

Cambio tecnológico y productividad en la siderurgia mexicana, 1984-1994

FLOR BROWN Y ALENKÁ GUZMÁN*

A partir de la segunda mitad de los años ochenta las exportaciones de la industria siderúrgica mexicana crecieron de manera considerable. Esa participación en el mercado internacional se inscribe en las nuevas formas de competencia, en las cuales la innovación tecnológica reviste una gran importancia. En los últimos dos decenios las empresas siderúrgicas de las economías industrializadas incorporaron cambios tecnológicos que incidieron en su productividad, modificaron su perfil de especialización y les dieron nuevas ventajas competitivas. En ese marco, el propósito de este artículo es identificar el progreso tecnológico de la siderurgia mexicana, así como evaluar el desempeño productivo de las industrias metálicas básicas del hierro y el acero de 1984 a 1994. Para ello, se describen las tendencias de la siderurgia nacional y de otros países productores de acero durante las últimas tres décadas, y la evolución de la productividad total de los factores de la siderurgia mexicana por industria y tamaño de establecimiento en el lapso señalado.

TENDENCIAS TECNOLÓGICAS MUNDIALES EN LA PRODUCCIÓN DE ACERO

Las empresas siderúrgicas de los países industrializados han mejorado o innovado sus procesos de fabricación de acero y sus productos, así como desarrollado nuevos aceros especializados con alto valor agregado. Las economías de indus-

trialización reciente, como México, han incorporado tecnologías modernas que les han permitido lograr una relativa convergencia en los procesos básicos de la producción de acero, aunque no en sus productos.

El progreso tecnológico en la siderurgia ha sido menos dinámico que en otros sectores de punta, como los de electrónica, informática, aeronáutica, farmacéutica y telecomunicaciones. Sin embargo, la industria del acero ha registrado cambios productivos que pueden considerarse innovaciones, algunas de tipo incremental y otras, como la colada continua, de carácter radical. Además, las innovaciones tecnológicas en otras ramas han acelerado, sin duda, los cambios en esta industria. Al ser desplazado por otros materiales, disminuyó considerablemente la demanda de acero, lo que dio lugar a la búsqueda de nuevos tipos y usos del metal.¹ Asimismo, la siderurgia se ha alimentado de las innovaciones generadas por otras industrias manufactureras. Por ejemplo, el empleo de las computadoras en todas las fases de la producción acerera modificó los procesos productivos y mejoró la eficiencia.

Algunos cambios tecnológicos se desarrollaron antes del decenio de los setenta, pero fue hasta esos años cuando se mejoraron y difundieron de manera extensiva. Los nuevos procesos de reducción directa, la aceración al oxígeno, la colada continua y el uso de computadoras, entre las innovaciones más significativas, contribuyeron a incrementar la productividad, mejorar la calidad de los aceros y a reducir los costos de operación, el uso de energía y el consumo de materias primas.

* Profesoras e investigadoras de la Maestría de Ciencias Económicas del Colegio de Ciencias y Humanidades, UNAM, y del Departamento de Economía de la UAM-Iztapalapa, respectivamente. Las autoras agradecen a Abigail Durán su ayuda en el cálculo de las variables de productividad.

1. J. Gana, "La aparición de nuevos materiales y su impacto sobre el uso de recursos naturales". *Sistema internacional y América Latina. Tercera revolución industrial. Impactos internacionales del actual viraje tecnológico*. Editor Latinoamericano, 1986.

La aparición de las miniplantas (*mini-mills*) ayudó a que las nuevas tecnologías se aplicasen en un tiempo menor que en las empresas integradas. El tamaño de aquéllas solucionó el problema de la baja utilización de la capacidad instalada y entrañó ventajas: las inversiones y el tiempo de construcción de la planta son menores, la organización administrativa es más ágil y el flujo de la producción más dinámico.²

La dinámica del cambio tecnológico varía entre los países productores de acero. Pese a la amplia brecha productiva y tecnológica que existe entre las economías industrializadas y en desarrollo, en ambas se presenta una tendencia hacia la convergencia tecnológica. Probablemente ello se asocie a la globalización de la industria siderúrgica y a que los países industrializados han orientado su especialización a los sectores industriales que forman parte del nuevo paradigma tecnológico, mientras que las naciones en desarrollo aún registran un consumo significativo de acero.

Reestructuración de la siderurgia internacional

Para los países industrializados, el fin del período de bonanza de la siderurgia, a principios de los setenta, se asoció a cuatro hechos: a) el incremento de los precios del petróleo; b) la competencia de las economías de industrialización reciente; c) la desaceleración de la demanda de bienes de capital pesados, y d) la competencia de los materiales sustitutos del acero. Un nuevo modelo de desarrollo competitivo internacional transformó el perfil de la siderurgia de los países industrializados.³

Los procesos de reestructuración y cambio tecnológico en escala mundial entrañaron en muchos casos el cierre de plantas tecnológicamente obsoletas y el recorte considerable de la plantilla. Parte de la reestructuración fue financiada por los gobiernos u organismos internacionales, incluyendo cuantiosas inversiones para modernizar las plantas y alentar la innovación tecnológica. Tras la reestructuración, las siderúrgicas entablaron vínculos intraempresariales, lo que dio lugar a la globalización de la industria. Enseguida se señalan las principales características de ese proceso.

1) Diversificación internacional de las fuentes de suministro de materias primas. Ha crecido el intercambio comercial de las principales materias primas (mineral de hierro, chatarra, carbón, coque) para fabricar acero. Aunque algunos materiales, como el coque, tienden a perder importancia por el desarrollo de los hornos eléctricos, la demanda de chatarra ha aumentado. El agotamiento de las minas de hierro en varios países de Europa, junto con el descubrimiento de grandes reservas en América del Sur (Brasil) y Australia, explican el incremento de las importaciones de los países industrializados, especialmente los

2. CEPAL, *La industria siderúrgica latinoamericana: tendencias y potencial*, Naciones Unidas, Santiago, Chile, 1984.

3. T. Bain, *Banking the Furnace. Restructuring of the Steel Industry in Eight Countries*, W.E. Upjohn Institute for Employment Research, Kalamazoo, Michigan, 1992, p. 1.

Europeos y Japón. A su vez, las economías europeas y la estadounidense son grandes exportadoras de chatarra.

2) Expansión del comercio internacional. En los años ochenta aumentó el comercio de acero, con todo y la importante caída de la demanda en los países industrializados. Éstos prefieren importar el acero de las naciones de industrialización reciente, pues así evitan mantener instalaciones costosas y reducen sensiblemente los problemas ambientales. En estas últimas economías la cercanía de las acerías a los puertos comerciales y el costo relativamente bajo del transporte marítimo permiten la exportación de acero a precios competitivos, lo cual, a su vez, induce a los países industrializados a orientar su especialización a los aceros especiales, ligeros e inoxidables, con mayor valor agregado. En estas naciones los intercambios se realizan entre empresas y entre industrias. Esos agentes tienen un amplio conocimiento de las necesidades de los consumidores, por lo cual están obligados a incorporar constantemente innovaciones a los productos acereros.

3) Acuerdos, alianzas e inversiones extranjeras entre empresas.⁴ Las alianzas estratégicas (*joint venture*), las adquisiciones o las inversiones directas forman parte de la globalización de la siderurgia. La especialización en aceros más elaborados exige a las siderúrgicas cuantiosas inversiones para actualizar su tecnología. Así, los empresarios se asocian con los inversionistas y se establecen relaciones más estrechas con las industrias consumidoras (en especial la automovilística), con el fin de adaptarse a los cambios de su demanda. La inversión en el extranjero tuvo como objetivo establecer vínculos más estrechos con las industrias consumidoras, pero también buscó aprovechar los beneficios derivados de los bajos costos de las materias primas y de la mano de obra, eludir tarifas arancelarias, beneficiarse de la exención de algunos impuestos y evitar inversiones para el cuidado ambiental. Muchas empresas se han fortalecido tecnológicamente y competitivamente con las alianzas estratégicas, las adquisiciones o las inversiones en el extranjero. Al parecer la competencia fundamental para las empresas de la industria siderúrgica proviene de los nuevos materiales (aluminio, plástico) que han sustituido parcialmente al acero y amenazan con hacerlo en mayor medida. Ante ello, las empresas han unido sus esfuerzos en investigación y desarrollo (ID) y adquisición de maquinaria. Más que la invención de nuevos procesos, la primera actividad de la siderurgia es el mejoramiento de la eficiencia de los actuales y la diversificación de los productos siderúrgicos, optimizando la calidad y el precio.

En Estados Unidos el proceso de globalización en la siderurgia se ha expresado mayormente por medio de las alianzas estratégicas o las adquisiciones. En particular, las empresas japonesas han realizado cuantiosas inversiones —que van de un tercio a la totalidad de la inversión de las empresas— en asistencia técnica, mejora de la gestión tecnológica (mantenimiento, economías de energía y control de calidad), modernización de la maquinaria e investigaciones conjuntas. En Estados Unidos este proceso se inició a principios de los ochenta, cuando los

4. OCDE, *La mondialisation de l'industrie*, París, 1996, p. 335.

empresarios de ese país se acercaron a los japoneses en busca de la transferencia de conocimientos tácitos, que no precisan de patente, y posteriormente se dio la participación en capital.

Para las empresas estadounidenses esto significaba una forma barata de adquirir tecnología y para los japoneses la posibilidad de incursionar más ampliamente en ese mercado. Éstos, en efecto, aprovecharon la oportunidad para acercarse a las industrias consumidoras de acero, en especial la de automotores. Otros países, como Brasil, Corea, Canadá, Francia, Alemania, Países Bajos, Suiza, Austria, Suecia y España, ya se han establecido en el mercado estadounidense con base en las modalidades descritas.

En la Unión Europea, las alianzas estratégicas y las adquisiciones se han realizado entre las empresas siderúrgicas de los países miembros (occidentales); entre aquéllas destaca de manera importante el consorcio acerero francés Usinor-Sacilor. En el Extremo Oriente sobresale la presencia de las empresas japonesas, coreanas y algunas europeas.

En América del Sur, los brasileños han extendido su participación a Chile, Uruguay y Argentina, y Japón tiene presencia en Brasil y Venezuela. Un proceso similar se ha registrado en México. Por ejemplo, desde 1990 la empresa Merinox mantiene una alianza estratégica con Acerinox (España) y Thyssen (Alemania), cada una de las cuales participa con un tercio del capital. La Siderúrgica Lázaro Cárdenas-Las Truchas II fue adquirida, en el marco de la privatización, por la empresa inglesa-hindú ISPAT, y Altos Hornos de México (AHMSA) fue comprada por empresarios nacionales en sociedad con la holandesa Hoogovens. Las siderúrgicas mexicanas han extendido su actividad a América del Sur. Hojalata y Lámina (HYLSA) adquirió 24.54% del capital de la empresa venezolana SIDOR y el resto quedó en manos de una empresa nacional, una argentina y una brasileña.

Tendencias tecnológicas

En lo que sigue se comparan las tendencias tecnológicas en la producción de acero en los países desarrollados y en desarrollo. De los primeros se incluye a los de la Unión Europea, Estados Unidos y Japón; de los segundos, a Brasil, México, Venezuela, Corea y Taiwan.

La declinación de las tecnologías obsoletas y la incorporación de las nuevas no se presentó de manera simultánea en las economías industrializadas. En 1976, Estados Unidos produjo 18% de su acero en hornos de hogar abierto (Siemens Martin); los países de la entonces Comunidad Europea obtuvieron con ese procedimiento 10.8% de su acero, en tanto que Japón sólo lo hizo marginalmente (0.9%). La Unión Europea y Japón prescindieron totalmente de esa tecnología en 1978 y 1983, respectivamente: en este último año las plantas siderúrgicas estadounidenses obtenían con ella una parte relativamente alta de su producción (9.1%) y en 1989 aún era considerable (4.5%).

En la actualidad ningún país miembro de la OCDE utiliza ese proceso tecnológico. Sin embargo, en varios países de Europa

del Este una parte significativa de la producción se realiza con hornos Siemens Martin; en 1996 Rusia obtuvo con ellos 35.9% de su acero y Ucrania 50.4% (véase el cuadro 1).

C U A D R O 1

TENDENCIAS TECNOLÓGICAS EN LA PRODUCCIÓN DE ACERO EN VARIOS PAÍSES (PORCENTAJE DEL TOTAL POR PROCESO TECNOLÓGICO)

	Convertidor al oxígeno (tecnología moderna)		Horno eléctrico (tecnología moderna)		Horno abierto Siemens Martin (obsoleto)		Colada continua (tecnología moderna)	
	1980	1992	1980	1992	1980	1992	1980	1992
Unión Europea	72.7	68.4	23.8	31.6	3.5	—	38.9	91.8
Estados Unidos	61.0	60.0	27.0	38.4	12.0	1.6	20.3	78.9
Japón	76.0	68.6	24.0	31.4	—	—	59.5	95.4
Brasil	68.8	61.0	27.0	19.3	12.2	—	36.4	57.9
Corea	67.0	70.9	31.5	29.1	1.5	—	44.3	96.8
México	37.6	44.3	43.6	55.7	18.9	—	31.9	64.0
Venezuela	—	—	63.0	100.0	37.0	—	62.2	92.0
Taiwan	49.0	53.1	51.0	45.0	—	—	58.5	94.9

Fuente: IISI, Bruselas; ILAFA, Santiago, Chile, varios años.

Convertidores al oxígeno y hornos eléctricos

En los años setenta el uso del convertidor al oxígeno (BOF) se difundió con relativa rapidez en los países industrializados. El auge de esa tecnología en ese decenio y el siguiente coincidió con las mayores tasas de crecimiento de la siderurgia y con la declinación del proceso de Siemens Martin.⁵

La tecnología BOF logró su madurez en los años ochenta. Con ella Estados Unidos obtuvo poco más de tres quintas partes de su producción en 1979, aunque su uso se mantuvo prácticamente estancado hasta los años noventa; en 1996 ese proceso respondió por 57.9% de la producción total del metal. Para Japón esa tecnología tuvo mayor importancia (80% de la producción de acero en 1979), aunque paulatinamente fue desplazada por los hornos eléctricos.⁶ Cabe destacar que los empresarios japoneses incorporaron la aceración con oxígeno desde principios de los años cincuenta, cuando ese "proceso recién se estaba

5. Para tener una idea de las ventajas, en términos de productividad, del convertidor al oxígeno con respecto a la tecnología obsoleta, considérese que con él se pueden fabricar 300 toneladas de acero en 40 minutos, mientras que con un horno Siemens Martin de similar capacidad se requieren 12 horas. I. Bizberg y F. Zapata, "El obrero y el proceso de trabajo en la industria siderúrgica mexicana", *Cuadernos Teoría y Sociedad*, núm. 4, UAM-Iztapalapa, México, 1987, p. 85.

6. Japón utilizó de forma marginal la tecnología Siemens Martin y en 1978 sus acereras la habían desechado por completo. Sus plantas maduraron con la tecnología BOF y en menor medida con los hornos eléctricos.

industrializando".⁷ En el marco de las tareas de ID Japón importó ese proceso tecnológico, lo adaptó y lo explotó como propio. Francia introdujo los convertidores desde 1965 y los países europeos convergieron en el nivel de Japón en el uso de la BOF (76%) en 1981. En 1996 la importancia de los convertidores se redujo en la Unión Europea y en Japón (66%).

La invención de los hornos eléctricos data de principios del siglo xx. Sin embargo, su empleo fue marginal durante varias décadas por el alto costo de la energía eléctrica. Esa opción no empezó a adquirir importancia hasta los decenios de los setenta y ochenta, cuando se genera una enorme capacidad hidroeléctrica en varias regiones del mundo y aparecen las miniplantas. Esto último demostró la viabilidad y competitividad de los hornos eléctricos frente a las grandes plantas integradas tradicionales.

Sus ventajas se refieren a la obtención de las temperaturas requeridas para la manufactura de acero sin necesidad de utilizar oxígeno y a su facilidad para adaptarse a las fluctuaciones de la demanda de acero. El uso de los hornos eléctricos reduce enormemente los costos y permite tiempos de fusión de carga de chatarra notablemente menores que los usuales.⁸

En 1972 Estados Unidos, las economías europeas y Japón registraron niveles similares en el empleo de los hornos eléctricos (19.9, 21 y 19 por ciento, respectivamente). Sin embargo, en el curso de los setenta Estados Unidos incorporó de manera más dinámica esos hornos y en 1991 duplicó el uso de esa tecnología en la producción de acero, que en 1996 ya representaba 57.9%. Europa y Japón tuvieron un avance similar, y en 1996 ese método tenía una participación de casi 34%. La mayor importancia de los hornos eléctricos en la economía de Estados Unidos probablemente se deba a que las empresas de ese país fueron las pioneras en el desarrollo de varios procesos de reducción que se combinan con el horno eléctrico, pero también a la mayor presencia de las miniplantas que básicamente utilizan hornos eléctricos.

En los países en desarrollo la difusión y el uso de las nuevas tecnologías (BOF, hornos eléctricos) dependieron de las ventajas que cada una podía aportar a la situación muy particular de cada uno de aquéllos. La tecnología utilizada por sus industrias siderúrgicas provino de las economías desarrolladas al carecerse de un núcleo endógeno que la generara, aunque los países en desarrollo han hecho destacados aportes a los procesos tecnológicos.

El notable crecimiento de la siderurgia de las naciones en desarrollo se vincula a la rapidez con que se incorporaron las innovaciones tecnológicas mundiales de mayor trascendencia, así como al surgimiento de algunas mejoras endógenas que mejoraron la eficiencia de los procesos.

En los años setenta, con la difusión de los convertidores de oxígeno, los procesos de reducción y los hornos eléctricos, los países en desarrollo productores de acero ampliaron su ca-

pacidad instalada y desarrollaron grandes complejos siderúrgicos.

Sin embargo, a mediados de los setenta las plantas de algunos de ellos aún dependían en gran medida de la tecnología Siemens Martin: Venezuela, en 86%; Corea, 45%; México, 42%, y Brasil, 34 por ciento.

La sustitución de la obsoleta tecnología Siemens Martin en los países de industrialización reciente se realizó con mayor dinamismo en Corea, que para 1982 ya no utilizaba ese proceso. Brasil y México registraron una tendencia similar hasta 1982; en 1989 el primero prescindió totalmente de ese proceso y el segundo lo hizo hasta 1992. Venezuela retrasó la sustitución de esa técnica, pero la logró totalmente en 1990. Cabe señalar que Taiwan nunca empleó esa tecnología.

Durante la primera mitad de los ochenta Brasil, Corea y Taiwan siguieron un patrón parecido de difusión de los nuevos procesos tecnológicos. Sin embargo, en la segunda mitad de los ochenta, la tendencia cambia. La economía brasileña privilegia el uso de los convertidores de oxígeno, Corea lo hace en menor medida y Taiwan favorece la tecnología de los hornos eléctricos; durante los años setenta y hasta finales de los ochenta México produce tres quintas partes con base en los convertidores de oxígeno y dos quintas partes con hornos eléctricos. Empero, en 1996 estos últimos aumentaron su participación a 64.1% de la producción de acero total y los convertidores de oxígeno la disminuyeron a 35.9 por ciento.

Colada continua

La colada continua revolucionó el proceso productivo de la siderurgia mundial. Esta radical innovación se generó y difundió en forma creciente en los años setenta y ochenta, aunque su invención y comercialización databa de décadas anteriores.⁹ Ese procedimiento permite pasar directamente del acero líquido a productos semiterminados,¹⁰ disminuye el consumo de energéticos, evita los desperdicios del acero, aumenta la velocidad de la fusión y el tamaño de los semiterminados y dota de mayor eficiencia la utilización del equipo lo que reduce los tiempos muertos.¹¹ En la actualidad ese proceso se incorpora a otros, como el de laminación en frío o en caliente.

La colada continua contribuyó de manera importante al considerable incremento de la productividad. Permitted obtener una

9. Ese procedimiento empezó a comercializarse entre 1930 y 1940. Sin embargo, su uso en escala industrial se inició en el decenio de los cincuenta. En 1972 la colada continua participaba con 8.1% de la producción mundial de acero y en 1979 aumentó a 20.7%. CEPAL, *op. cit.*, p. 75.

10. Antes de emplearse la colada continua, el acero líquido tenía que pasar por varias etapas para laminarse. Primero se colaba en lingoteras, en patio de colada, para obtener lingotes, tochos, palanquillas o planchones. Después de recortarles las imperfecciones, se introducían en hornos de recalentamiento y posteriormente al horno de laminación en caliente. ILAFA, *op. cit.*, p. 10.

11. CEPAL, *op. cit.*, p. 76.

7. CEPAL, *op. cit.*, p. 155.

8. ILAFA, *Siderurgia Latinoamericana*, núm. 373, mayo de 1991, pp. 8-9.

mayor calidad de los aceros, la concordancia con el flujo de producción proveniente de los convertidores de alta capacidad, así como la rápida recuperación del capital invertido.

Las acerías estadounidenses incorporaron lentamente el proceso de colada continua; en 1976 sólo 10% de su producción se basaba en ese método, en 1983 ya representaba más de la tercera parte y 67% en 1990.

En este último año en los países de la Unión Europea y Japón representaba 85.3 y 93.9 por ciento, respectivamente. El escaso dinamismo en la difusión y uso de la colada continua en Estados Unidos contribuyó, entre otros factores, al rezago de su productividad, en tanto que Japón obtuvo enormes beneficios en ese renglón.¹²

La adopción de la colada continua en Corea, Taiwan y Venezuela fue más dinámica que en Brasil y México. En particular, desde finales de los ochenta los dos países asiáticos lograron converger en el empleo de esa tecnología con Japón y algunos países europeos e, incluso, alcanzaron porcentajes superiores en 1996 (Taiwan, 99.8%; Corea, 98.3%; Japón, 96.4%; Francia, 94.2%, y Alemania, 95.4%).

La incorporación de aquel proceso en México y Brasil fue más lenta, en particular en este último (quizá por su mayor capacidad productiva). En 1976, en ambos países, esa tecnología sólo participó con 18% aproximadamente de la producción y en 1986 con más de dos quintas partes. En 1996 su empleo creció de manera significativa (México, 76.8%, y Brasil, 71.6%). La tendencia seguida por Taiwan (y en menor medida por Venezuela) es parecida a la de Japón, en tanto que la de Corea es similar a la de los países de la Unión Europea, y la de México y Brasil semejante a la de Estados Unidos hasta la primera mitad de los ochenta.

Desde la segunda mitad de este decenio, la economía acerera estadounidense progresó de manera notable, al grado de que 93.2% de su producción total en 1996 se basaba en la colada continua.

La instalación de la colada continua de palanquilla se realizó especialmente en las miniplantas con acería eléctrica. La velocidad de incorporación de esa tecnología en los países del Sudeste Asiático explica en gran medida el considerable crecimiento de la producción y de la productividad.

Otras innovaciones

Las empresas siderúrgicas de los países industrializados han apoyado la ID de manera individual o mediante alianzas estratégicas con empresas de otras latitudes. La ID y sus eventuales innovaciones privilegian la reducción o recuperación de materias primas y de energía, la extensión de la colada continua a todas las etapas de la siderurgia, el mejoramiento de los procesos de

reducción directa y el desarrollo de aceros más finos y resistentes adecuados a las necesidades de los usuarios.

La informática en los procesos siderúrgicos

Hace 30 años los sistemas de computación adaptados a los procesos de convertidor, laminadores y alto horno se encontraban en la fase de investigación experimental; en la actualidad cubren todas las etapas de la siderurgia integrada. El control mediante los sistemas de cómputo permite optimizar cada operación, mejorar la calidad del producto y elevar considerablemente la productividad. "El progreso de estos sistemas hace posible, por ejemplo, obtener precisión sobre el largo, espesor y ancho de los materiales, sin necesidad de tener contacto con ellos, lo que es muy importante en la producción de planchones, tochos, planchas, bobinas y barras."¹³ Si bien no se dispone de datos que permitan apreciar la evolución del uso de la informática en la siderurgia en los principales países productores de acero, sería muy recomendable medir el incremento de esa tecnología y posteriormente evaluar su efecto en la productividad.

Las empresas siderúrgicas mexicanas han incorporado los sistemas de cómputo a sus procesos productivos. La velocidad con que se transforman los *softwares* y su extensa difusión son aspectos que favorecen, sin duda, la optimización de las operaciones productivas, financieras y de comercialización. Además, el acceso a internet enriquece el flujo de información y de conocimientos de las empresas.

En los últimos diez años la industria siderúrgica ha establecido diversas estrategias para enfrentar la fuerte competencia de los materiales sustitutos, aunque en esencia su atención se ha centrado en la calidad del producto y en ofrecer al consumidor un producto altamente competitivo. Para encarar la competencia derivada del precio, se emprendieron esfuerzos orientados a mejorar la calidad y el desempeño (*performance*) en función de las crecientes necesidades del mercado. En ese marco se inscribe el desarrollo de los programas "cero defectos", "control de calidad total en la empresa" y "control estadístico de procesos".

El relativo éxito de la estrategia competitiva de Corea, Taiwan y Brasil en su desempeño productivo se asocia a la importancia que conceden a la educación tecnológica y especialmente a la capacitación. Para ellos esta última es muy importante, pero aún más la educación tecnológica, es decir, la preparación de ingenieros que dirigirán los procesos productivos en las plantas siderúrgicas.¹⁴

Así, el aprendizaje de las tecnologías es un aspecto decisivo en el favorable desempeño de la actividad siderúrgica de los

13. CEPAL, *op. cit.* p. 74.

14. Otra fuente de crecimiento endógeno es la acumulación de capital humano que también actúa conforme al supuesto de los rendimientos crecientes. El capital humano tiene que ver con el grado de escolaridad, pero también con el aprendizaje alcanzado en el proceso productivo (*learning by doing*) y la capacitación.

12. Un interesante análisis de las razones del declive de la productividad en esta industria estadounidense en los setenta y principios de los ochenta es el de L. Dertouzos *et al.*, *Made in America*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1989.

países en desarrollo; incluso algunos de ellos han aventajado a los industrializados en la asimilación de las nuevas tecnologías. El éxito en este último y en la capacitación se vincula estrechamente a las actividades de ID que cada país ha impulsado, así como a la comunicación entre el cliente y la empresa.¹⁵

La restructuración y el cambio tecnológico en las empresas siderúrgicas mexicanas, 1987-1991

Aunque la actividad siderúrgica en México data de principios de siglo (con la Fundidora de Monterrey, fundada en 1903), es hasta los años sesenta cuando empieza a tener importancia en el complejo industrial. En ello fue decisivo el apoyo estatal por medio de cuantiosas inversiones, transferencias presupuestarias, subsidios a los insumos y una política muy proteccionista. En los años cuarenta y cincuenta el crecimiento fue moderado, pero de 1960 a 1970 se registró un promedio anual de 7.5%, con una producción orientada básicamente al mercado interno.¹⁶ Durante el auge petrolero, de 1977 a 1981, la demanda de productos siderúrgicos, especialmente de tubos, creció de manera notable (14.9% en promedio anual). La crisis de 1982 afectó esa dinámica y la demanda interna se contrajo 45%, las importaciones 86% y la producción 13%. La deuda de las empresas se incrementó de forma desorbitada y los problemas financieros condujeron al rezago tecnológico y al insuficiente mantenimiento de las plantas. En 1984 se inició un proyecto de reconversión industrial en el sector siderúrgico estatal (Sidermex)¹⁷ en el marco de la política gubernamental de cambio estructural. Se pretendía lograr la eficiencia productiva, administrativa y de comercialización a base de ajustar el tamaño de las plantas a escalas competitivas, sanear las finanzas y de incorporar tecnología de avanzada.¹⁸ Conforme a la lógica de la reconversión, en 1986 la Fundidora de Hierro Monterrey terminó a sus operaciones debido a graves problemas de rentabilidad.¹⁹

15. P.C. Robalino da Silva, "Mercado: estrategias para enfrentar la sustitución del acero", *Siderurgia Latinoamericana*, núm. 386, junio de 1992, p. 13.

16. En el marco de la política sustitutiva de importaciones, en 1964 se emitió un decreto presidencial sobre la industria automovilística por el cual se estableció que 60% de las partes de un automóvil tenía que ser de manufactura nacional. Estas medidas promovidas por el Estado favorecían notablemente la expansión de la rama siderúrgica, porque le permitían abastecer de insumos a esta industria. E. Lifschitz, *El complejo automotor en México y América Latina*, UAM-Azcapotzalco y Centro de Estudios Transnacionales, México 1985, p. 108.

17. Sidermex fue creada en 1979 para coordinar la actividad de tres empresas siderúrgicas integradas paraestatales: Altos Hornos de México, Fundidora Monterrey y Siderúrgica Lázaro Cárdenas-Las Truchas.

18. R. Villarreal, "La reconversión en la siderúrgica paraestatal de México", *Comercio Exterior*, vol. 38, núm. 3, México, marzo de 1988, pp. 191-201.

19. En un estudio de Nacional Financiera en 1972 se apuntaba lo

En 1987 el Banco Mundial aprobó un programa de financiamiento por 400 millones de dólares para reestructurar a las empresas siderúrgicas estatales y una privada. HYLSA. Asimismo, se pretendía transformar a la siderurgia mexicana en una industria competitiva en escala internacional.²⁰ Según el Banco Mundial, los problemas que incidían en la débil competitividad en el exterior y en el abastecimiento de aceros de baja calidad al mercado interno, obedecían a una política proteccionista, al control de precios, a la ausencia de una política global y de una estrategia de largo plazo para los sectores privado y público, a la ineficiente gestión de Sidermex en la comercialización y distribución de los productos, así como a la baja rentabilidad y recuperación de la inversión, que inhibió la entrada de nuevas empresas.

En 1990 el gobierno mexicano anunció la venta de las dos empresas siderúrgicas integradas estatales, AHMSA y Sicartsa, además de otras 20 agrupadas en Sidermex, entre ellas cinco empresas carboníferas, tres de refractarios, una de ferroaleaciones, tres comercializadoras y una inmobiliaria.²¹ A fines de 1991 concluyó la privatización, con lo que surgieron grandes consorcios privados como el Grupo Acero del Norte²² y el grupo Villacero;²³ la empresa inglesa-hindú Caribbean ISPAT adquirió Sicartsa II.²⁴

La apertura comercial de la industria siderúrgica abatió las tasas arancelarias. Mientras en 1982 la importación de todos los productos requería permiso previo y cubrir tarifas arancelarias

siguiente sobre esa empresa: "En el caso de la Fundidora de Hierro Monterrey, como el de otras empresas, sus desequilibrios departamentales gravitan de manera importante sobre sus costos de producción, agravándose con la existencia de equipos de construcción moderna (trenes de perfiles livianos y varillas Lewis) con otros antiguos, como el tren 32"/28" para perfiles con capacidad de 200 000 toneladas anuales y que es propulsado por una máquina de vapor (instalada en 1903)". Nacional Financiera, *La industria siderúrgica nacional y el proyecto siderúrgico Lázaro Cárdenas-Las Truchas*, México, 1972.

20. Desde 1972, el Banco Mundial había elaborado un programa que preveía la apertura comercial del sector siderúrgico mexicano. El financiamiento de 1987 comenzó a negociarse en 1985. El programa de restructuración tenía los siguientes propósitos: *i*) asistir y apoyar al gobierno mexicano en la puesta en marcha de la restructuración; *ii*) dar asistencia a los principales productores para mejorar la eficiencia productiva, financiera, administrativa, de información y de mantenimiento con base en el uso óptimo de la capacidad instalada (del equipo con viabilidad demostrada), el aumento de la calidad de los productos y el desarrollo de los recursos humanos para enfrentar los retos de la competitividad y las necesidades del mercado, y *iii*) auxiliar al gobierno en la elaboración de estrategias de desarrollo y políticas de largo plazo en el sector siderúrgico conforme a los objetivos del desarrollo del país. Banco Mundial, *Staff Appraisal Report. Mexico Steel Sector Restructuring Project*, octubre de 1987.

21. "Gran expectativa por la venta de AHMSA y Sicartsa", *Siderurgia*, núm. 1, octubre de 1990, p. 21.

22. Ese grupo adquirió la plantas 1 y 2 de AHMSA, Aceros Planos, 29% de la planta de pelets de Peña Colorada, la máquina de colada continua de Sicartsa y las minas de carbón de Coahuila.

23. Julio Villarreal se adjudicó 80% del capital accionario de Sicartsa.

24. Además adquirió 29% de participación en Peña Colorada. *Siderurgia Latinoamericana*, núm. 380, diciembre de 1991, p. 30

hasta de 100%, en 1987 el arancel promedio se ubicó en 29% y en 1991 en 9.5%; en este último año sólo 3% de las importaciones requería permiso previo. En el marco del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), México refrendó su política liberalizadora, aunque el intercambio con Estados Unidos ha tropezado con la incidencia de prácticas desleales, según la apreciación de cada país. Ello ha conducido a que ambos países graven las importaciones de algunos productos siderúrgicos.²⁵

La siderurgia mexicana ha registrado transformaciones notables, producto de su reestructuración productiva y de su privatización; un ejemplo es el trabajo en ID realizado por HYLSA, el cual se tradujo en una próspera actividad innovadora en patentes de proceso y producto. En los años sesenta esa empresa operaba con menores economías de escala y el empleo de su capacidad instalada siempre fue mayor que el de las empresas estatales.²⁶ En 1957 desarrolló y puso en marcha en su planta de Monterrey un proceso de reducción directa con reductor gaseoso en escala industrial (HYL) que trascendió mundialmente y que en la actualidad, con mejoras adicionales (HYL3), se exporta a varios países.²⁷ En 1994 la tecnología HYL se usaba en 27 plantas en el mundo; de 1990 a 1995 el liderazgo tecnológico del proceso HYL permitió la adjudicación de 60% de los proyectos mundiales.

En 1995 había varios proyectos para instalar plantas con tecnología HYL3 con una capacidad de ocho millones de toneladas anuales en Rusia (Lebedinsky), Australia (AUSI), Venezuela (Ferroven), Sudáfrica (Saldanha) e Irán (ASCO).

Otros proyectos en puerta se ubicaban en Arabia Saudita, Australia, Indonesia y Venezuela. La participación de HYLSA se ha realizado en coordinación con empresas como la Kawasaki de Japón, MANGHH de Alemania y Davy International de Estados Unidos.²⁸

Desde los años ochenta se emprendieron cambios en la estructura organizativa de AHMSA, Sicartsa, HYLSA y TAMSA mediante la adopción de los sistemas de calidad total.²⁹ En 1984 Sicartsa puso en marcha sistemas de control estadístico y de proceso, pero no fue hasta 1987 que adoptó el sistema de calidad total. Por entonces, la International Standard Organization (ISO) emitió la norma internacional de calidad ISO 9002 que asegura a los clientes internacionales la calidad de los productos siderúrgicos.

25. *Siderurgia Latinoamericana*, núm. 398, junio de 1993.

26. Por ejemplo, en 1980 la utilización de la capacidad instalada en la siderurgia nacional fue de 72.6%. La diferencia entre las empresas estatales y la privadas era significativa. AHMSA, 73.5%; Fundidora Monterrey, 67.2%; Sicartsa, 45.1%; HYLSA, 94.6%, y TAMSA, 92.4%. En 1985 era aún menor en las empresas estatales; 61.6% en promedio (Sidermex) y mayor en HYLSA, con 95.9%, pero no así en TAMSA, con 60 por ciento.

27. CEPAL, *op. cit.*, pp. 81-82.

28. Hylsamex, *Annual Report 1995*, p. 17.

29. Según E. Laris Alanís, exdirectivo de AHMSA, "La calidad total es una filosofía, un concepto y un método de trabajo orientado a garantizar la satisfacción plena de los clientes por medio de una nueva cultura de trabajo, el uso de herramientas gerenciales y estadísticas y una acción permanente de mejora continua". *Siderurgia*, enero de 1991.

En HYLSA y en Sicarta se reconoce que el sistema de calidad total ha permitido mejorar la eficiencia y elevar la calidad de los productos y la producción, lograr una mejor utilización de la capacidad instalada y abatir los costos debido al ahorro en el consumo de coque y de energía en general.³⁰ La instrumentación de los sistemas de control de calidad no sólo ha repercutido en la organización industrial sino también en la del trabajo.

Otros programas se orientan a acortar y dotar de mayor confiabilidad el plazo de entrega del producto al cliente. Ejemplo de ello son los sistemas Kan-Ban y justo a tiempo que se han extendido entre las empresas siderúrgicas mediante la integración de sistemas computarizados y la adopción de las tecnologías más avanzadas.³¹

El proceso de modernización productivo-administrativa y comercial de las empresas siderúrgicas mexicanas ha permitido una importante mejora en la eficiencia productiva. De aquí la necesidad de evaluar la dinámica de la productividad de este sector y analizar el desempeño de la productividad total de los factores entre las distintas empresas.

LA EVOLUCIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD TOTAL DE LOS FACTORES EN LA INDUSTRIA SIDERÚRGICA

En el cuadro 2 se presentan los índices de crecimiento del valor agregado, insumos, productividades parciales y la productividad total de los factores (PTF)³² de la industria siderúrgica en el período 1984-1994. Se aprecia que el producto registra un mayor crecimiento a finales de los años ochenta, el capital fijo neto disminuye a lo largo del período, especialmente en el decenio de los años noventa, así como también el empleo, en particular en 1991, cuando se privatizaron las empresas siderúrgicas estatales.

30. La filosofía de la calidad total fue propuesta por Edward Deming a los japoneses y se resume en lo siguiente: "Constancia en la mejora del producto y del servicio; asumir el programa como una religión; abandonar la inspección masiva; no comprar con base exclusiva en el precio; mejorar continuamente producción y servicios; instituir la capacitación en el trabajo; instituir el liderazgo; desterrar el temor de lograr un trabajo más eficiente; propiciar la labor en equipo; eliminar los lemas, exhortaciones y metas numéricas para los trabajadores; eliminar las cuotas numéricas; derribar las barreras que impiden hacer bien el trabajo; instituir un programa vigoroso de educación y reentrenamiento, y tomar medidas para lograr la transformación." Esta filosofía fue complementada por otros. Joseph M. Juran subraya la mejora continua, el liderazgo de la dirección y el trabajo en equipo; Philip B. Crosby profundiza en las técnicas de "cero defectos", y William Conway señala que la base del programa es la mejora continua, mediante el mejoramiento de las relaciones humanas, las inspecciones estadísticas, la creatividad y la ingeniería industrial". *Siderurgia*, enero de 1991, p. 22.

31. P.C. Robalino da Silva, *op. cit.*, pp. 13-14.

32. La PTF se define de manera general como una relación entre la producción y los insumos trabajo y capital ponderados por sus respectivos precios fórmula.



En Estados Unidos el proceso de globalización en la siderurgia se ha expresado mayormente por medio de las alianzas estratégicas o las adquisiciones. En particular, las empresas japonesas han realizado cuantiosas inversiones —que van de un tercio a la totalidad de la inversión de las empresas— en asistencia técnica, mejora de la gestión tecnológica (mantenimiento, economías de energía y control de calidad), modernización de la maquinaria e investigaciones conjuntas

C U A D R O 2

MÉXICO: INSUMOS Y PRODUCTIVIDAD DE LA INDUSTRIA METÁLICA BÁSICA DEL HIERRO Y EL ACERO, 1984-1994 (1984=100)

	Valor agregado	Insumos		Productividad			
		Capital	Trabajo	Int. k	Capital	Trabajo	PTF ¹
1984	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1985	134.4	101.0	103.0	99.0	133.4	130.5	126.0
1986	111.4	95.3	95.5	101.0	120.1	116.6	114.0
1987	109.8	89.1	94.0	96.0	126.7	116.9	113.0
1988	101.1	82.6	95.2	87.0	122.3	106.1	111.0
1989	116.6	75.4	91.6	81.0	152.6	127.3	142.0
1990	128.1	69.7	85.5	80.0	181.2	149.8	166.0
1991	116.8	63.8	77.8	80.0	177.6	150.0	166.0
1992	119.6	57.7	69.8	81.0	200.1	171.3	192.0
1993	127.1	53.4	58.5	89.0	236.1	217.4	221.0
1994	141.4	50.1	59.6	82.0	276.5	237.4	244.0

1. Productividad total de los factores.

Fuente: Cálculos realizados por el INEGI con base en la *Encuesta Industrial Anual*, varios años.

La PTF crece durante todo el período, pero a un ritmo mayor a partir de 1989, lo cual se asocia al incremento de las productividades parciales de los factores, principalmente la del capital.

Al analizar la dinámica de la PTF en las ramas del sector, así como por el tamaño de las empresas, se observan importantes diferencias (véase el cuadro 3). La industria con el mayor cre-

C U A D R O 3

MÉXICO: INDUSTRIAS BÁSICAS DEL HIERRO Y EL ACERO (VARIACIÓN MEDIA ANUAL DE LA PRODUCTIVIDAD TOTAL DE LOS FACTORES)

	Tamaño	1984-1994
Industria de fundición y laminación primaria (3411)	Pequeña	-14.13
	Mediana	4.95
	Grande	2.52
	Gigante	17.56
	Total	14.19
Industria de laminación secundaria (3412)	Pequeña	-4.74
	Mediana	3.32
	Grande	0.32
	Gigante	9.94
	Total	8.30
Industria de tubos y postes (3413)	Pequeña	5.22
	Mediana	2.07
	Grande	6.21
	Gigante	2.49
	Total	9.35

Fuente: Estimaciones realizadas por el INEGI con base en la *Encuesta Industrial Anual*.

cimiento de la PTF de 1984 a 1994 es la de fundición y laminación primaria, aunque en las otras dos industrias el crecimiento también es elevado. En fundición y laminación primaria y secundaria los establecimientos gigantes registran las mayores tasas de cre-

cimiento, mientras que los pequeños obtienen los menores coeficientes productivos. Un comportamiento distinto se aprecia en tubos y postes.

Varios factores se asocian al crecimiento de la PTF: a] el progreso técnico, que incluye los procesos de aprendizaje; b] la mejor utilización de la capacidad instalada; c] las economías de escala; d] la mejoría en los niveles educativos y de capacitación de los trabajadores; e] la disminución de la obsolescencia del capital físico; f] la mayor participación laboral derivada de los incentivos salariales; g] la óptima organización y coordinación de los sistemas administrativos y de supervisión en todas las fases del proceso productivo; h] el entorno institucional y legal propicio a la integración de conocimientos y nuevas tecnologías; i] la diversificación de la producción; j] la mejoría de la calidad de los productos, y k] el dinamismo de mercado.

En este trabajo no se analizan de modo exhaustivo los factores que inciden en el comportamiento de la PTF, pues corresponde a líneas de investigación futuras. Por el momento, la hipótesis es que el notable incremento de la PTF de la siderurgia mexicana desde finales de los ochenta hasta 1994 es resultado de la incorporación de varios cambios tecnológicos.

La obsolescencia no sólo se expresaba la antigüedad de la maquinaria vieja, sino también en las inadecuadas prácticas organizacionales e institucionales, las cuales obstruían la modernización y la competitividad de las empresas siderúrgicas no sólo en el mercado externo, sino también en el interno.

Destruir el tejido proteccionista en el sector siderúrgico constituyó un paso importante en su modernización y en el establecimiento de nuevas formas de competencia. El crecimiento de la industria se asocia a la expansión de la demanda, al acceso a nuevos mercados y al consecuente incremento de las exportaciones, lo que se expresó en una mayor utilización de la capacidad instalada; tal es el caso del notable incremento de la PTF en la industria de tubos y postes en el segundo período (véase el cuadro 3). Para las empresas mexicanas la apertura también significó la oportunidad para incorporar y desarrollar nuevas tecnologías por medio de acuerdos, alianzas y el mismo intercambio comercial.

La flexibilidad laboral, la puesta en marcha de círculos de calidad y los cambios organizacionales favorecieron la adopción de nuevas tecnologías y un mayor aprendizaje que, junto con la importante reducción de la planta laboral y el incremento del valor agregado, elevaron la productividad y la calidad de los productos.

CONCLUSIONES

En los últimos tres decenios la industria siderúrgica mundial ha incorporado innovaciones trascendentales en sus procesos y productos. Los efectos del cambio tecnológico y en general de la reestructuración de la industria siderúrgica se han reflejado en el incremento de la productividad y la competitividad de los países productores de acero. Con todo, en la actualidad es una industria que presenta un reducido dinamismo comercial y una baja intensidad con respecto a las tecnologías

de punta que integran el nuevo paradigma tecnológico (electrónica, informática y telecomunicaciones, por ejemplo).

En el marco de la globalización de la industria siderúrgica se desarrolla una tendencia hacia la convergencia tecnológica entre los países productores. Ello obedece, entre otros factores, a la creciente importancia de esa rama en las economías en desarrollo y a las alianzas estratégicas entre empresas de distintas latitudes. La competencia a la que se enfrenta la siderurgia proviene fundamentalmente de los nuevos materiales, más que de las demás empresas del ramo. La innovación de los productos en función de las necesidades de los consumidores se considera prioritaria, por lo que las empresas han emprendido acciones para conjuntar esfuerzos y capitales para ID.

Tras un proceso de reestructuración y modernización, las empresas siderúrgicas mexicanas compiten en el mercado internacional y participan en el proceso de globalización de esa industria. Al parecer su favorable desempeño se vincula al cambio tecnológico, aunque también han sido importantes los cambios organizacionales e institucionales efectuados desde mediados de los ochenta.

La productividad total de los factores creció de manera importante en las tres ramas que integran la industria metálica básica y del hierro y el acero, especialmente de 1987 a 1994. En fundición y laminación primaria y en laminación secundaria, las empresas gigantes registraron mayores niveles de eficiencia productiva, en tanto que la pequeña los redujo significativamente en el período de la apertura comercial. La industria de tubos y postes redujo su PTF de 1984 a 1988. Al parecer, la apertura comercial favoreció un crecimiento importante de su productividad en los años posteriores. La dinámica reciente de la PTF hace necesario revisar el efecto del cambio tecnológico, la reorganización administrativa y el aumento de la demanda externa, a la luz de la política de promoción de las exportaciones. Al parecer, la difusión y el uso de nuevas tecnologías en la manufactura del acero, así como el retiro de las tecnologías obsoletas, contribuyeron a la mejoría de la PTF, pero también la reestructuración productiva, comercial y financiera podría ser un factor esencial para explicar los niveles de eficiencia alcanzados.

Adicionalmente, en el marco de la privatización de las empresas paraestatales ocurrieron cambios radicales en las relaciones laborales y organización productiva.

La apertura comercial reveló las fortalezas y debilidades de la siderurgia mexicana. La libre competencia en los mercados internacionales, en particular en el estadounidense en el marco del TLCAN, obligó a los productores de acero nacionales a mejorar su productividad y a alcanzar precios competitivos. Algunas empresas ya han emprendido acciones para fortalecer sus líneas de producción de aceros planos y especializados, así como de láminas galvanizadas para la industria automovilística nacional. La competitividad internacional para la siderurgia mexicana y en general para las economías en desarrollo productoras de acero es un desafío que en el largo plazo se logrará con base en el fortalecimiento del proceso de innovación endógena y la creación de las condiciones apropiadas para asimilar la transferencia tecnológica externa. 