LAS INDUSTRIAS MANUFACTURERAS PARA DETERMINADOS AÑOS, ENTRE 1879 Y 1954

Año	Horas-hombre trabajadas	Producción por hora-hombre	Caballos de fuerza instalado por hora-hombre
	(1)	(2)	(3)
<u>Números índice (1899 = 100):</u>			
1879	54.2	68.4	64.2
1889	76.7	86.6	78.9
1899	100.0	100.0	100.0
1909	138.5	113.8	132.9
1919	173.7	127.5	166.6
1929	165.3	219.8	253.5
1939	134.7	276.5	389.1
1954	223.8	370.3	493.5
<u>Aumentos porcentuales:</u>			
1879-1919	220	86	160
1919-1954	29	190	196

Fuentes: Columnas 1 y 2: Nueva York; Oficina Nacional de Estudios Económicos, John W. Kendrick, Productivity Trends in the United States, por aparecer, tras pasado a 1899=100. Columna 3: basado en las cifras en caballos de fuerza que aparecen en Energy in the American Economy, 1850-1975, cuadro 56.

/Este cuadro

Este cuadro indica que entre 1879 y 1954 la producción por hora hombre (productividad del trabajo) aumentó continuamente. También durante el mismo período aumentó ininterrumpidamente el número de caballos de fuerza instalados por hora hombre. Sin embargo en tanto que el número de caballos de fuerza instalados por hora hombre aumentó aproximadamente 160 por ciento entre 1879 y 1919, la productividad del trabajo aumentó solo en 86 por ciento. El aumento de 196 por ciento de los caballos de fuerza por hora hombre después de 1919 correspondió al aumento del 190 por ciento de la productividad del trabajo. Así, la aceleración del crecimiento de la productividad del trabajo en la industria manufacturera en el período posterior a 1919 no dependió de una aceleración similar del aumento de los caballos de fuerza instalados por hora hombre. Aunque los cambios en el grado de mecanización no dan una medida directa del insumo de energía, estas comparaciones parecen a primera vista comprobar que la productividad de la energía por lo menos en la industria manufacturera creció a un ritmo mucho más rápido después de 1920. Aparentemente así fue en respuesta a fuerzas de carácter general que contribuyeron a aumentar la productividad de toda la economía, dentro de las que desempeñó una parte muy importante el cambio en la forma de aplicación de la energía, especialmente en lo que se refiere a la generalización del empleo de la electricidad.

En un afán de resumir los efectos de los cambios en la relación energía-producto nacional bruto sobre la economía total, se ha adoptado la siguiente hipótesis. Antes de 1910, el rápido crecimiento de la producción industrial en relación al total de la producción nacional se tradujo en una tendencia creciente del consumo de energía en relación al producto nacional bruto. Después de 1920, aunque la producción industrial continuó creciendo con rapidez mayor que la producción total, disminuyó el consumo de energía por unidad de producto nacional bruto. Esto se debió 1) a que el aumento de la producción industrial en relación al total del producto nacional fue más lento que antes de 1920; y 2) a que los factores generales que se tradujeron en una tasa mayor de producción en relación al insumo de capital y trabajo aparentemente tuvieron un efecto similar en el aumento del producto nacional en relación al insumo de energía.

3. Cambios en la economía energética

a) Eficiencia térmica en la utilización de la energía

Los totales del insumo de energía, que son básicos para este análisis miden los valores Btu intrínsecos de los materiales de energía primaria consumidos en los Estados Unidos. Es bien sabido que la eficiencia con que se convierten estos materiales en calor y trabajo mecánico aprovechables ha sufrido considerables variaciones durante el período histórico estudiado. En general estas variaciones han tendido al mejor aprovechamiento de la energía intrínseca que contienen los materiales primarios. Es indudable que la explicación que con mayor frecuencia se da de la tendencia decreciente de la relación insumo de energía a producto nacional bruto en las últimas décadas está planteada en función de un aumento de la eficiencia con que se utiliza la energía. No obstante, como ya se señaló, hay otras razones además de la mayor tasa efectiva de conversión de materias primas en energía aprovechable, que explican la creciente eficiencia en la utilización de la energía, que se mide por la relación que existe entre los insumos de energía a la economía y la producción de bienes y servicios.

Sin embargo, las variaciones de la eficiencia térmica han desempeñado un papel muy importante en la disminución del insumo de energía primaria en relación a la producción nacional. Se han hecho algunos cálculos respecto de los cambios a largo plazo en la eficiencia térmica de conversión de combustibles en calor y trabajo mecánico útil en los Estados Unidos. Aunque las cifras en que se basaron los conceptos eran bastante aproximadas, en general dan la impresión de que el aumento de la eficiencia durante el siglo veinte ha sido mayor y más rápido que en los últimos años del siglo diecinueve. Putnam ha calculado que la eficiencia térmica media de la energía para uso general subió de aproximadamente 8 por ciento en 1850 a 11 ó 12 por ciento en 1900, y a 30 por ciento en 1947.^{3/} Dewhurst supone que la eficiencia con que se realiza la conversión de combustibles y energía de fuentes hidráulicas (energía hidráulica aplicada directamente en 1850) en trabajo mecánico subió de 1,8 a 3,2 por ciento

^{3/} Palmer C. Putman, Energy in the Future, Van Nostrand, Nueva York, 1953, pp. 89-90, 95, 416.

durante la segunda mitad del siglo diecinueve, y se había elevado a 13,6 por ciento hasta 1950.^{4/}

Los adelantos en la eficiencia térmica tienen relación con la transformación radical que ha experimentado el consumo de combustible del país. Es bien sabido que ha disminuído relativamente el empleo de carbón y ha aumentado el consumo de petróleo y gas, (véase el Cuadro 4). Se ha calculado que las tasas típicas de eficiencia térmica en transformación de combustible en calor para fines industriales son 55 por ciento para el carbón, 60 por ciento para el petróleo y 80 por ciento para el gas.^{5/} Igualmente se ha estimado que la eficiencia térmica del carbón empleado para la calefacción de recintos comerciales y domésticos varía entre 40 y 60 por ciento, la del petróleo entre 60 y 65 por ciento y la del gas es 70 por ciento o más.^{6/}

Los ferrocarriles proporcionan un ejemplo destacado de los adelantos en la eficiencia térmica que tienen relación con los cambios en las fuentes de energía. En 1955, el servicio de fletes de los ferrocarriles consumía:

8 594 000 toneladas de carbón = 225 billones de Btu

53 428 000 barriles de petróleo diesel = 305 billones de Btu

De donde se deduce que por unidad de servicio de flete, el petróleo diesel se empleaba 5,8 veces más eficientemente que el carbón,^{7/} la cantidad mencionada de petróleo diesel reemplazaba 1 766 billones de carbón Btu, lo que equivale a 67 405 000 toneladas de carbón bituminoso. La diferencia entre

4/ J.F. Dewhurst y colaboradores, America's Needs and Resources, A New Survey, The Twentieth Century Fund, New York 1955, Apéndice 25-3, Cuadro I, pag. 1113.

5/ Nathaniel B. Guyol, "U.S. Energy Resources for the Future", Standard Oil Company of California, San Francisco, California, a mimeógrafo, 1956, Apéndice, pag. 1

6/ Ibid., y W.M. Holaday, et al., "Fuels - Their Present and Future Utilization", Proceedings, Twenty-Ninth Annual Meeting, American Petroleum Institute, Section III, Refining (Chicago: 1949) pp. 29-30.

7/ Basado en las estadísticas de la Comisión de Comercio Interestatal, que indican que en 1955 los ferrocarriles consumían 101 libras de carbón (equivalentes a 1 323 000 Btu) por cada 1 000 toneladas/millas bruta de flete, y 1,68 galones de petróleo diesel (228 480 Btu) para realizar la misma labor.

Cuadro 4

DISTRIBUCION DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLES MINERALES, EN PORCIENTO DEL
 TOTAL, POR QUINQUENIOS, ENTRE 1900 Y 1955
 (Sobre la base de los valores BTU)

Año	Carbón			Combustibles líquidos y gaseosos			Total de combustibles minerales	
	Bituminoso	Antracita	Total	Petróleo crudo ^{a/}	Gas natural	Gas natural licuado		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1900	74.2	19.3	93.4	3.1	3.4		6.6	100.0
1905	73.7	17.4	91.1	5.6	3.4		8.9	100.0
1910	74.7	14.4	89.2	7.1	3.8		10.8	100.0
1915	72.4	14.0	86.4	9.2	4.4	b/	13.6	100.0
1920	70.2	11.5	81.6	13.9	4.3	0.2	18.4	100.0
1925	64.8	8.1	72.9	20.6	5.9	0.6	27.1	100.0
1930	55.5	8.0	63.5	26.3	9.0	1.1	36.5	100.0
1935	51.2	7.1	58.3	30.2	10.5	1.0	41.7	100.0
1940	49.2	5.4	54.6	32.6	11.6	1.2	45.4	100.0
1945	48.9	4.4	53.3	32.1	12.9	1.6	46.7	100.0
1950	36.8	3.1	39.9	39.3	18.4	2.4	60.1	100.0
1955	29.0	1.6	30.6	42.7	23.6	3.1	69.4	100.0

Fuente: Energy in the American Economy, 1850-1975, Apéndice, cuadro 7.

a/ Comprendido el movimiento comercial neto de productos de petróleo.

b/ Menos de 0.1 por ciento.

/1 766 billones

1 766 billones y los 305 billones realmente empleados bajo la forma de petróleo diesel, equivale a 1 461 billones Btu, y representa aproximadamente el 4 por ciento del consumo acumulado de energía de la economía en 1955. En los servicios de pasajeros y de maniobras se logró realizar economías similares, pero en menor escala.

El material anterior es solamente ilustrativo. No cabe duda que las innovaciones en la eficiencia térmica ha sido un factor importante que ha contribuido a la disminución de la relación insumo de energía-producto nacional bruto en el período posterior a la primera Guerra Mundial; y es indudable que la aceleración del ritmo de aumento de la eficiencia térmica en el siglo actual en comparación con el siglo diecinueve, ha contribuido a la modificación de la tendencia que acusa la relación energía-producto nacional bruto que tuvo lugar después del decenio de los 10. No obstante, desgraciadamente la información disponible no proporciona una base para medir en forma precisa el efecto de los cambios en la eficiencia térmica sobre las innumerables aplicaciones de la energía.

b) El aumento de la generación de electricidad

Desde 1902 se dispone de registros estadísticos adecuados para la electricidad aunque la producción y distribución comercial de la misma comenzó aproximadamente 20 años antes. Incluso en 1902, cuando se levantó el primer censo en todo el país, las cifras sobre la energía eléctrica total generada se basaban en su mayoría en estimaciones. En todo caso la industria estaba en sus comienzos a fines del siglo pasado, y la expansión de la misma hasta llegar a adquirir importancia dentro de la economía norteamericana se limita esencialmente al período siguiente.

El aumento de la generación de electricidad es uno de los factores importantes que explica el comportamiento de la relación energía-producto nacional bruto por dos razones fundamentales: La eficiencia con que se han convertido los combustibles en energía eléctrica ha mejorado considerablemente durante los últimos cincuenta años; y la aplicación de la electricidad en la producción ha aumentado rápidamente. Esta última refleja uno de los aspectos de la composición variables del consumo de energía, y en especial de la tendencia a sustituir formas primarias de energía por secundarias, pero merece especial atención por su repercusión sobre la organización de la producción industrial.

/El aumento

El aumento de la generación de electricidad entre 1902 y 1955 aparece resumido en el Cuadro 5, que también incluye con fines comparativos las cifras sobre el consumo total de energía. También se expresa la generación de electricidad y el total del consumo de energía bajo la forma de números índices, tomando como base el año 1902, para indicar el aumento comparativo de las dos series. Es evidente que el índice correspondiente a la electricidad aumentó con rapidez mayor que el del consumo total de energía; en efecto entre 1902 y 1955 la electricidad aumentó veinte veces más que el consumo total de energía.

Aparte de su rápido crecimiento, este elemento componente del total de energía se caracteriza por grandes adelantos en materia de eficiencia térmica. La cantidad de combustible necesario para la generación de un kilowatt hora por las centrales termoeléctricas disminuyó de un promedio de 6,85 libras de carbón o su equivalente en 1900 a 3 libras en 1920 y a 0,95 libras en 1955. Esto representa un aumento de más de siete veces en la eficiencia térmica desde 1900. ¿Cuáles han sido los efectos que ha tenido este aumento de la eficiencia sobre la relación energía-producto nacional bruto?

Entre 1920 y 1955 el consumo de energía por unidad de producto nacional bruto disminuyó aproximadamente en 35 por ciento (véase el Cuadro 1). No obstante, suponiendo que el consumo de energía para fines no eléctricos, por unidad de producto nacional bruto haya disminuido en el grado en que realmente lo hizo durante este período, pero que la electricidad producida en 1955 requirió la misma cantidad de Btu en combustible por kilowatt hora que en 1920. Este es el mismo caso anterior, con la excepción de que no mejora la eficiencia térmica de la conversión de energía primaria a electricidad.^{8/} De acuerdo con este supuesto (considerando que el total de la energía generada, incluida la hidráulica proviene de fuentes térmicas) el consumo de energía en 1955 y la relación a la expansión de la economía en su conjunto desde 1920 habría sido la siguiente:

^{8/} De hecho es evidente que de no haberse producido estos adelantos en la eficiencia térmica, el costo de la electricidad habría sido superior y en consecuencia habría sido inferior el aumento del consumo de energía eléctrica.

Cuadro 5

GENERACION DE ELECTRICIDAD COMPARADA CON EL CONSUMO TOTAL DE
 ENERGIA PARA AÑOS DETERMINADOS, ENTRE 1902 Y 1955

Año	Electricidad		Consumo total de energía (combustibles minerales y energía hidráulica)	
	Millones de kWh	Indice (1902 = 100)	Billones de BTU	Indice (1902 = 100)
	(1)	(2)	(3)	(4)
1902	5 969	100	8 715	100
1907	14 121	237	13 831	159
1912	24 752	415	15 708	180
1917	43 429	728	19 597	225
1920	56 559	948	19 768	227
1925	84 666	1 418	20 878	240
1930	114 637	1 921	22 253	255
1935	118 935	1 993	19 059	219
1940	179 907	3 014	23 877	274
1945	271 255	4 544	31 439	361
1950	388 674	6 512	33 972	390
1955	629 010	10 538	39 729	456

Fuentes:

Columna 1: Cifras para 1902-17: Estadística del Censo de Luz y Fuerza Eléctrica citadas en Washington, D.C., Imprenta del Gobierno, Historical Statistics of the United States, 1789-1945 Serie G-171. Los datos para 1920-55 se basaron en la Comisión Federal de Energía, Production of Electric Energy and Capacity of Generating Plants, citada por el Instituto Eléctrico Edison en "Electric Utility Industry in the United States", Statistical Bulletin for the Year 1957, Nueva York: 1958, pág. 13. Excluye las pequeñas importaciones netas de energía hidráulica, que están contenidas en el consumo de electricidad expuesto en Energy in the American Economy, 1850-1975, cuadro 58.

Columna 3: Energy in the American Economy, 1850-1975, Apéndice, cuadro 7.

/Partida

<u>Partida</u>	<u>Consumo de energía en 1955</u> <u>(en billones de Btu)</u>
Energía para todo uso, excepto generación de electricidad, consumo real (excluida la madera)	32 179
Electricidad, kilowatt horas producidas en 1955 al equivalente de combustible requerido en 1920 por kWh	<u>24 811^{a/}</u>
Total	56 990
Indice de insumo de energía por unidad de producto nacional bruto (1920 = 100)	92,6

a/ En 1955 se requirieron 7 550 billones de Btu de combustible o sus equivalentes para generar el total necesario de electricidad.

La relación insumo de energía-producto nacional bruto habría disminuido sólo en aproximadamente 7,5 por ciento en vez de hacerlo en 35 por ciento. Lo anterior indicaría que casi la totalidad de la disminución de la relación consumo de energía a producción de la economía en su conjunto durante el período siguiente a la primera guerra mundial se explicaría por los adelantos en la eficiencia térmica de la generación de electricidad.

Pero hay otro aspecto que considerar. Pese a que ha mejorado mucho la eficiencia con que se transforman los combustibles primarios en energía eléctrica, se requerían aproximadamente 12 000 Btu en 1955 para producir un kilowatt hora con un contenido intrínseco de 3 412 Btu. Así, aproximadamente el 72 por ciento del insumo bruto de Btu se perdía en el proceso de conversión y jamás entraba a otro sector de la economía que no fuera el de la energía propiamente dicha. Como la energía eléctrica empleada finalmente en la producción de bienes y servicios no consiste en el cambio del equivalente en Btu del combustible necesario para generarla, sino de kilowatt horas, se pueda medir razonablemente el consumo

/y la

y la generación de electricidad a través del valor intrínseco constante de Btu del kilowatt hora.^{9/}

Empleando esta base de medición, el insumo total de energía por unidad de producto nacional bruto disminuyó alrededor de dos quintos entre 1920 y 1955 - cifra que se aproxima bastante a la disminución total de 35 por ciento obtenido anteriormente. La razón de lo anterior es que cualquiera que sea el método de medición empleado, el contenido Btu de la energía eléctrica constituye un porcentaje relativamente pequeño de la energía total, de modo que sobre el valor total influye la fluctuación del número de Btu de la energía consumida con fines no eléctricos, como se indica en las cifras siguientes:

<u>Partida</u>	<u>Consumo de energía</u> <u>(billones de Btu)</u>	
	<u>1920</u>	<u>1955</u>
<u>1. Medición de la electricidad en su equivalente calorífico directo</u>		
Energía para todo uso, excepto generación de electricidad	17 535	32 179
Electricidad (kilowatt horas en 3 412 Btu)	193	2 146
Total	17 728	34 325

1955 índice de insumo Btu por unidad de producto nacional bruto (1920 = 100)

62,2

2. Medición de la electricidad en el equivalente de combustible necesario para generarla

Energía para todo uso, excepto generación de electricidad	17 535	32 179
-----------------------------------------------------------	--------	--------

^{9/} En realidad en esta forma se hace en algunos países, donde la electricidad que se obtiene de la energía hidráulica es un componente importante de la energía total. Este es el método que emplean las Naciones Unidas en sus publicaciones sobre electricidad. En tanto que en las estadísticas de las Naciones Unidas se expresan la generación de energía a través de los valores reales, intrínsecos, en Btu - o caloríficos - de los materiales primarios de energía, en las estadísticas del consumo se expresa la electricidad total - incluida la generada mediante combustible, a través de su equivalente real en Btu de 3 412 Btu por kilowatt hora.

<u>Partida</u>	<u>Consumo de energía</u> <u>(billones de Btu)</u>	
	<u>1920</u>	<u>1955</u>
Electricidad (combustible equivalente necesario para generarla a la tasa de conversión vigente)	2 233	7 550
Total	19 768	39 729
1955, índice de insumo en Btu por unidad de producto nacional bruto (1920 = 100)		64,5

Así nuevamente se repite el mismo fenómeno, es decir la cantidad de energía consumida (medida en Btu) disminuyó en aproximadamente el 38 por ciento en relación a la evolución general de la economía.^{10/} De acuerdo con los cálculos anteriores, se puede formular la siguiente hipótesis para explicar este fenómeno. Pese a la participación relativamente pequeña de la electricidad expresada en Btu, el aumento relativo de la energía eléctrica puede ser importante para explicar la disminución de la relación energía producto nacional bruto después de 1920, si (1) la electricidad ha estado reemplazando a otras fuentes de energía de tal manera que la cantidad de Btu bajo la forma de electricidad reemplaza a un número considerablemente mayor de energía Btu que no es de origen eléctrico; y (2) el empleo de la electricidad permite que la producción industrial se organice con mayor eficiencia, aumentando portanto la productividad económica general, que se refleja en la tendencia creciente de la producción general en relación a todos los factores de insumo, incluso la energía bruta consumida. En los párrafos siguientes se indican algunas cifras que tienen relación con esta hipótesis.

^{10/} Es de señalar que en los cálculos mencionados la energía para fines distintos de la generación de electricidad se mide antes de ser convertida en calor o fuerza que es la que se emplea en último término. Por tanto sólo se consideran los cambios en la eficiencia térmica que han tenido lugar dentro del sector de la electricidad.

En primer lugar hay que estudiar el crecimiento de la electricidad en relación al consumo total de energía. Como se señaló anteriormente, durante todo el período que abarcan las estadísticas, la electricidad ha aumentado con rapidez mayor que el total de la energía. Si se estudian las cifras en función de los períodos de aumento y disminución del total de la relación energía-producto nacional bruto, se deduce lo siguiente:

<u>Partida</u>	Relación creciente energía-producto nacional bruto: índice 1920 <u>(1902 = 100)</u>	Relación decreciente energía-producto nacional bruto: índice 1955 <u>(1920 = 100)</u>
Consumo de todo tipo de energía (Btu)	226,8	201,0
Electricidad generada (kWh)	947,5	1 112,1
Relación entre el aumento de la electricidad generada y el aumento del consumo total de energía	4,2	5,5

Así, la electricidad aumentó con mayor rapidez, en relación a toda la energía, durante el período en que la relación energía-producto nacional bruto disminuyó que en el período en que aumentó.

De más significación que el incremento general en la importancia relativa de la electricidad en el último período fue su mayor empleo en las operaciones de manufactura. (Véase el cuadro 6 que señala la relación que existe entre los caballos de fuerza de los motores eléctricos y el total de caballos de fuerza mecánicos empleados en la industria manufacturera.)

A partir de 1899, la importancia relativa de los motores eléctricos, que constituían el 5 por ciento del total de los caballos de fuerza empleados en la manufactura, ha aumentado hasta llegar a ser entre el 85 y el 90 por ciento en los últimos años. En 1909 los motores eléctricos representaban la cuarta parte del total de caballos de fuerza empleados en la manufactura; entre 1909 y 1919, su importancia relativa se elevó a más de la mitad; y desde 1919 a 1939 los motores eléctricos aumentaron hasta representar aproximadamente el 90 por ciento del total de los caballos de fuerza.

Cuadro 6

EMPLEO DE MOTORES ELECTRICOS EN RELACION AL TOTAL DE POTENCIA
MECANICA EN LA MANUFACTURA PARA DETERMINADOS AÑOS, 1899-1954

Año	Total potencia (miles HP)	Motores eléctricos a/ (miles de caballos de fuerza)	Motores eléctricos en porciento del total de caballos de fuerza
	(1)	(2)	(3)
1899	9 811	475	4.8
1904	13 033	1 517	11.6
1909	18 062	4 582	25.4
1914	21 565	8 392	38.9
1919	28 397	15 612	55.0
1925	34 359	25 092	73.0
1929	41 122	33 844	82.3
1939	49 893	44 827	89.8
1954	108 362	91 821	84.7

Fuente: Oficina del Censo, U.S. Census of Manufactures: 1954, (Washington, D.C.: Imprenta del Gobierno de Estados Unidos, 1957), Vol. I, p. 207-2, cuadro 1.

a/ Representa los motores eléctricos accionados por electricidad comprada y por energía eléctrica generada en el establecimiento.

/Por tante,

Por tanto, el aumento de la importancia relativa de los motores eléctricos se concentró durante el período comprendido entre 1910 y 1939.

La importante posición que llegaron a ocupar los motores eléctricos dentro de la manufactura tiene importancia primordial por varias razones. En primer lugar es indudable que la participación relativamente pequeña de la electricidad dentro del total del consumo de energía en Btu no constituye un buen índice de la importancia de la maquinaria eléctrica dentro del sector industrial de la economía.

Además, el cambio de otras fuentes de energía - principalmente vapor - por energía eléctrica implica la sustitución por una fuente de energía más eficiente en el sentido de que un mayor porcentaje de la energía consumida en las fábricas se convierte en trabajo mecánico. La eficiencia térmica general de un sistema de máquinas de una fábrica, accionado por un motor primario a vapor con transmisión a correa, era inferior al 10 por ciento,^{11/} en tanto que estando el motor eléctrico montado en la máquina, se puede transmitir efectivamente aproximadamente el 70 a 90 por ciento de la energía de la subestación de la fábrica a la máquina.^{12/} Así, en términos de eficiencia térmica, se puede considerar que un "Btu eléctrico" tiene mayor valor que el Btu que se empleaba para la energía mecánica generada mediante vapor. Pero tal vez lo más importante sea que con el motor eléctrico individual cada máquina sólo requiere electricidad cuando está en uso;

^{11/} Suponiendo que la eficiencia del motor a vapor medio estacionario sea aproximadamente el 15 por ciento y que las pérdidas del sistema son alrededor del 50 por ciento. Véanse los estudios de las eficiencias comparativas en el momento de transición de A.D. DuBois, "Will It Pay to Electrify the Shops?" Industrial Engineering and the Engineering Digest, Vol. XI, N° 1 (enero de 1912), pp. 6-7; de A.P. Haslam, Electricity in Factories and Workshops (Lockwood, Londres, 1909) pág. 9; y D.C. Jackson, "The Applicability of Electrical Power to Industrial Establishments", Transactions, American Institute of Electrical Engineers, Vol. XXIX, Primera Parte (febrero 16, 1910), pp. 111-12.

^{12/} Las nuevas pérdidas que se producirían entre la central generadora de la empresa de servicio público y la subestación de la fábrica sería del orden del 10 por ciento. La totalidad de las cifras de la comparación tienen carácter ilustrativo. El número de variables y la amplitud de los intervalos impide el uso de un promedio estadístico representativo de ambos grupos de condiciones.

continuamente sucedía, con el antiguo sistema de impulsión mecánica que los ejes y sistemas de correas transportadoras (que existían por miles en las grandes fábricas) continuaban trabajando en vacío durante los períodos de detención de las operaciones. Es indudable que se habría logrado que disminuyera enormemente el número de "Btu a vapor" mediante un aumento menor del número de "Btu eléctricos" empleados.

Finalmente, el uso de mayor número de motores eléctricos en la manufactura y las innovaciones en materia de equipo control eléctrico dieron a la industria una flexibilidad jamás alcanzada hasta entonces. Antes de la introducción del motor eléctrico, debía obtenerse la energía mecánica del motor primario único instalado en la fábrica, por reducidas que fueran las necesidades. En esta forma las operaciones de fabricación debían diseñarse en forma de adaptar la ubicación de las máquinas a la del motor primario en vez de a la secuencia del proceso de fabricación (las mayores demandas de potencia debían ubicarse más cerca del motor primario). La introducción de la impulsión por unidades, en la cual cada máquina tiene su motor o motores propios, modificó fundamentalmente esta situación: se disponía de energía en forma absolutamente flexible, que se podía distribuir dentro de la fábrica de acuerdo a otros criterios de organización eficiente y produciéndose una pérdida mínima de energía entre la subestación de la fábrica y la máquina.

Por tanto parece probable que la mayor influencia que ejerció la electricidad sobre la eficiencia de las operaciones industriales no se debió a la sustitución de Btu de menor eficiencia térmicas, por unidades más eficientes, sino a su efecto sobre la economía total de las operaciones industriales. Al desaparecer las limitaciones que imponían los sistemas de transmisión de energía mecánica interna, se presentaron nuevas posibilidades de aplicación de las modernas técnicas de administración industrial y de empresas. Por lo tanto no es muy aventurado suponer que se pueda atribuir en cierta medida la marcada aceleración del ritmo de aumento de la productividad después de la primera Guerra Mundial a los nuevos métodos de organización de la producción que fue posible aplicar debido a la mayor electrificación de los procesos industriales.

Todo lo dicho parece servir de fundamento a la hipótesis formulada anteriormente: que pese al reducido número de Btu de la energía consumida en forma de electricidad, incluso en los últimos años, el aumento de la electricidad puede ser un factor muy importante para explicar la disminución de la relación energía-producto nacional bruto desde el término de la Primera Guerra Mundial. Aunque sería necesario continuar las investigaciones para establecer la validez de este postulado, parece coincidir con las circunstancias actuales.

/RESUMEN

RESUMEN

Las estadísticas estudiadas revelan que se produjo un incremento constante del consumo de energía en relación al producto nacional bruto entre 1880 y 1910, cierta estabilidad entre 1910 y 1920, y una disminución constante entre 1920 y 1955.

Se analizaron dos tipos de factores que podrían explicar este fenómeno: los cambios ocurridos dentro de la economía en general y los cambios que han tenido lugar en la economía energética. Entre los primeros se incluyen cambios estructurales en la producción total y cambios de la eficiencia general que se reflejaron en el aumento general de la productividad; entre los mencionados en segundo lugar se incluyen cambios en la eficiencia térmica, y el aumento de la electrificación.

Durante todo el período histórico estudiado se observa una tendencia continua a los cambios estructurales en el sentido del aumento de la importancia del sector industrial. Sin embargo la importancia relativa de la industrial aumentó con mayor rapidez antes que después de 1920. Se pudo observar que el aumento general de la productividad, que se reflejó en una mayor producción nacional en relación al insumo de capital y trabajo, - que del mismo modo también podía contribuir al aumento de la producción nacional en relación al insumo bruto de energía - se mantuvo constante, pero creció con mayor rapidez después que antes de 1920. Durante todo el período estudiado se produjeron aumentos de la eficiencia térmica, pero fueron más notorios en el siglo veinte que en la segunda mitad del siglo diecinueve. El aumento de la electricidad - que según se dijo implicó grandes aumentos en la eficiencia térmica, y lo que es más importante, fue un factor importante del aumento de la productividad general de la economía - se limita exclusivamente al siglo veinte, siendo más rápido el aumento a partir de la primera guerra mundial.

Durante ese período, y hasta la primera Guerra Mundial, el factor predominante parece haber sido la transformación de la estructura económica, en el sentido de aumentar la industrialización, que produce un mayor consumo de energía por unidad de producto nacional bruto. Después de 1920, las transformaciones de la estructura económica continuaron influyendo en el

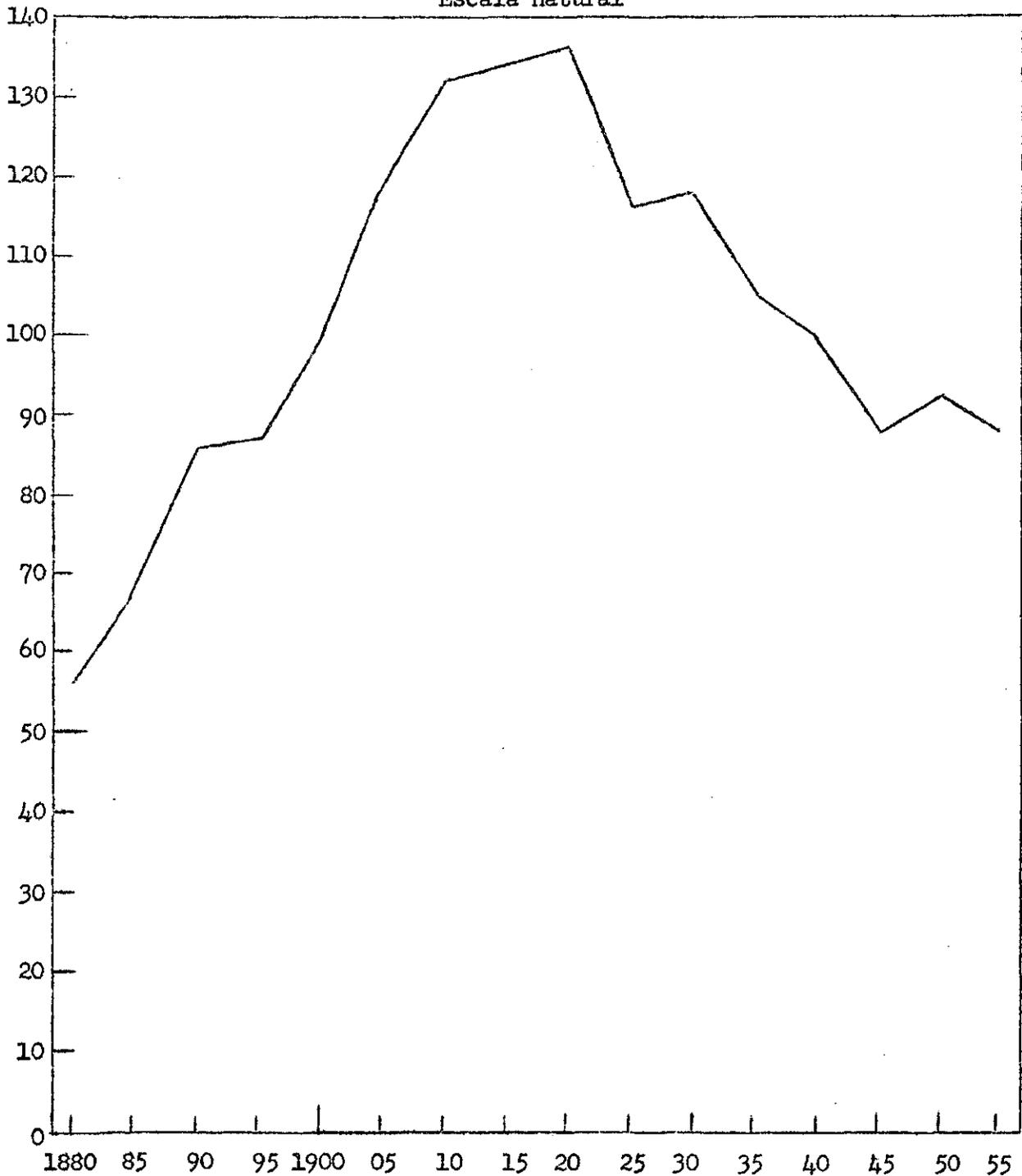
/mismo sentido,

mismo sentido, pero con menor intensidad. Los demás factores estudiados - el aumento de la eficiencia térmica en el empleo de la energía, el aumento de la electrificación, y la aceleración del ritmo de la productividad económica general - que influyeron en conjunto para que disminuyera el insumo de energía por unidad de producto nacional, ejercieron un papel preponderante.

FIGURE I
 ENERGY CONSUMPTION PER UNIT OF GROSS NATIONAL PRODUCT a/
 1880-1955 (Five-years intervals)
 (Index numbers 1900 = 100)

GRAFICO I
 CONSUMO DE ENERGIA POR UNIDAD DE PRODUCTO NACIONAL BRUTO a/
 1880-1955 (Intervalos de cinco años)
 (Indices 1900 = 100)

Natural scale
 Escala natural



a/ Gross national product in constant (1929) dollars.
 Producto nacional bruto en dólares constantes (1929).

