



## Consumo de energía en la industria siderúrgica mexicana<sup>1</sup>

A. Elizalde Baltierra, J. García Peláez, L. López Panadero, M. Bauer Ephrussi y J. Quintanilla Martínez  
Programa Universitario de Energía, UNAM  
Email: [puenergy@servidor.unam.mx](mailto:puenergy@servidor.unam.mx)

(recibido: febrero, 1997; aceptado: febrero, 1998)

### Resumen

Se presenta un panorama actual de la industria siderúrgica mexicana. Se analiza el consumo de energía en el sector por fuente de energía (exógena y endógena) y por proceso siderúrgico (convertidor básico al oxígeno y horno eléctrico de arco). Se muestra además el consumo específico de energía en la industria siderúrgica por tipo de empresa (integrada y semi-integrada) y por proceso siderúrgico (convertidor básico al oxígeno y horno eléctrico de arco). Finalmente, se sitúa a nivel internacional al sector, mediante comparaciones de consumo específico de energía, consumo específico de coque en el alto horno, participación del horno Siemens Martin y grado de utilización de colada continua.

### Abstract

*An overview of the Mexican iron and steel industry is presented, including the analysis of the sector's energy consumption by energy source (exogenous and endogenous) and by siderurgical process (basic oxygen conversion and electric arc furnace). The specific industry's energy consumption is shown, by both kind of enterprise (integrated and semi-integrated) and by siderurgical process (BOF and EAF). Finally, its international standing is examined in terms of overall specific energy consumption, specific coque consumption in high furnace, Siemens Martin furnace participation, and utilization degree of continuous casting.*

### Introducción

Como en otros países, la industria siderúrgica en México está compuesta por un grupo reducido de empresas integradas, un número mayor de empresas semi-integradas o acerías y un grupo más numeroso de empresas relaminadoras. Las tecnologías empleadas han sido importadas en su mayoría, sin embargo, existe una contribución mexicana importante: el proceso de reducción directa para producir hierro esponja.

El suministro de energéticos proviene predominantemente de las empresas paraestatales: Petróleos Mexicanos (PEMEX), Comisión Federal de Electricidad (CFE) y Luz y Fuerza del Centro (LFC), aunque el autoabastecimiento eléctrico y la cogeneración están presentes. Bajo la presión de la demanda interna y la posibilidad de incrementar su

mercado de exportaciones debido a la apertura de la economía, este sector industrial, ahora completamente privado, está pasando por un proceso de expansión y modernización; no obstante, el análisis de la intensidad energética presenta problemas, especialmente en los últimos años, debido a las fluctuaciones de la economía.

Las principales fuentes del presente trabajo son: Cuentas nacionales, Balance nacional de energía, datos estadísticos y publicaciones de la Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero (CANACERO), así como las respuestas a la encuesta dirigida por el Programa Universitario de Energía (PUE) a la mayoría de las compañías del sector siderúrgico (apéndice).

<sup>1</sup> Trabajo auspiciado por la Dirección General de la Energía (DG XVII), Comisión Europea, red COPED.

### Energía: fuentes, consumo específico e intensidad

#### Consumo de energía en el sector

Antes de iniciar con el análisis energético del sector, es importante hacer hincapié en la forma en la que se presentan los datos de consumos de energía. En relación con el consumo de electricidad, éste se presenta como electricidad primaria, o sea, la energía primaria necesaria para la producción de la electricidad que la industria siderúrgica compra al Sector Eléctrico Nacional (SEN). Por lo tanto, a partir de esta última se determina la energía primaria empleando un coeficiente, correspondiente a una eficiencia promedio de conversión de 33.5%. De igual forma, en la conversión de los datos sobre coque a datos expresados en carbón primario, se multiplicó el consumo de coque por un factor de 1.3 (Ross, 1987). Estas conversiones a energía primaria nos permiten mostrar los consumos en términos de fuentes primarias, así como calcular los consumos específicos y la intensidad energética con base en normativas internacionales que hacen posible la comparación de los resultados.

En 1994, la industria siderúrgica fue responsable de 16% del consumo energético industrial en el país. Fue el mayor consumidor, seguido por la industria petroquímica de PEMEX (15.6%). Los energéticos empleados fueron: gas natural (36.3%), carbón primario (32.9%), electricidad primaria (22.9%), combustóleo (7.4%), y otros que incluyen gas LP y diesel (0.5%). Estos datos hablan por sí mismos de la importancia del análisis energético del sector.

#### a) Por fuente de energía

Las fuentes de energía usadas en instalaciones siderúrgicas pueden clasificarse en fuentes exógenas, compradas fuera de la planta, y en fuentes endógenas, generadas en diversas partes del proceso siderúrgico. Uno de los objetivos del mejoramiento de la eficiencia energética es ampliar lo más posible el uso de las fuentes endógenas y por ende, disminuir las necesidades de energía comprada.

#### Fuentes exógenas

Las principales fuentes exógenas de energía para la fabricación de acero son el carbón primario empleado para producir coque, el combustóleo, la electricidad primaria y el gas natural. El consumo de energía primaria en la industria siderúrgica nacional por fuentes exógenas de 1985 a 1994 se presenta en la tabla 1, de acuerdo con los balances nacionales de energía publicados por la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal (SEMIP), hoy Secretaría de Energía. Además, en la tabla 2 se presentan los consumos de energía secundaria tomando en cuenta a la electricidad como secundaria, tal como la industria la compra al SEN, y al carbón primario expresado en términos secundarios como coque. Los datos relativos a la electricidad se refieren a la comprada al SEN y no se incluye el autoabastecimiento, dado que se genera en gran medida con fuentes endógenas. En las tablas se observa al año 1986 como el de menor consumo debido principalmente al cierre de FUMOSA. Entre 1988 y 1993 se aprecia una ligera reducción del consumo aun cuando la producción de acero sufre un incremento de 18% durante este periodo.

Tabla 1. Industria siderúrgica nacional: consumo de energía primaria por fuentes exógenas, 1985-1994

Año	Petacalorías					Total
	Combustóleo	Electricidad primaria**	Carbón primario	Gas natural	Otros ***	
1985	2.533	11.412	25.150	19.096	1.919	60.110
1986	2.347	11.728	19.629	17.918	1.812	53.434
1987	2.517	11.585	21.780	20.026	1.946	57.854
1988	5.783	19.884	16.714	25.404	0.930	68.715
1989	5.271	16.146	17.506	26.196	0.782	65.901
1990	6.550	20.725	19.091	21.011	0.507	67.884
1991	6.204	17.015	16.636	20.699	0.385	60.939
1992	3.651	17.776	17.581	21.128	0.316	60.452
1993	4.331	13.403	19.222	21.204	0.294	58.454
1994*	4.830	14.964	21.434	23.645	0.328	65.184

Tabla 2. Industria siderúrgica nacional: consumo de energía (secundaria) por fuentes exógenas, 1985-1994

Año	Petacalorías					Total
	Combustóleo	Electricidad**	Coque	Gas natural	Otros***	
1985	2.533	3.823	19.346	19.096	1.919	46.717
1986	2.347	3.329	15.099	17.918	1.812	41.105
1987	2.517	3.881	16.754	20.026	1.946	45.124
1988	5.783	6.661	12.857	25.404	0.930	51.635
1989	5.271	5.409	13.466	26.196	0.782	51.124
1990	6.550	6.943	14.685	21.011	0.507	49.696
1991	6.204	5.700	12.797	20.699	0.385	45.785
1992	3.651	5.955	13.524	21.128	0.316	44.574
1993	4.331	4.490	14.786	21.204	0.294	45.105
1994*	4.830	5.007	16.488	23.645	0.328	50.298

\*Cifras preliminares \*\* No incluye autoabastecimiento \*\*\* Incluye gas LP y diesel. Fuente: balances nacionales de energía, 1988-1994, Secretaría de Energía.

Por otro lado, en la tabla 3 se muestra el consumo de energía primaria por fuentes exógenas, en empresas integradas y en un grupo representativo de semi-integradas,

de acuerdo con los datos reportados en la encuesta del PUE (apéndice). Asimismo, en la tabla 4 se muestran estos consumos en términos secundarios.

Tabla 3. Consumo de energía primaria por fuentes exógenas, en empresas integradas y en un grupo representativo de semi-integradas 1988-1994

## Empresas integradas

Año	Petacalorías					Total
	Combustóleo	Gas natural	Carbón primario	Electricidad primaria *	Otros **	
1988	4.211	14.488	17.909	8.166	0.602	45.377
1989	3.939	15.366	16.028	9.212	0.587	45.132
1990	4.232	16.662	17.259	10.372	0.980	49.503
1991	3.471	17.072	14.311	10.115	0.081	45.051
1992	3.469	17.256	14.719	9.588	0.010	45.042
1993	4.219	18.448	14.606	10.359	0.000	47.633
1994	3.662	19.810	16.071	11.621	0.000	51.163

## Grupo representativo de empresas semi-integradas

Año	Petacalorías					Total
	Combustóleo	Gas natural	Carbón primario	Electricidad primaria *	Otros **	
1988	0.000	0.163	0.014	0.604	0.000	0.781
1989	0.000	0.170	0.014	0.704	0.000	0.888
1990	0.013	0.154	0.014	0.730	0.000	0.911
1991	0.092	0.191	0.013	0.751	0.000	1.047
1992	0.077	0.198	0.000	0.892	0.225	1.393
1993	0.118	0.164	0.009	1.123	0.126	1.540
1994	0.156	0.182	0.000	1.486	0.135	1.959

\* No incluye autoabastecimiento \*\* Incluye gas LP y diesel Fuente: encuesta del PUE

Tabla 4. Consumo de energía (secundaria) por fuentes exógenas, en empresas integradas y en un grupo representativo de semi-integradas, 1988-1994

## Empresas integradas

Año	Petacalorías					Total
	Combustóleo	Gas natural	Coque	Electricidad *	Otros **	
1988	4.211	14.488	13.776	2.736	0.602	35.814
1989	3.939	15.366	12.329	3.086	0.587	35.307
1990	4.232	16.662	13.276	3.475	0.980	38.623
1991	3.471	17.072	11.009	3.389	0.081	35.022
1992	3.469	17.256	11.322	3.212	0.010	35.270
1993	4.219	18.448	11.235	3.470	0.000	37.373
1994	3.662	19.810	12.362	3.893	0.000	39.727

## Grupo representativo de empresas semi-integradas

Año	Petacalorías					Total
	Combustóleo	Gas natural	Coque	Electricidad *	Otros **	
1988	0.000	0.163	0.011	0.202	0.000	0.376
1989	0.000	0.170	0.011	0.236	0.000	0.416
1990	0.013	0.154	0.010	0.245	0.000	0.422
1991	0.092	0.191	0.010	0.252	0.000	0.545
1992	0.077	0.198	0.000	0.299	0.225	0.799
1993	0.118	0.164	0.007	0.376	0.126	0.791
1994	0.156	0.182	0.000	0.498	0.135	0.971

\* No incluye autoabastecimiento \*\* Incluye gas LP y diesel Fuente: encuesta del PUE

El consumo total de energía primaria en empresas integradas presentó un incremento de 11% entre 1988 y 1994. En particular, resalta el incremento mostrado por la electricidad primaria y el gas natural: 42 y 37%, respectivamente. Por el contrario, el consumo de carbón primario se redujo en 10.3%. En 1994, los principales energéticos empleados en las empresas integradas fueron el gas natural (38.7%) y el carbón primario (31.4%), quedando un poco más rezagados, la electricidad primaria (22.7%) y el combustóleo (7.2%).

Por su parte, en el grupo representativo de empresas semi-integradas el consumo energético total aumentó

en 151% entre 1988 y 1994, motivado por un incremento en la producción, de 126% en el mismo periodo. En especial, la electricidad primaria creció 146%, aumentando su participación con relación al gas natural, el cual ha disminuido su contribución. Para 1994, el consumo se reportó de la siguiente manera: electricidad primaria (75.8%), gas natural (9.3%), combustóleo (8%), y gas L.P. y diesel (6.9%).

En la tabla 5 se muestran los valores para los poderes caloríficos empleados en la conversión de los datos notificados por las empresas, a petacalorías ( $10^{15}$  calorías).

Tabla 5. Factores de conversión

Gas natural	8 460 kcal/m <sup>3</sup>	Combustóleo	10 049.57 kcal/lt
Coque	6 667 920 kcal/ton	Gas LP	1 051 320 kcal/bl
Electricidad	860 kcal/kWh	Diesel	1 469 600 kcal/bl

### Fuentes endógenas

Las principales fuentes endógenas de energía en una planta integrada con AH/CBO (AH: Alto Horno y CBO: Convertidor Básico al Oxígeno) son: el Gas de Coque (GC) de la carbonización del carbón; el Gas de Alto Horno (GAH) de la reducción del mineral de hierro con coque, y el Gas de escape de los convertidores al oxígeno o de Lingoteo y Desbaste (GLD) de la descarburación del arrabio líquido. Por otra parte, en las plantas integradas con RD/HEA (RD: Reducción Directa y HEA: Horno Eléctrico de Arco), el gas de escape de la reducción directa y del horno eléctrico de arco también pueden ser recirculados. Los subproductos gaseosos pueden ser usados como combustible para diversos hornos o para generar vapor y energía eléctrica.

En la encuesta del PUE se reportó el consumo de gas de coque y gas de alto horno en las empresas integradas entre 1988 y 1994 (tabla 6). Se observa que el consumo total de estos dos gases presentó un decremento de 14% en el periodo reportado, ocasionado por una disminución de 14.1 y 13.6% en el gas de alto horno y de coque, respectivamente. En 1994, el gas de alto horno abarcó 59% del consumo total, mientras que el de coque, el 41% restante. A su vez, este consumo total por fuentes endógenas representó 14.2% del total por fuentes exógenas en empresas integradas para el mismo año (tabla 6). Los datos de esta tabla nos indican que no se ha logrado una mejora en la eficiencia energética en cuanto a una mayor utilización de fuentes endógenas, por lo que representa una oportunidad para eficientar el consumo de energía en las empresas integradas.

Tabla 6. Consumo de energía por fuentes endógenas y exógenas en empresas integradas, 1988-1994

Año	Petacalorías				
	Gas de coque A	Gas de alto horno B	Total de fuentes endógenas C=A+B	Total de fuentes exógenas D	% 100 (C / D)
1988	3.465	4.992	8.458	45.377	18.6
1989	3.358	4.534	7.892	45.132	17.5
1990	3.496	4.759	8.255	49.503	16.7
1991	3.074	4.232	7.305	45.051	16.2
1992	2.963	4.051	7.015	45.042	15.6
1993	2.844	3.985	6.829	47.633	14.3
1994	2.992	4.286	7.278	51.163	14.2

Fuente: encuesta del PUE

Los poderes caloríficos utilizados para convertir los datos notificados, a petacalorías fueron los siguientes: gas de coque  $4\ 200\ \text{kcal} / \text{m}^3$ , gas de alto horno  $730\ \text{kcal} / \text{m}^3$ .

#### b) Por proceso siderúrgico

El consumo de energía primaria por procesos se muestra en la tabla 7. De igual forma, en la tabla 8 se muestran estos datos en términos de energía secundaria.

En la tabla 7 se distingue un descenso entre 1988 y 1991, debido principalmente al cierre de las instalaciones que usaban Horno Siemens Martin (HSM). A partir de 1992, año en que desapareció el HSM, el consumo por CBO se mantuvo casi constante, siguiendo a la producción. Para 1994, el consumo energético se distribuyó de la siguiente manera: en primer lugar el carbón primario, empleado en el alto horno, con 59%, a continuación el gas natural (22.3%) y finalmente, el combustóleo (13.4%) y la electricidad primaria (5.3%).

Tabla 7. Consumo de energía primaria (por proceso) en la industria siderúrgica, 1988-1994  
En empresas que utilizan convertidor básico al oxígeno (CBO)\*\*

Año	Petacalorías					
	Combustóleo	Gas natural	Carbón primario	Electricidad primaria *	Otros <sup>1</sup>	Total
1988	4.211	6.068	17.909	2.056	0.602	30.847
1989	3.939	5.810	16.028	2.120	0.587	28.483
1990	4.232	6.090	17.259	2.456	0.980	31.016
1991	3.471	5.857	14.311	1.996	0.052	25.688
1992	3.469	6.208	14.719	1.828	0.003	26.227
1993	3.948	6.361	14.606	1.356	0.000	26.272
1994	3.662	6.078	16.071	1.453	0.000	27.263

continúa...

Tabla 7. Consumo de energía primaria (por proceso) en la industria siderúrgica, 1988-1994 (continuación)

En empresas que utilizan horno eléctrico de arco (HEA)\*\*\*

Año	Petacalorías					Total
	Combustóleo	Gas natural	Carbón primario	Electricidad primaria *	Otros <sup>1</sup>	
1988	0.000	8.584	0.014	6.714	0.000	15.311
1989	0.000	9.726	0.014	7.796	0.000	17.537
1990	0.000	10.726	0.014	8.643	0.000	19.382
1991	0.081	11.406	0.013	8.867	0.029	20.395
1992	0.074	11.232	0.000	8.514	0.008	19.828
1993	0.345	12.237	0.009	9.774	0.000	22.366
1994	0.050	13.896	0.000	10.905	0.000	24.851

\* No incluye autoabastecimiento \*\* Para el periodo de 1988-1991 comprende a las empresas que utilizaron CBO y horno Siemens Martin, a partir de 1992 se refiere únicamente a las que emplearon CBO. \*\*\* Incluye tres empresas integradas y el grupo representativo de semi-integradas. <sup>1</sup> Incluye gas LP y diesel Fuente: encuesta del PUE

Tabla 8. Consumo de energía secundaria (por proceso) en la industria siderúrgica, 1988-1994

En empresas que utilizan convertidor básico al oxígeno (CBO)\*\*

Año	Petacalorías					Total
	Combustóleo	Gas natural	Coque	Electricidad*	Otros <sup>1</sup>	
1988	4.211	6.068	13.776	0.689	0.602	25.346
1989	3.939	5.810	12.329	0.710	0.587	23.375
1990	4.232	6.090	13.276	0.823	0.980	25.400
1991	3.471	5.857	11.009	0.669	0.052	21.058
1992	3.469	6.208	11.322	0.612	0.003	21.615
1993	3.948	6.361	11.235	0.454	0.000	21.999
1994	3.662	6.078	12.362	0.487	0.000	22.589

En empresas que utilizaron horno eléctrico de arco (HEA)\*\*\*

Año	Petacalorías					Total
	Combustóleo	Gas natural	Coque	Electricidad*	Otros <sup>1</sup>	
1988	0.000	8.584	0.011	2.249	0.000	10.843
1989	0.000	9.726	0.011	2.612	0.000	12.349
1990	0.000	10.726	0.010	2.895	0.000	13.632
1991	0.081	11.406	0.010	2.970	0.029	14.496
1992	0.074	11.232	0.000	2.852	0.008	14.166
1993	0.345	12.237	0.007	3.274	0.000	15.864
1994	0.050	13.896	0.000	3.653	0.000	17.600

\* No incluye autoabastecimiento \*\* Para el periodo 1988-1991 comprende a las empresas que utilizaron CBO y horno Siemens Martin, a partir de 1992 se refiere únicamente a las que emplearon CBO \*\*\* Incluye tres empresas integradas y el grupo representativo de semi-integradas <sup>1</sup> Incluye gas LP y diesel Fuente: encuesta del PUE

Por otra parte, en el caso de las empresas que utilizaron HEA, el consumo energético presentó un incremento de 62.3% entre 1988 y 1994 (segunda parte de la tabla 7), provocado por un aumento de 82.3% en la producción. En 1994, el gas natural, empleado principalmente en la reducción directa del mineral, representó 56% del consumo; mientras que la electricidad primaria, utilizada fundamentalmente en el horno eléctrico, abarcó 43.9%.

Por consiguiente, se puede concluir que las principales medidas para ahorrar energía en el sector deben ir encaminadas al proceso de reducción del mineral (AH y RD) y al horno eléctrico de arco, ya que en estas etapas del proceso se tienen altos consumos energéticos.

### Consumo específico de energía en el sector

Un punto de comparación importante en materia energética es el relativo al Consumo Específico de Energía -CEE- (en la literatura especializada se maneja la abreviatura SEC por las iniciales en inglés de specific energy consumption).

En general, el CEE se define como la cantidad de energía primaria necesaria para realizar una determinada actividad, por ejemplo, la producción o procesamiento de un producto específico (Worrell *et al*, 1994). En el caso concreto de la industria

siderúrgica, dicha actividad se refiere a la producción de una tonelada de un producto específico. El CEE se ve afectado por tres factores principales: los productos finales, el proceso de producción y la eficiencia del mismo. En cuanto al proceso de producción, éste puede ser descrito por sus entradas y salidas; a las primeras las constituyen las materias primas; las salidas se refieren al tipo y calidad de los productos. Por ejemplo, en cuestión de materias primas, el CEE depende de la calidad del carbón primario utilizado (porcentaje de cenizas) y, por otro lado, de la proporción de chatarra utilizada en el proceso de aceración.

El cálculo formal del CEE del sector se realiza de acuerdo con una metodología estándar prescrita por el Instituto Internacional del Hierro y del Acero (IISI por las iniciales en inglés de International Iron and Steel Institute), la cual toma en cuenta cada parte del proceso de producción de acero. Sin embargo, la metodología empleada en el cálculo del CEE de la industria siderúrgica nacional se refiere únicamente al cociente del consumo total de energía primaria entre la producción total de acero. Esto se debe a la falta de datos desagregados por cada parte del proceso de producción. De esta forma, en 1994 el CEE para la industria siderúrgica mexicana fue de 6 361 millones de calorías (Mcal) por tonelada de acero (tabla 9).

Tabla 9. Consumo específico de energía (CEE) en la industria siderúrgica nacional, 1985-1994

Año	Megacalorías / tonelada de acero									
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
CEE	8 124	7 396	7 571	8 833	8 393	7 772	7 652	7 146	6 355	6 361

\* Cifras preliminares Fuente: balances nacionales de energía, 1988-1994, Secretaría de Energía y CANACERO 1994

En los últimos años se registró una disminución sistemática del valor del CEE, lo cual muestra signos de eficiencia energética en el sector, ya que está produciendo más acero con un menor consumo energético. En este sentido, se pueden mencionar tres factores claves, que han contribuido

al mejoramiento de la eficiencia energética: la gradual disminución y desaparición de los hornos Siemens Martin, la mayor utilización de la colada continua (tabla 10), y la disminución del consumo de coque por tonelada de arrabio en el alto horno (tabla 11).

Tabla 10. Grado de utilización de colada continua en la industria siderúrgica nacional, 1989-1993

Año	Grado de utilización de colada continua (porcentaje de la producción)				
	1989	1990	1991	1992	1993
Total nacional	55.6	60.9	62.4	69.2	73.9
En empresas integradas	52.9	58.2	58.8	65.9	71.9
En empresas semi-integradas	68.5	74.8	79.5	85.3	83.2

Fuente: CANACERO 1994 y encuesta del PUE

Tabla 11. Consumo específico de coque en la industria siderúrgica nacional

Año	Consumo específico de coque (kg / tonelada de arrabio)						
	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Total nacional	562	572	543	557	499	492	529

Fuente: CANACERO 1994 y encuesta del PUE

## a) Por tipo de empresa

En la tabla 12 se observan los consumos específicos de energía en empresas integradas y en el grupo representativo de semi-integradas en el periodo 1988-1994, de acuerdo con los datos recabados en la encuesta del PUE.

Tabla 12. Consumo específico de energía en empresas integradas y en el grupo representativo de semi-integradas, 1988-1994

Año	Megacalorías / tonelada de acero						
	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
CEE Integradas	7 020	6 966	6 797	6 873	6 420	6 333	6 236
CEE Semi integradas	2 609	3 368	2 898	3 321	3 219	2 786	2 750

Fuente: encuesta del PUE

En el caso de las empresas integradas se ha registrado una tendencia a la baja, al pasar de 7 020 a 6 236 millones de calorías por tonelada (Mcal/t) de acero en el periodo señalado. Este hecho está determinado principalmente por el comportamiento a la baja del CEE en las empresas que emplean HEA y por la mayor participación de este proceso a nivel nacional. Por otro lado, en el grupo representativo de semi-integradas, el CEE se ha mantenido entre 2 600 y 3 400 Mcal/t de acero.

Es conveniente señalar que el CEE obtenido en el grupo representativo de semi-integradas que emplean el proceso Chatarra-HEA es bajo en relación con el de las integradas, debido a que no contabiliza la energía del proceso de fabricación del hierro primario y la materia prima utilizada en el horno eléctrico es en su totalidad chatarra, la cual lleva un contenido energético. Esto último nos muestra la importancia que tiene en el CEE la materia prima empleada en la aceración.

## b) Por proceso siderúrgico

El consumo específico de energía entre 1988 y 1994, por tipo de proceso en las empresas integradas se presenta en la tabla 13. Tanto las compañías que emplearon HEA como CBO en su proceso de aceración mostraron una tendencia decreciente en sus CEE, al pasar de 6 354 a 5 470 y de 7 384 a 6 413 Mcal/t de acero, respectivamente. En la literatura (PEMEX, 1985, por ejemplo), se menciona que el proceso CBO es más eficiente que el HEA; sin embargo, los datos de CEE reportados anteriormente señalan lo contrario. Esto se debe a que en su cálculo no se tomó en cuenta la proporción de chatarra utilizada en la etapa de aceración. Si se hubiera hecho esta consideración, seguramente el CEE relativo al CBO habría resultado menor.

## Comparaciones internacionales

En primer lugar, se intenta comparar de una manera cualitativa el CEE de la industria siderúrgica mexicana

con el de otros países. En este sentido, se remarca el hecho de que ésta no constituye una comparación formal y cuantitativa, ya que la metodología empleada en el cálculo del CEE en los otros países es diferente a la empleada en el caso de México. La utilidad de esta comparación estriba en ubicar cualitativamente el consumo energético del sector siderúrgico de nuestro país en el contexto internacional. Por lo que, en un estudio más profundo y más formal del CEE, los resultados obtenidos podrían diferir con los aquí presentados.

En segundo término, se comparan cuantitativamente los datos relativos al grado de utilización de colada continua, a la participación de la acería Siemens Martin, y al consumo específico de coque en el alto horno, en México y en otros países.

## a) Comparación de consumos específicos de energía primaria

La figura 1 muestra los valores de CEE en diferentes países, incluyendo al nuestro, y el valor promedio en el mundo durante cuatro décadas comenzando en 1950. Para 1990, el CEE estimado en México fue de 7 772 Mcal/t, mucho más arriba de los valores reportados en los países desarrollados como Japón, Alemania Occidental y los Estados Unidos, que se situaron entre 4 000 y 6 000 Mcal/t. Asimismo, se ubicó debajo del CEE de la India, el cual es alto debido a la baja calidad del carbón hindú (Bhaktavatsalam *et al*, 1995). Se observa también, que la disminución (gráficamente en forma de pendiente) del CEE en nuestro país ha sido más pronunciada en los últimos años que la presentada en los países desarrollados, lo cual parece indicar, que a partir de los años noventa, la eficiencia energética en la industria siderúrgica nacional se encuentra en una etapa similar a la que pasaron los países desarrollados y el promedio mundial en la década de los sesenta. Sin embargo, el sector del acero en México tiene todavía un camino largo que recorrer en los años venideros en lo que a eficiencia energética se refiere.



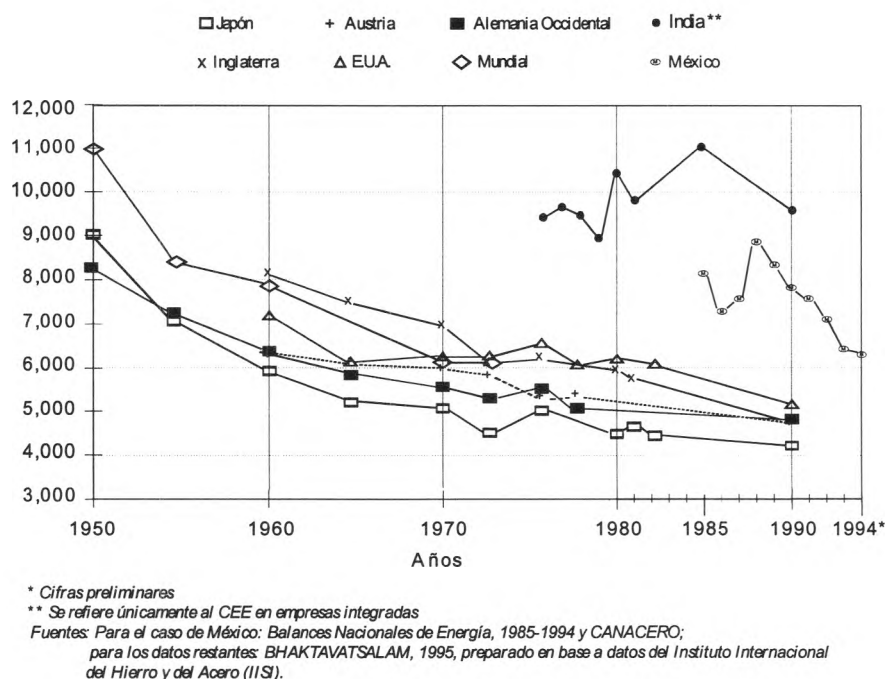


Figura 1. Consumo específico de energía en México, países seleccionados y el mundo

La dependencia del CEE de la utilización de HEA en el año 1988 en diferentes países de la Unión Europea se muestra en la figura 2. En el caso de los países europeos se incluye, además, un valor denominado *mejor práctica*. Para cada país, este valor se obtiene como el promedio pesado de los mejores consumos específicos por proceso detectados en Europa, por la fracción de la utilización del proceso en el país (Worrell *et al*, 1994). Por ejemplo, Holanda se encontró en un punto más cercano a su *mejor práctica* que España, lo que implica que aquel país alcanzó en ese año una mayor eficiencia energética que éste. En cuanto a México, no se ilustró su *mejor práctica*; no obstante, se puede decir que ésta debe situarse en el nivel de la de los países europeos. Entre 1988 y 1994, nuestro país redujo su CEE, acercándose así a su punto óptimo, aunque con un largo trecho que recorrer todavía.

También resulta interesante en la figura 2, el análisis de las cantidades marginales referentes, en primer lugar, a aquellos países que mostraron una proporción de HEA de cero por ciento, que comprendería al CEE del convertidor básico al oxígeno, dado que la participación del horno Siemens Martin es

prácticamente nula (menos de uno por ciento). En esta situación, las cifras del sector mexicano con CBO se sitúan arriba de las de Luxemburgo, país que tiene bajo CEE debido al alto nivel de chatarra empleado en el CBO —más de 30%— (Worrell *et al*, 1994); y se sabe que 30% es la proporción óptima de chatarra/arrabio (UNIDO, 1990). En segundo lugar, se analizan las naciones con 100% de HEA, que al no considerar el proceso de reducción directa-horno eléctrico de arco, ya que su contribución en la producción de la Unión Europea es de 0.3% (Worrell *et al*, 1994), nos reproduce la situación de las empresas semi-integradas (chatarra-HEA). En particular, los países europeos que se encuentran en esta situación presentaron altos CEE en relación con su mejor práctica, debido probablemente a la antigüedad de sus plantas y a los rápidos desarrollos tecnológicos en el HEA. Por su parte, el grupo representativo de semi-integradas en México notificó valores de CEE inferiores a los europeos, que oscilan entre 2 600 y 2 800 Mcal/t. Esto se debe, en gran medida, a que las plantas semi-integradas mexicanas son más recientes e involucran en sus procesos mayores avances tecnológicos; tal es el caso de la colada continua.

Tabla 13. Consumo específico de energía por proceso en empresas integradas, 1988-1994

Proceso	Megacalorías / tonelada de acero						
	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
HEA	6 354	6 182	6 079	6 112	5 751	5 663	5 470
CBO *	7 384	7 524	7 312	7 584	7 005	7 008	6 413

\* Para el periodo 1988-1991 comprende a las empresas que utilizaron CBO y horno Siemens Martin, a partir de 1992 se refiere únicamente a las que emplearon CBO  
 Fuente: encuesta del PUE

## b) Otros factores de comparación

En la tabla 14 se muestran tres aspectos de comparación que tienen relación con la eficiencia energética en el sector: consumo específico de coque en el alto horno; participación del horno Siemens Martin y, finalmente, la proporción de colada continua en la producción total. Estas cifras complementan a las relativas de los consumos específicos de energía y así brindan una visión más amplia del sector siderúrgico nacional en el entorno de los países.

## Intensidad energética

La intensidad energética en la industria siderúrgica mexicana se define como el consumo de energía primaria por unidad de Producto Interno Bruto (PIB) del sector.

En la tabla 15 se observa una caída de la intensidad energética en los últimos años, que reafirma el aumento de la eficiencia energética en el sector.

## Conclusiones

La industria siderúrgica en nuestro país ha enfrentado un crecimiento de la demanda interna que, a pesar del incremento en la producción nacional, ha tenido que recurrir a importaciones durante los últimos años. Esto ha ocurrido en un periodo de relativo estancamiento en la economía. No obstante, la contracción de la demanda interna ocurrida por la crisis económica en 1995, se espera que la producción aumente debido a la expansión en el mercado

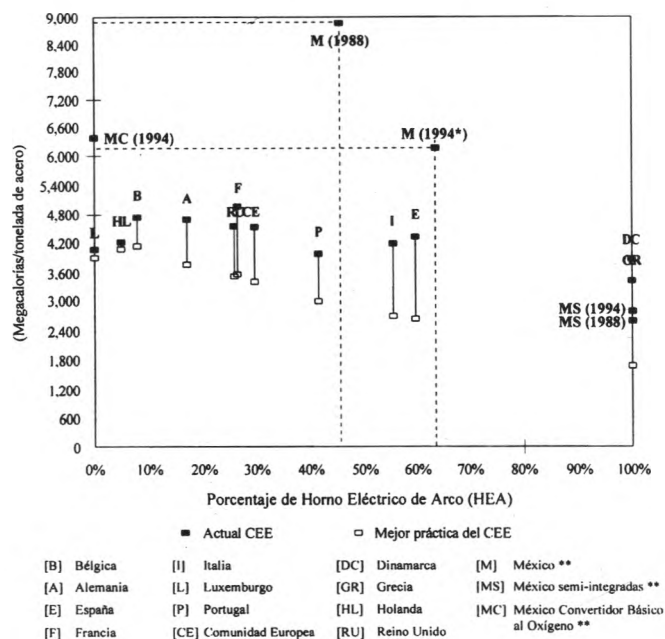
de las exportaciones, motivada principalmente por la devaluación del Peso y la apertura comercial. En este sentido, el sector del acero —ahora privado— ha invertido grandes recursos para incrementar su capacidad de producción tanto de productos básicos como especializados. Las inversiones realizadas entre 1989 y 1994 totalizan 2 500 millones de dólares.

Según datos de la CANACERO, para el periodo 1996-2000 se proyecta invertir unos 3 700 millones de dólares, con lo que la capacidad instalada se ubicará en 17 millones de toneladas de acero al iniciar el nuevo siglo.

En años recientes se ha logrado una mejora en la eficiencia energética en la industria siderúrgica nacional, basada principalmente en aspectos tecnológicos y operativos, tales como la gradual disminución y desaparición de los hornos Siemens Martin, la mayor utilización de la colada continua y la disminución del consumo específico de coque en los altos hornos. Sin embargo, la industria del acero tiene todavía un largo camino que recorrer.

## Agradecimientos

Los autores agradecen la asistencia y cooperación de la Dirección General de la Energía (DG XVII), Comisión Europea, Red COPED; la CANACERO, en particular del Lic. Miguel Elenes Inchaurregui y el Ing. Manuel Gutiérrez Espinoza. Asimismo, a todas las empresas siderúrgicas que colaboraron con la encuesta del PUE, así como al personal del PUE quienes apoyaron la realización de la misma.



\* Cifras preliminares

\*\* Se incluyen los valores del CEE para 1988 y 1994

Fuente: Para el caso de México: Balances de Energía 1988 y 1994, y CANACERO, 1994 [M], y Encuesta del PUE [MS] y [MC]. Para los datos de la Unión Europea, WORRELL, 1994.

Figura 2. Consumo específico de energía (CEE) en los países de la Unión Europea y México en 1988

Tabla 14. Comparación de la eficiencia energética en países seleccionados

País	Consumo específico de coque en el alto horno		Participación del horno Siemens Martin	Grado de utilización de colada continua
	Kg / ton de arrabio		% de producción total	% de la producción total
	Año			
	1980	1994	1991	1992
Japón	449	n.d	0.0	95.4
Estados Unidos de América	588	n.d	1.6	77.7
Italia	463	n.d	0.0	97.7
Francia	520	n.d	0.0	95.0
España	530	n.d	0.0	94.0
China	585	n.d	n.d	29.7
Brasil	480	n.d	0.0	n.d
México	n.d.	530	3.3	69.2
Turquía	690	n.d	7.4	n.d
Portugal	620	n.d	0.0	n.d
Argentina	n.d.	n.d	0.0	n.d
Colombia	740	n.d	n.d	n.d

n.d.: no disponible Fuente: Siderurgia Latinoamericana (diciembre 1984, julio 1992 y mayo 1993) encuesta del PUE

Tabla 15. Intensidad energética en la industria siderúrgica nacional, 1985-1993

Año	Intensidad energética (Kcal / \$ Peso 1980)								
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993 *
Total nacional	1 256	1 209	1 230	1 378	1 292	1 211	1 123	1 107	1 001

\* Cifras preliminares Fuente: JQM, preparado con base en los balances nacionales de energía, 1985-1993, SEMIP y a las cuentas nacionales, 1985-1993

## Referencias

- Bhaktavatsalam, *et al* (1995). Specific Energy Consumption in the Steel Industry. *Energy*, Vol. 20, 1247-1995.
- CANACERO (1994). *Diez años de estadísticas siderúrgicas 1985-1994*. Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero, México.
- INEGI (1994). *La industria siderúrgica en México 1994*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- PEMEX (1985). *Consumo de energía en la industria siderúrgica*. Subdirección de Planeación y Coordinación de Petróleos Mexicanos, México.
- Ross (1987). Industrial Energy Conservation and the Steel Industry of the United States. *Energy*, Vol. 12, 1135-1987.
- UNIDO (1990). United Nations Industrial Development Organization, *Industry and Development Global Report 1990/1991*.
- Worrell *et al* (1994). Energy Consumption by Industrial Processes in the European Union. *Energy*, Vol. 19, 1113-1994.

## Apéndice. Descripción de la encuesta dirigida por el PUE a la mayoría de las empresas del sector siderúrgico

### Planteamiento de necesidades

El primer paso en el diseño del instrumento mediante el cual se evaluaría el sector comenzó con el reconocimiento de las principales variables que rigen al sistema siderúrgico, así como la consulta de trabajos de análisis precedentes tanto del propio (PUE), como de otras fuentes nacionales y extranjeras. Así pues, la definición de los principales parámetros que pudieran reflejar la situación real de la industria siderúrgica fue lo que más tarde determinaría el contenido de la encuesta. El proceso de determinación de necesidades tuvo una duración aproximada de dos semanas.

### Elaboración y elección del modelo

Tras la elaboración de varios modelos, se optó por aquel que equilibrase la necesidad de un conocimiento pormenorizado

de los diferentes procesos, con la factibilidad, desde el punto de vista de las empresas, de realizar labores internas de registro de datos, punto vital a la hora de calendarizar las diferentes etapas de desarrollo de la encuesta. Esta fase tuvo una duración aproximada de cuatro semanas.

### Aplicación

La forma de aplicación fue individual, por empresa, comenzando por las situadas en el área metropolitana de la ciudad de México. 60 por ciento de los cuestionarios fue enviado por servicio de mensajería, junto con un breve folleto informativo de las actividades del PUE, así como un oficio de solicitud de la información en el cual se establecía el compromiso de presentar todos los datos recabados en forma agregada y no facilitarlos a terceras personas. El 40 por ciento restante fue enviado por Fax, junto con el citado oficio. Esta fase tuvo una duración aproximada de 14 semanas. Como se muestra en la tabla A1, 21 empresas en total respondieron la encuesta del PUE: las cinco integradas

existentes en el país (en la tabla A1 se presentan seis, ya que HYLSA fue tomada como dos entidades debido a que los envíos a sus plantas de Puebla y Monterrey fueron independientes) y 16 de las semi-integradas. De estas últimas, la tabla A2 destaca el número de empresas que proporcionaron información completa—datos de producción y de consumo de energía—. Con base en esta información se realizaron las tablas referidas al grupo representativo de empresas semi-integradas.

### Análisis de resultados

El análisis de resultados se llevó a cabo a partir de la conformación de tablas anuales nacionales de producción y aspectos asociados, así como consumo energético. En apoyo de estas tablas se realizaron figuras sobre aspectos específicos. Las tablas fueron complementadas principalmente con datos de CANACERO (1994), además de algunos boletines publicados por esta misma institución, y el Balance nacional de energía de 1985 a 1994, publicados por SEMIP. Esta fase tuvo una duración aproximada de tres semanas.

Tabla A1

Resultado de envío	Empresas integradas		Empresas semi-integradas		Total	
	número	% del total *	número	% del total *	número	% de total *
respondió	6	100	12	48.5	22	56.4
No respondió	0	0	12	48.5	16	41.0
Otros **	0	0	1	3.0	1	2.6

\* Total de integradas o semi-integradas a las que se les envió el cuestionario, según el caso \*\* Incluye aquellas que no desearon responder la encuesta

Tabla A2

Número total de empresas semi-integradas con información completa	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
		6	7	8	8	10	13

### Semblanza de los autores

**Alberto Elizalde Baltierra.** Ingeniero mecánico electricista egresado de la Facultad de Ingeniería, UNAM en 1994, y maestro en ingeniería (especialidad planeación) graduado en la misma Universidad en 1996. Actualmente se encuentra en Francia realizando estudios doctorales en economía industrial en la Universidad de París IX-Dauphine en cohabilitación con la Escuela Nacional Superior de Minas de París.

**Juan García Peláez.** Ingeniero mecánico electricista egresado de la Facultad de Ingeniería, UNAM en 1994. Ha participado en el desarrollo de diversos diagnósticos energéticos. Actualmente se encuentra laborando en una empresa farmacéutica de la iniciativa privada en el área de metrología y control.

**Luis López Panadero.** Ingresó a la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de Madrid para cursar la carrera de ingeniería industrial, posteriormente vino a México e ingresa a la Universidad Iberoamericana para continuar su licenciatura. Finalizó sus estudios de ingeniería física y actualmente funge como director de desarrollo comercial de la firma Datasys de América.

**Mariano Bauer Ephrussi.** Investigador del Instituto de Física, UNAM. Cursó la licenciatura en física en la Facultad de Ciencias, UNAM (1951-1956) y obtuvo el doctorado en física en la Universidad de Maryland, EUA (1962). Su actividad profesional como investigador cubre fundamentalmente las áreas de física nuclear teórica, fundamentos de la mecánica cuántica, energía y medio ambiente.

**Juan Quintanilla Martínez.** Obtuvo la licenciatura en física en la Facultad de Ciencias, UNAM (1966), el doctorado en física con especialidad en física nuclear en la misma institución (1970) y posdoctorado en el Centro para la Física Teórica del Instituto Tecnológico de Massachussets (1973-1974). Sus actividades de investigación se ubican en los campos de la física nuclear teórica, planificación científica y energética, así como energía y sus impactos ambientales. Actualmente, y desde 1982, funge como subdirector del Programa Universitario de Energía UNAM.