



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org



19679-S

Distr. LIMITADA

ID/WG.514/4
28 junio 1991

ESPAÑOL

Original: INGLES

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial

Cuarta Consulta sobre la Industria
de Bienes de Capital, con especial
referencia a las máquinas-herramientas

Praga (Checoslovaquia), 16-20 de septiembre de 1991

LA INDUSTRIA MUNDIAL DE MAQUINAS HERRAMIENTAS

Documento de base *

Preparado por
la Secretaría de la ONUDI

* La mención de empresas o productos comerciales no entraña respaldo alguno de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONU DI). El presente documento es traducción de un texto que no ha pasado por los servicios de edición de la Secretaría de la ONU DI.

V.91-26332 (EX)

INDICE

PáginaCAPITULO I INTRODUCCION A LA INDUSTRIA DE MAQUINAS
HERRAMIENTAS

1.	Una industria estratégica.....	1
2.	Clasificación de los productos de la industria de máquinas herramientas.....	4
2.1	Clasificación por la función.....	5
2.1.1	Máquinas herramientas de cortar metales.....	5
2.1.2	Máquinas herramientas de conformar metales....	10
2.1.3	Evolución de la estructura de la demanda.....	10
2.2	Clasificación según el medio de control.....	10
2.2.1	Máquinas herramientas convencionales.....	10
2.2.2	Máquinas herramientas automáticas.....	12
2.2.3	Máquinas herramientas de control numérico.....	13
3.	Características de la industria de máquinas herramientas..	17
3.1	Una industria madura.....	17
3.2	Volumen económico.....	19
3.3	Fronteras cambiantes: de mecánica a mecatrónica.....	19
3.4	La estructura de la industria.....	21
3.4.1	Estructura de mercado.....	21
3.4.2	Empresas pequeñas.....	23
3.4.3	Empresas principales.....	27
3.4.4	Subcontratación y concentración geográfica.....	30
3.5	Características de la producción.....	33
3.5.1	Organización de la producción.....	33
3.5.2	Acento en la tecnología.....	33
3.6	Las causas determinantes de la superioridad nacional en las industrias de máquinas herramientas.....	35

CAPITULO II PRODUCCION Y COMERCIO MUNDIAL DE MAQUINAS
HERRAMIENTAS

1.	Producción.....	38
1.1	Producción mundial.....	38
1.2	Concentración de la producción mundial en países industrializados.....	40
1.2.1	Principales países productores.....	41
1.2.2	Variaciones entre los principales países.....	42
1.2.3	Europa mantiene su posición.....	54
1.2.4	El caso de la URSS.....	55
1.2.5	La segunda fila.....	57
1.3	La producción de máquinas herramientas en países en desarrollo.....	58
1.3.1	Valoración de conjunto.....	58
1.3.2	América Latina.....	61
1.3.3	China, la India y el Pakistán.....	66
1.3.4	Asia Sudoriental.....	70
1.3.5	Africa Septentrional y Asia Occidental.....	74
1.3.6	Africa Subsahariana.....	76
2.	Consumo de máquinas herramientas.....	76
2.1	La dinámica del consumo en las economías industrializadas.....	78
2.2	Consumo de máquinas herramientas en los países en desarrollo.....	78
3.	El comercio internacional de máquinas herramientas.....	81
3.1	Características del comercio.....	81
3.1.1	Países importadores y exportadores más importantes.....	81
3.1.2	Comercio interior y especialización para el mercado.....	82
3.1.3	Competitividad comercial.....	88
3.1.4	Ventajas comparativas de los países en desarrollo.....	89
3.2	Importaciones de países en desarrollo.....	91
4.	Inversión internacional.....	94
5.	Previsiones para los mercados mundiales de máquinas herramientas.....	101

CAPITULO III CAMBIOS TECNOLOGICOS

1.	De la fabricación en serie a la especialización flexible y a la fabricación flexible en serie.....	102
1.1	Un nuevo paradigma.....	103
1.2	Nuevos factores de competitividad.....	108
1.3	Las consecuencias sociales de la automatización flexible.....	110
1.3.1	Ahorro de mano de obra.....	111
1.3.2	Intensificación del trabajo.....	112
1.3.3	Organización del trabajo.....	113
1.3.4	Especialización o desespecialización.....	120
1.4	De la independencia a la fabricación integrada mediante computadora.....	122
2.	Automatización en equipo independiente.....	123
2.1	Evolución del diseño de máquinas herramientas independientes.....	126
2.1.1	Estructura.....	129
2.1.2	Guías y superficies de deslizamiento.....	129
2.1.3	Sistemas de husillos.....	129
2.1.4	Accionadores de avance.....	130
2.1.5	Elementos mecánicos de accionamiento.....	130
2.1.6	Precisión de diseño.....	130
2.1.7	Ergonomía, ruido y seguridad.....	130
2.1.8	Materiales para herramientas.....	131
2.2	Difusión de las máquinas herramientas de control numérico.....	131
2.2.1	Tornos.....	132
2.2.2	Mandrinadoras, taladradoras y fresadoras.....	136
2.2.3	Rectificadoras.....	138
2.2.4	Otras máquinas herramientas de cortar metales.....	140
2.2.5	Máquinas herramientas de conformar metales.....	140
2.3	Difusión de las MHCN entre los sectores industriales.....	141
2.3.1	Situación de conjunto.....	141
2.3.2	Análisis sectorial.....	144
2.4	Previsiones para el decenio de 1990.....	152
3.	Integración de sistemas.....	156
3.1	Células y sistemas de fabricación flexible.....	156
3.1.1	Células de fabricación flexible (FMC).....	158
3.1.2	Sistemas de fabricación flexible (FMS).....	160

3.1.3	Fabricación integrada mediante computadora....	166
-------	--	-----

CAPITULO IV CONSECUENCIAS PARA LOS PAISES EN DESARROLLO

1.	Efectos sobre la producción de máquinas herramientas.....	169
1.1	Incorporación a la industria de máquinas herramientas.....	169
1.1.1	Dificultades técnicas.....	171
1.1.2	Dificultades económicas.....	172
1.1.3	Conjunto de productos e integración.....	175
1.1.4	Adquisición de tecnología.....	178
1.1.5	Política industrial.....	181
1.2	Incorporación a la producción de máquinas herramientas de control numérico.....	183
1.2.1	Evolución en los países recientemente industrializados.....	183
1.2.2	Dominio de la tecnología.....	184
1.2.3	Integración nacional.....	185
1.2.4	Competitividad en precios.....	190
2.	Consecuencias de los cambios tecnológicos para las industrias de maquinaria de los países en desarrollo.....	192
2.1	Valoración general.....	193
2.1.1	Peligros.....	193
2.1.2	Oportunidades.....	195
2.2	El caso de los componentes de automóvil.....	195
2.2.1	Tecnología y tendencias en el aprovisionamiento mundial.....	196
2.2.2	La automatización y la difusión de la producción en el extranjero.....	199
3.	La automatización industrial en países en desarrollo.....	200
3.1	Difusión de las máquinas herramientas de control numérico en los países en desarrollo.....	202
3.1.1	Países recientemente industrializados.....	203
3.1.2	Otros países en desarrollo.....	205
3.1.3	Perspectivas.....	208
3.2	Elección de tecnología.....	209
3.3	Cambios organizativos.....	212
3.3.1	Diseño y fabricación.....	212
3.3.2	Acercamiento paso a paso a la automatización..	213

CAPITULO I: INTRODUCCION A LA INDUSTRIA DE MAQUINAS
HERRAMIENTAS

1 Una industria estratégica

La industria de máquinas herramientas es un pequeño sector fabril con unas ventas, a escala mundial, en 1989, de 42.000 millones de dólares de los EE.UU. Se trata de un sector de crecimiento bastante lento: en 1974 su producción supuso el 15 por ciento del de la industria electrónica y en 1989 sólo el 9 por ciento (cuadro 1).

Cuadro 1: Producción mundial, en perspectiva, de máquinas herramientas
(En miles de millones de dólares EE.UU.)

Industria	1974	1980	1986	1988	1989
Máquinas herramientas	13	26	29	38	42
Electrónica	87	196	346	430	445

Fuentes: American Machinist y
Yearbook of World Electronics Data

Pese a su tamaño relativamente pequeño, se considera de manera general a la industria de máquinas herramientas como estratégica. A las máquinas herramientas se las ha descrito como "máquinas madres", es decir, bienes de capital utilizados para producir otros bienes de capital¹. La gama de sus aplicaciones va desde la fabricación de productos de consumo ligeros a la de bienes de capital como turbinas de gas y aviones; estas industrias tan dispares dependen de las mismas herramientas, máquinas o procesos para fabricar sus productos, o encuentran en ellos su punto de convergencia. La importancia básica de la industria de máquinas herramientas estriba en su función estratégica en el proceso de aprendizaje asociado a la industrialización. "Esta función es doble: i) en la industria de máquinas herramientas se han elaborado o perfeccionado nuevos conocimientos prácticos y

¹ Una expresión acuñada por J. Nehru al inaugurar la Hindustan Machine Tool Factory (R.C. Mascarenhas, Technology transfer and development: India's Hindustan Machine Tool Company, Westview Press, Boulder, Colorado, 1983).

nuevas técnicas en respuesta a la demanda de clientes concretos; y ii) una vez conseguidos, la industria de máquinas herramientas ha sido el principal centro de transmisión para hacer llegar esos nuevos conocimientos y nuevas técnicas a todo el sector de la economía que utiliza máquinas"². La industria de máquinas herramientas suministra tecnologías de fabricación en continuo progreso que, mediante sistemas y métodos ligados a las máquinas, desempeñan un papel esencial en la mejora del conjunto de la productividad industrial. Es uno de los puntos neurálgicos³ de la difusión, por toda la industria, de los avances tecnológicos. Aunque no produzca necesariamente una cantidad espectacular de tecnologías revolucionarias, la industria de máquinas herramientas es uno de los principales puntos de tránsito obligatorio para la difusión directa e indirecta de los efectos de esa tecnología en el conjunto de la industria de bienes de capital. Recientemente la comisión estadounidense sobre productividad industrial ha subrayado el vínculo entre la industria de máquinas herramientas y la competitividad industrial en su conjunto: "Si los fabricantes estadounidenses han de recurrir a proveedores extranjeros para sus máquinas herramientas, difícilmente llegarán a ser los primeros en sus industrias, porque con frecuencia sus competidores extranjeros dispondrán antes que ellos de los últimos adelantos"⁴.

Con frecuencia esta función estratégica ha explicado y justificado la participación del Estado. Cabe encontrar ejemplos que se remontan al siglo XVIII cuando, con el fin de evitar el desarrollo de una industria de maquinaria en su colonia americana, el Reino Unido promulgó una legislación para impedir las exportaciones de herramientas y la emigración de artesanos a los

² En N. Rosenberg: Perspectives on technology, Cambridge University Press, 1976, pág. 18.

³ OCDE Technology and international competitiveness: an interpretation of the relationships in the machine-tool industry, Dirección general para la ciencia, la tecnología y la industria, París, 1984.

⁴ Artemis March: "The US Machine-Tool Industry and its foreign competitors", en The Working Papers of the MIT Commission on Industrial Productivity, 2 vols., Cambridge MIT Press, 1989. El director de un estudio sobre máquinas herramientas realizado en la General Motors señaló: "Si compra usted lo mejor del Japón, la casa Toyota ya lleva dos años utilizándolo, y si lo compra usted en la República Federal de Alemania, la BMW lo utiliza desde hace año y medio". En American Machinist, enero de 1986.

Estados Unidos⁵. Más recientemente, el Plan de acción nacional (DAP) de los EE.UU. supuso un claro recordatorio de la importancia estratégica de la industria⁶. Sin embargo, prescindiendo del caso de las economías dirigidas y de algunos países en desarrollo, en esa industria se encuentran pocas veces empresas públicas. Las políticas industriales se han centrado sobre todo en el fomento de la investigación y el desarrollo, en la adquisición pública preferencial y en el apoyo a las medidas de reestructuración y a los planes de modernización.

Debido a sus consecuencias para las industrias usuarias, la existencia de una industria nacional de máquinas herramientas que sea competitiva puede ofrecer algunas ventajas a la industria nacional de maquinaria. En la mayoría de los casos, sin embargo, no existe una relación clara entre la competitividad de la industria de máquinas herramientas de un país y la de sus industrias de maquinaria. Con la excepción del Japón, en la mayor parte de los países industrializados el porcentaje de máquinas herramientas que la industria de maquinaria compra nacionalmente tiende a ser pequeño en razón de la especialización cada vez mayor de la industria⁷. En conjunto, parece⁸ que la industria mundial de máquinas herramientas actúa como transmisor básico de tecnología al sector metalúrgico y de maquinaria.

⁵ Con el fin de burlar esta prohibición, los estadounidenses pagaron fuertes sumas a técnicos para que emigraran disfrazados de campesinos y jornaleros con croquis de máquinas cosidos a la ropa (Machines that Built America).

⁶ Iniciado por el Presidente de los Estados Unidos, el objetivo del Plan era asegurar el rendimiento de los productos de la industria de defensa más avanzados tecnológicamente. El LAP incluía el acuerdo voluntario de limitación que imponía cupos a las importaciones del Japón, Suiza y Taiwán, provincia de China, y medidas presupuestarias para perfeccionar la siguiente generación de controles computadorizados para máquinas herramientas. también se prohibía al Departamento de Defensa adquirir máquinas herramientas extranjeras. US Industrial Outlook 1989/1990, págs. 20-21.

⁷ Jacobson: "Intra industry specialization and development model for the capital goods sector", en Weltwirtschaftliches Archiv, tomo 124 (1988).

⁸ Jacobson, S.: "Technological change in the machine tool industry, implications for industrial policy in developing countries", en New Technologies and global industrialization, PPD. 141, noviembre de 1989, ONUDI.

2 Clasificación de los productos de la industria de máquinas herramientas

Si bien las máquinas en general se destinan a la fabricación de un determinado producto, las máquinas herramientas se definen por su capacidad para ejecutar un proceso concreto. Al nivel más sencillo, las máquinas herramientas hacen tornillos, destornilladores, tuercas y pernos y otros objetos similares; a un nivel más complejo hacen las prensas, los moldeadores y los robots que se utilizan en las fábricas de acero, de automóviles y de electrónica. En su calidad de herramientas que fabrican otras herramientas, las máquinas herramientas son los elementos básicos de la industria.

Existen alrededor de 3.000 tipos distintos de máquinas herramientas que se diferencian por la finalidad para la que han sido concebidas, por el tamaño, el peso, los medios de control y el precio. Esta gran diversidad ha ido apareciendo a lo largo de los años⁹.

La industria de máquinas herramientas tuvo su origen en Inglaterra a finales del siglo XVIII con el advenimiento de la revolución industrial¹⁰. "La invención y perfeccionamiento de las máquinas herramientas fue parte esencial de la revolución industrial. La máquina de vapor, el ferrocarril, la maquinaria textil y otras maquinarias industriales necesitaron de las máquinas herramientas para progresar; fue esa demanda la que alentó el gran progreso en la invención de máquinas herramientas... En 1775, las máquinas herramientas a disposición

⁹ Para un panorama de esta historia véase: Hux M. y Prendergast C., Machine tool production in developing countries, Edinburgh Scottish Academic Press, 1983; en el caso de los Estados Unidos, véase N. Rosenberg: "Technological change in the machine tool industry 1840-1910", Journal of Economic History, vol. XXIII: 4; diciembre de 1963.

¹⁰ Antes de la revolución industrial, las máquinas herramientas se habían utilizado básicamente para fabricar armas, en especial cañones de mosquetes y de piezas de artillería. La primera máquina herramienta movida por energía de la que hay constancia (1540) fue una mandrinadora accionada por una rueda hidráulica y utilizada para perforar cañones de mosquetes y de piezas de artillería.

de la industria apenas superaban a las de la Edad Media: para 1850 ya se habían inventado la mayoría de las modernas"¹¹.

Aunque las innovaciones surgidas día a día siempre han sido importantes, su aparición se aceleró notablemente en los períodos de guerra, cuando no sólo se actualizaron las máquinas herramientas ya existentes sino que se inventaron otras nuevas para satisfacer la necesidad de producir nuevas armas.

Las máquinas herramientas se pueden clasificar según i) las funciones y ii) los medios de control.

2.1 Clasificación por la función

La distinción básica se establece entre i) máquinas herramientas de cortar metales; y ii) máquinas herramientas de conformar metales (recuadro 1).

2.1.1 Máquinas herramientas de cortar metales

Estas máquinas se utilizan para eliminar material sobrante de un trozo de metal con el fin de producir una pieza de la forma y el tamaño deseados. A esta categoría pertenecen el 80% de las máquinas herramientas que se utilizan en la actualidad. (Véase el cuadro 3)

Existen diferentes tipos de máquinas herramientas de cortar metales. La más antigua y extendida es el torno, al que en el siglo XVIII se conocía de ordinario como torno mecánico, ya que fue el primer mecanismo activado por la máquina de vapor de Watt. Mientras que el torno labra un contorno cilíndrico en el exterior de la pieza, la mandrinadora hace lo mismo en el interior. Entre estas máquinas ha existido una estrecha asociación desde la primera revolución industrial, y la máquina de Wilkinson hizo posible la construcción de la máquina de vapor. El ulterior desarrollo de tornos y mandrinadoras se produjo en respuesta a las necesidades de las industrias textil y de los ferrocarriles.

En el siglo XIX se inventaron máquinas herramientas de alta velocidad más ligeras y especializadas. Hasta el decenio de 1860 la fabricación en serie de piezas mecánicas se concentró sobre todo en la producción de artículos militares. La primera utilización extensa de los tornos revolver, equipados con un portaherramientas giratorio de hasta ocho herramientas

¹¹ K. R. Gilbert: "Machine tools", en A History of Technology, vol. 4, ed. C. Singer et al., Oxford University Press, 1958.

 Recuadro 1: Principales máquinas herramientas

<u>De cortar metales</u>	<u>De conformar metales</u>
Tornos	Prensas
Fresadoras	Cizallas mecánicas,
Taladradoras	recortadoras de chapa,
Mandrinadoras	y ranuradoras
Rectificadoras	Dobladoras y plegadoras
Centros de maquinado	Prensas de forjar
Mag. de tallar engranajes	y de estampar
Brochadoras	
Bruñidoras y pulidoras	
Cortadoras físicoquímicas	

En el cuadro 2 figuran los resultados de inventarios realizados en los Estados Unidos (1988), el Japón (1987), el Reino Unido (1987) y Francia (1986). Las industrias de tecnología mecánica de los Estados Unidos (que incluye el subsector de máquinas herramientas), cuentan con la mayor población de máquinas herramientas, con el 50 por ciento de la capacidad total instalada. La situación es parecida en el Reino Unido (el 43,1 por ciento) y Francia (el 25,6 por ciento). En el Japón, las industrias de equipo de transporte utilizan el 34,6 por ciento de las máquinas herramientas, mientras que la participación de ese sector es del 16 por ciento en el Reino Unido y en los Estados Unidos y del 24 por ciento en Francia.

cortantes, así como la del torno automático, destinado a la producción de gran volumen, tuvo lugar en los Estados Unidos en el decenio de 1840¹². La guerra de Secesión (1861-1865) fomentó su difusión, y para el decenio de 1870 se utilizaban en Europa de manera generalizada. Esta evolución tecnológica fue acompañada de un cambio en la organización de la producción, con la introducción del sistema americano, que hacía hincapié en "fabricar" en contraste con el sistema inglés basado en "hacer"¹³; en este nuevo sistema el rasgo técnico esencial era la exacta duplicación utilizando rasgos comunes, herramientas y calibres.

¹² La fábrica de S. Colt, construida en 1853, era la mayor del mundo en su género.

¹³ Véase el capítulo III del presente documento.

Cuadro 2: Existencias de máquinas herramientas en los EE.UU., el Japón, el Reino Unido y Francia

	<u>Estados Unidos 1988</u>		<u>Japón 1987</u>		<u>Reino Unido 1987</u>		<u>Francia 1986</u>	
	<u>número</u>	<u>porcentaje</u>	<u>número</u>	<u>porcentaje</u>	<u>número</u>	<u>porcentaje</u>	<u>número</u>	<u>porcentaje</u>
Manufacturas metálicas	320699	13,8	61207	7,7	173497	22,9	203427	33,1
Tecnología mecánica	1157009	49,7	247231	31,2	326077	43,1	157484	25,6
Electricidad, electrónica	425208	18,3	133175	16,8	105829	14,0	71111	11,6
Equipo de transporte	378993	16,3	274060	34,6	123733	16,4	147622	24,0
Equipo de precisión	28682	1,2	42994	5,4	27247	3,6	34436	5,6
Otros	16190	0,7	34328	4,3		0,0		0,0
Total	2326781	100,0	792975	100,0	756383	100,0	614080	100,0

Fuentes: Preparado a partir de los inventarios nacionales de máquinas herramientas publicados por Ministerio de Comercio e Industria (Japón)
Metalworking Production (Reino Unido)
 Bureau d'Informations et de previsiones économiques (Francia)
American Machinist (EE.UU.)

Durante la segunda mitad del siglo XIX, la invención de varios aparatos de uso civil como las máquinas de coser, las máquinas de escribir, las bicicletas y finalmente los automóviles, que exigían un grado mucho mayor de precisión y disfrutaban al mismo tiempo de un ritmo muy elevado de demanda, hicieron útil, si no indispensable, la intercambiabilidad de las máquinas herramientas¹⁴. De manera que el nuevo sistema de producción para la fabricación de armas de fuego se adaptó rápidamente a la de bienes de consumo no perecederos¹⁵.

Debido a su capacidad para un elevado volumen de producción, la fresadora se convirtió en la primera máquina herramienta que se

¹⁴ David Landes: The unbound Prometheus, technological change and industrial development in Western Europe from 1750 to the present, Cambridge University Press, 1972, págs. 308-310.

¹⁵ Ese fue especialmente el caso de los tornos revólver (husillo multiherramienta) y de las nuevas taladradoras y mandrinadoras.

utilizó en gran escala en la fabricación de maquinaria¹⁶. Durante la guerra de Secesión aumentó su demanda y más adelante se convirtió en equipo normalizado para la fabricación de máquinas de coser. La operación de rectificado exigía muchísimo tiempo y retrasaba considerablemente los procesos de fabricación. Hasta la aparición de las rectificadoras se decía¹⁷ que las herramientas manuales podían competir con la máquinas herramientas en cuanto a precisión. La rectificadora universal se inventó en 1875 y su difusión estuvo íntimamente relacionada con la demanda creciente de bicicletas (cojinetes de bolas) y la producción de automóviles. Antes del automóvil no la había exigido un trabajo tan complicado en grandes cantidades. El desarrollo de la industria del automóvil tuvo consecuencias muy importantes para la máquina herramienta (rectificadoras de ejes de levas). El descubrimiento del acero rápido, de gran velocidad de corte, que mejoró en gran medida la capacidad de cortar, obligó a volver a diseñar la máquina herramienta y desembocó en la máquina para tallar engranajes introducida en 1890 para cortar simultáneamente todos los dientes de un engranaje. Entre otras máquinas herramientas de cortar metales figuran las serradoras, brochadoras y puñadoras.

Entre los métodos no tradicionales más utilizados para dar forma al metal figura el maquinado por descarga eléctrica (EDM), que aplica los efectos desintegradores de un arco eléctrico al metal. Mediante un control exacto de la entrada de energía eléctrica, se pueden maquinar formas intrincadas con tolerancias mínimas. Se usa para fabricar troqueles y moldes y para hacer agujeros muy finos en aceros de aleación muy resistentes, así como para lograr formas complejas. La maquinización electroquímica (ECM) es un proceso muy rentable que elimina varias operaciones lentas y permite el maquinado de aleaciones muy duras utilizadas en industrias como la aeroespacial (componentes de titanio usados en los motores a reacción). La industria del automóvil utiliza la ECM para el desbarbado de engranajes y bielas. Entre las aplicaciones del maquinado por vibración ultrasónica figura la realización de agujeros no circulares en el vidrio, la cerámica y otros materiales duros no conductores. El maquinado por plasma proporciona velocidades de corte muy altas mientras que la mecanización por haz láserico se ha usado sobre todo en microelectrónica y en soldaduras de precisión. El mecanizado por haz de electrones se ha limitado a la realización de agujeros muy finos; el pulido se utiliza para la terminación interna de tubos largos y el mandrinado de agujeros profundos para la producción de taladros en los que la longitud es mayor que el diámetro.

¹⁶ Bertrand Gille: Histoire des Techniques, La Pleiade, Gallimard, 1978, pág. 836.

¹⁷ Bertrand Gille, ibidem, pág. 836.

Cuadro 3: Máquinas herramientas de cortar metales en uso

(en unidades)	<u>Reino Unido</u>	<u>Estados Unidos</u>
	1986	1988
Tornos	164221	404434
Taladradoras	124011	285006
Fresadoras	80250	249106
Rectificadoras	79780	434847
Serradoras y cortadoras	55308	204654
Mandrinadoras y fresadoras	30546	
Roscadoras y aterrajadoras	16823	41483
Cepilladoras, mortajadoras-limadoras	12305	
Talladoras de engranajes	11659	29509
Centros de maquinado	10354	53585
Bruñidoras y pulidoras	9269	48537
Cortadoras fisicoquímicas	8772	19306
Unidades de construcción y transferencia	4518	48060
Brochadoras	3799	16698
Total de MH de cortar metales	611615	1870753

Fuentes: Preparado a partir de los inventarios de máquinas herramientas publicados por:
Metalworking Production (Reino Unido)
American Machinist (EE.UU.)

Cuadro 4: Máquinas herramientas de conformar metales en uso

	<u>Reino Unido</u>		<u>Japón</u>
	1986		1987
Dobladoras y plegadoras	30466	Prensas mecánicas	69710
Prensas hidráulicas	19872	Prensas hidráulicas	36295
Prensas neumáticas	5881	Dobladoras	11714
Prensas de energía mecánica	39595	Cizalladoras	11522
Recortadoras y cizalladoras	32658	Prensas de forjar	8066
Prensas de forjar y de estampar	3479	Máquinas para conformar alambre	6145
Otras	13505	Otras	44937
Total de MH de conformar metales	145456	Total de MH de conformar metales	192038

Fuentes: Preparado a partir de los inventarios nacionales de máquinas herramientas publicados por:
Ministerio de Comercio e Industria (Japón)
Metalworking Production (Reino Unido)

2.1.2 Máquinas herramientas de conformar metales

Estas máquinas dan forma a los metales sin utilizar herramientas cortantes, mediante presión, forjado, torsión, cizallamiento, etc. Las máquinas conformadoras más usadas son las prensas, que suman casi la mitad de este tipo de máquinas herramientas y que se diferencian por el sistema de transmisión de energía (hidráulicas, mecánicas o neumáticas). En el cuadro 4 se recogen las principales categorías de máquinas herramientas de conformar metales en el Japón y en el Reino Unido.

2.1.3 Evolución de la estructura de la demanda

La división del mercado entre máquinas herramientas de cortar metales (el 75 por ciento de la demanda total) y de conformar metales (el 25 por ciento) ha permanecido invariable a lo largo del tiempo; se ha modificado, sin embargo, la estructura por subgrupos.

En las figuras 1 y 2 se recoge la evolución del valor y del volumen de la demanda mundial en 1980 y en 1988¹⁸. Debido a la invención de las máquinas plurifuncionales, la proporción de la demanda de tornos, taladradoras y mandrinadoras ha descendido levemente. Por otra parte han aumentado en gran medida las ventas de centros de maquinado y de EDM.

2.2 Clasificación según el medio de control

Tomando como criterio el medio de control, se distingue entre máquinas herramientas convencionales, automáticas y de control numérico.

2.2.1 Máquinas herramientas convencionales

A estas máquinas las controla un mecánico especializado que estudia un plano y dirige manualmente el funcionamiento de acuerdo con su conocimiento de la máquina y su interpretación del dibujo. La retroinformación por parte de las máquinas se consigue por conducto de las manos, los oídos y los ojos del operador. A lo largo del siglo XIX, los avances técnicos en el maquinado,

¹⁸ Adaptado de WS Atkins Management Consultants: Strategic study on EC machine tool sector, mayo de 1990; informe presentado a la Comisión de las Comunidades Europeas.

Figura 1: Demanda mundial por tipos de máquina, en valor

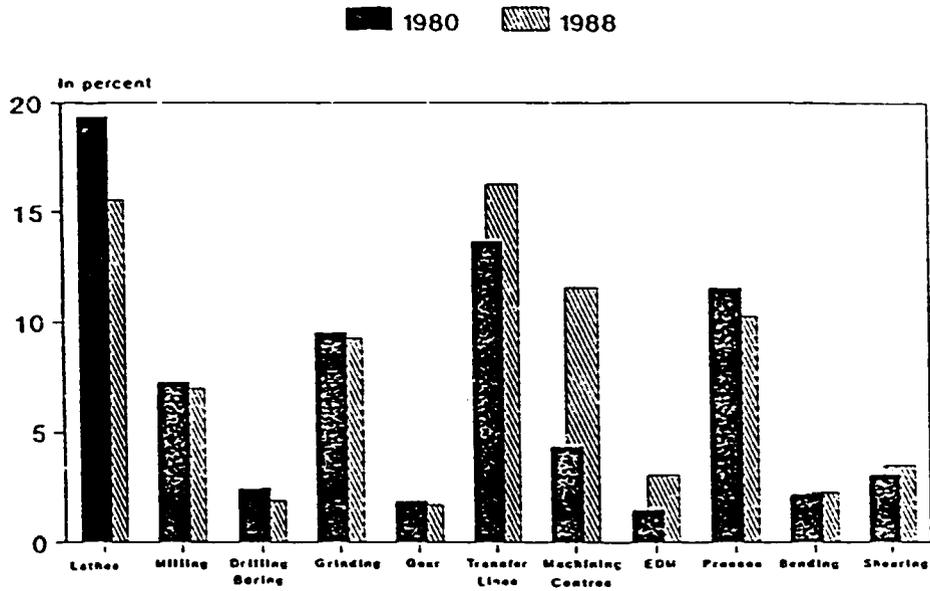
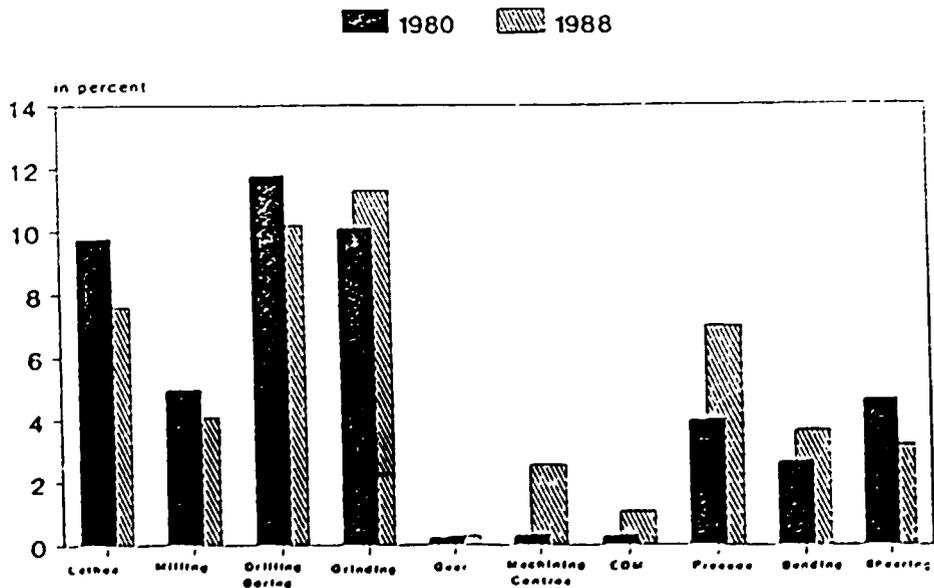


Figura 2: Demanda mundial por tipos de máquina, en volumen



Source: VDW/IFO Institute in EEC's study

conseguidos por mecánicos innovadores, incorporaron cierto grado de inteligencia a las máquinas herramientas —alimentación automática, paradas, levas mecánicas, etc—, convirtiéndolas parcialmente en autoejecutoras. Estos dispositivos evitaban determinados trabajos manuales al mecánico, que retenía sin embargo el control sobre el funcionamiento de la máquina. Con ayuda de un complejo herramental, dispositivos para mantener la pieza en la adecuada posición de corte, y plantillas para guiar el recorrido de la herramienta cortante operadores menos expertos eran capaces de utilizar las máquinas para cortar piezas después de haber sido adecuadamente preparadas por una persona más diestra. La fuente de la inteligencia, sin embargo, seguía siendo el mecánico cualificado del taller.

Pese a la difusión de las máquinas de control numérico (CN), nueve de cada diez máquinas herramientas instaladas en las industrias de maquinaria de los países industrializados siguen siendo convencionales¹⁹.

2.2.2 Máquinas herramientas automáticas

Gracias a la incorporación de nuevos materiales a las herramientas utilizadas a comienzos del siglo XX, fue posible aumentar la velocidad de trabajo y esto permitió la introducción de máquinas herramientas automáticas, que tienden a hacerse con la finalidad especial de llevar a cabo una secuencia específica de operaciones en las que se utilizan al máximo dispositivos y herramientas.

La automatización, una de las principales innovaciones ligadas a la segunda guerra mundial, se desarrolló y progresó durante el decenio de 1950 en dos direcciones distintas: la máquina de transferencia y la máquina herramienta de control numérico.

La máquina de transferencia es un sistema combinado de elaboración y manipulación de materiales, con varias máquinas herramientas especiales, vinculadas entre sí a lo largo de una línea de transferencia. La pieza sobre la que se trabaja, de ordinario un bloque de motor, viaja sobre una cinta transportadora, y la máquina de transferencia puede realizar cualquiera de las principales operaciones de cortar metales. Las

¹⁹ Véase el capítulo III del presente documento.

líneas de transferencia se adaptan bien a un tipo fordiano²⁰ de organización fabril, y sus principales aplicaciones se encuentran en la fabricación en serie de bienes de consumo no perecederos. Estas líneas, sin embargo, resultan caras, y su adquisición sólo se justifica para una producción muy elevada. Los niveles más altos de automatización exigen lotes de producción todavía mayores en el caso de máquinas de finalidad única; a esta situación se la calificó como el "dilema de la productividad"²¹.

Menos del 20% del total de la producción de las industrias de maquinaria corresponde a la fabricación en serie. La mayoría de los productos se fabrican en partidas pequeñas²². En los talleres de ingeniería mecánica se utilizan máquinas herramientas polivalentes de baja calidad y alta productividad (máquinas de desbastar) o de calidad alta y productividad baja (máquinas de terminado). Estos talleres artesanos de funcionamiento manual se caracterizan por prolongados tiempos de espera, grandes inventarios de fabricación en curso y escasa utilización de las máquinas. El problema de la automatización de las máquinas herramientas era autoactivarlas sin que perdieran por ello su polivalencia. La solución consistió en perfeccionar un mecanismo que transformara señales eléctricas en movimientos de la máquina y en encontrar un medio en el que se pudiera almacenar la información y a partir del cual fuese posible reproducir las señales.

2.2.3 Máquinas herramientas de control numérico²³

El acontecimiento tecnológico más importante no han sido los adelantos en el mecanizado per se, sino en el control y en el entorno de las máquinas herramientas. A partir del CN (véase el recuadro 2) estas tecnologías de automatización programable han

²⁰ El sistema de Ford está asociado a la organización de la fabricación en serie de productos normalizados para un mercado relativamente homogéneo.

²¹ W. Albernathy: The productivity dilemma: roadblock to innovation in the automobile industry, John Hopkins University Press, Baltimore, 1978.

²² En los Estados Unidos se puso de manifiesto, mediante un estudio, que aproximadamente el 75 por ciento de todas las piezas maquinadas se producían en partidas de menos de cincuenta unidades, con muy baja utilización de la capacidad.

²³ Se encontrarán más pormenores sobre tendencias tecnológicas en el capítulo III del presente documento.

utilizado computadoras para controlar el funcionamiento de las máquinas. La primera máquina herramienta controlada por computadora se inició como un proyecto patrocinado por el Estado que se llevó a cabo en 1949 en el laboratorio de servomecanismos del Massachusetts Institute of Technology²⁴. Las actividades del Japón en este sector se iniciaron en el decenio de 1950 con la fresadora. En la automatización intervenían dos procesos distintos: la manera de transmitir información desde un medio de almacenamiento en cinta magnética hasta la máquina para hacer que las mesas y las herramientas cortantes se movieran de la forma deseada, y la manera de llevar la información hasta el medio de almacenamiento. Se elaboraron controles de máquinas a partir de la tecnología del control de armas de fuego cuando la preparación de cintas magnéticas era todavía una novedad²⁵. La primera solución viable fue la "reproducción de un registro": un mecánico hacía una pieza y los movimientos de la máquina que manejaba se grababan en una cinta magnética. Terminada la primera pieza, podían hacerse piezas idénticas reproduciendo la grabación. La segunda solución, el control numérico, se basaba en una filosofía de la fabricación completamente distinta. Primero se expresaban en forma matemática las especificaciones de una pieza. A continuación se definía una descripción matemática de la trayectoria deseada para la herramienta cortante, a partir de la cual se elaboraban instrucciones discontinuas para el movimiento controlado de la máquina herramienta. Estas instrucciones se traducían a un código numérico y se almacenaban en cinta magnética. De esta manera la elección del CN evitaba la intervención del mecánico como fuente de inteligencia de la producción.

Mientras que en una máquina herramienta convencional el operador pasa directamente a la máquina la información de control, que a su vez la transmite a la pieza que se está trabajando, con participación, por lo tanto, de los límites del hombre y de la máquina (tiempo, rigidez de movimientos, repetición de la operación), en una máquina herramienta de CN esa información se traduce al lenguaje simbólico escrito del microprocesador que elaborará los programas de trabajo detallados de manera que la pieza se fabrique de acuerdo con las especificaciones de diseño (véase el recuadro 3). Mediante un sencillo cambio de

²⁴ Los trabajos de perfeccionamiento de las MHCN se iniciaron en el Reino Unido en 1950, y se prosiguieron en Francia y en la República Federal de Alemania hacia 1955.

²⁵ David F. Noble: "Social choice in machine design: the case of the automatically controlled machine tools", en The Social Shaping of Technology, editado por Donald Mackenzie y Judy Waschman, Open University Press, 1985.

Recuadro 2: CN: principales definiciones

i) Maquinado por control numérico (CN). Un proceso de fabricación controlado de manera repetitiva fija, mediante una forma numérica de insumo.

ii) Control numérico mediante computadora (CNC). Un proceso en el que una máquina herramienta utiliza controles de computadora para almacenar y llevar a cabo instrucciones de funcionamiento (por ejemplo, selección de herramientas cortantes, régimen de velocidad y de alimentación), con carga y supervisión manuales. Un sistema de CNC es básicamente un sistema de CN que es flexible porque una computadora reemplaza el control lógico fijo que constituye el corazón de un sistema de CN y puede, por lo tanto, ser programada para ajustarse a diversos cambios relacionados con el tipo de máquina o con su utilización.

iii) Control numérico directo (CND). Un sistema de CND estriba en la vinculación de varias máquinas de CN a una computadora central que, en su forma más sencilla, puede ser muy poco más que una secuenciadora y banco de datos para almacenar programas para piezas y, en la más compleja, ampliarse para incluir la preparación inicial y control de funciones de distintas máquinas.

iv) El centro de maquinado con indización automática del mecanismo de cambio de herramientas es uno de los resultados más importantes del CN. Tradicionalmente las piezas eran móviles y se trasladaban de una máquina herramienta a otra; en un centro de maquinado, la pieza está fija y los cabezales de las herramientas son móviles. Los centros de maquinado tienen sistemas automáticos de cambio de herramientas que permiten seleccionar de 20 a 100 herramientas que mandrinan, taladran, fresan y aterrajan. Con un cabezal giratorio y mesas, un centro puede trabajar en muchas superficies de una pieza en una sola colocación.

v) El sistema flexible de maquinado (FMS) es un complejo, integrado y controlado por computadora, de máquinas herramientas de CN, material automatizado y dispositivos para manejar herramientas y equipo automatizado de medición y de prueba que, con un mínimo de intervención manual y tiempo de cambio muy breve, puede elaborar cualquier producto perteneciente a determinadas familias concretas dentro de su capacidad declarada y de acuerdo con un plan determinado previamente.

vi) La fabricación integrada mediante computadora es un concepto para designar a una fábrica totalmente

automatizada en la que todos los procesos están integrados y controlados por un sistema CAD/CAM (diseño auxiliado por computadora/fabricación asistida por computadora). Consiste en equipo físico y programas informáticos que juntos participan en el diseño del producto, la planificación de la producción, el control de la producción, el equipo de producción y el proceso de producción.

instrucciones, se consigue que la máquina pase de fabricar una pieza a fabricar otra. La máquina herramienta de CN permite posicionamiento automático de componentes, selección de velocidad y control del movimiento de la herramienta. En centros de maquinado y centros de torneado, se selecciona la herramienta adecuada que luego se inserta y se cambia. Las células de fabricación flexible incluyen la manipulación automática de la pieza que se está trabajando, mientras que los sistemas de fabricación flexible incluyen el traslado de la pieza de una máquina a otra.

La elección del nivel de automatización se hace en función del promedio de volumen de trabajo y del grado de flexibilidad necesario, como se puede ver en la figura 3²⁶.

Los usuarios interesados en la fabricación de grandes cantidades de un reducido número de piezas distintas, elegirán máquinas especializadas (por ejemplo, la línea de transferencia). Sin embargo, cuando se fabrican muchas variantes de una pieza en cantidades muy pequeñas, resulta más económico elegir máquinas herramientas convencionales o MHCN independientes. Las presiones que modifican las necesidades tanto de los usuarios de la máquina herramienta especializada como de la universal están desembocando en la necesidad de disponer de una capacidad de fabricación que combine la flexibilidad de la maquinaria universal y la competitividad en los costos propia del equipo de fabricación en serie. Se han identificado dos tipos diferentes de solución a esas necesidades: el FMS (sistema de fabricación flexible) especializado, como la línea de transferencia de usos múltiples, y el FMS universal, compuesto de máquinas universales de control numérico mediante computadora (CNC).

²⁶ De Hermann Traub GmbH, Maschinen Fabrik, en OCDE, Technology and international competitiveness: an interpretation of the relationship in the machine tool industry, París, 1984, pág. 40.

Recuadro 3: Trayectoria tecnológica

En el siguiente cuadro se muestra cómo se han automatizado y manejado por computadora las distintas operaciones a lo largo del tiempo en muchas generaciones de máquinas

Operaciones manuales (M) y automatizadas (A)

	maquinado manual	maquinado semi-automatizado	CNC	centro de maquinado	FMS
Transferencia	M	M	M	M	A
Carga	M	M	M	M	A
Posicionamiento de componentes	M	M	A	A	A
Movimiento de corte	A	A	A	A	A
Manipulación de herramientas	M	A	A	A	A
Selección de herramientas	M	M	M	A	A
Descarga	M	M	M	M	A

Adaptado de Camagni: *Il Robot*, Lombardo, Milán, 1987

3 Características de la industria de máquinas herramientas

3.1 Una industria madura

La industria de máquinas herramientas posee algunas de las características de una industria madura²⁷: aumento lento de la producción, tasa relativamente baja de innovación del producto y competencia internacional cada vez mayor por parte de países en desarrollo.

La industria se basa en tecnologías maduras de fabricación mecánica con escasas excepciones (por ejemplo, corte con láser) y el progreso tecnológico es evolutivo más que revolucionario. El nivel de inversión en investigación y desarrollo se sitúa por término medio entre el 4 y el 5 por ciento de los ingresos totales anuales: los fabricantes que producen máquinas muy personalizadas

²⁷ Para una definición de industria madura véase OCDE: Industry revival through technology, París, 1987.

Figura 3: De convencional a automática

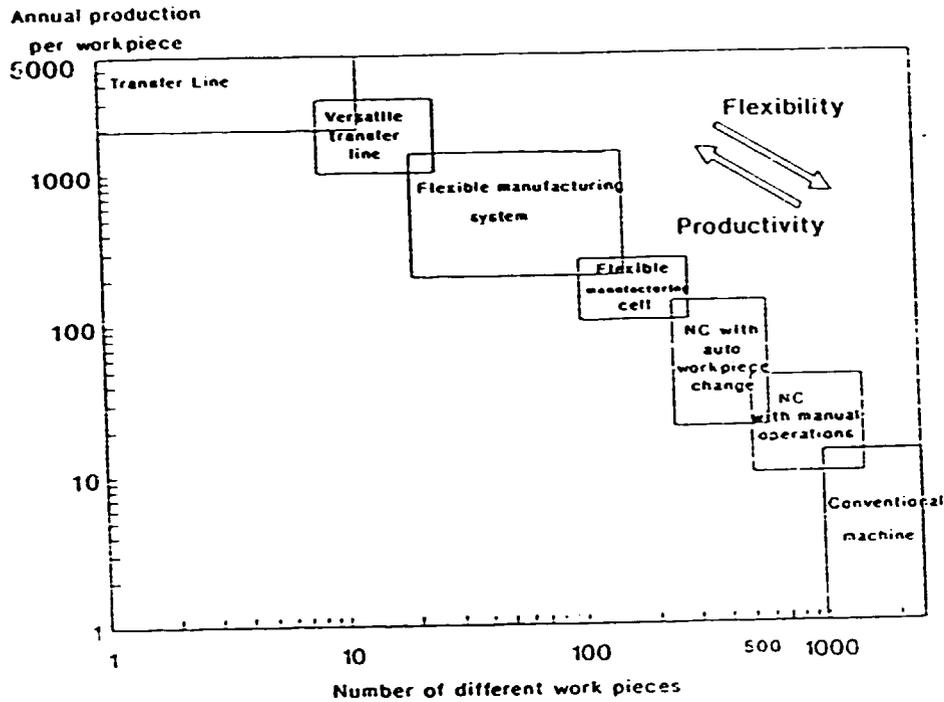
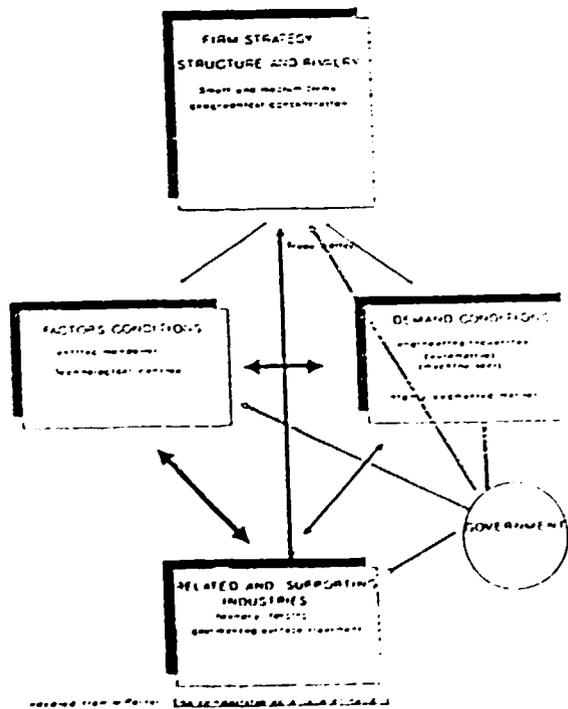


Figura 4: El rombo de la industria de máquinas herramientas



asumen un nivel muy alto de elaboración del producto por cada máquina vendida, mientras que las compañías que intervienen en mercados de volumen fabrican productos con ciclos vitales relativamente breves y tratan de adelantarse a sus competidores a corto plazo por medio de la investigación y el desarrollo. La industria toma prestadas innovaciones tecnológicas conseguidas por otras industrias (sobre todo la electrónica). Sin embargo, y en contraste con otras industrias maduras, la especialización de la fuerza de trabajo requerida tiende a situarse por encima del nivel medio.

3.2 Volumen económico

La participación de la industria de máquinas herramientas en el PIB es inferior al 1 por ciento en la mayoría de los países industrializados (cuadro 5), mientras que su participación en el valor añadido se sitúa entre el 1 y el 3 por ciento. En el Japón, las máquinas herramientas suponen el 1,2 por ciento de la producción de la industria de maquinaria y equipo.

A esta industria se la conoce por su naturaleza cíclica, que es el resultado de los efectos multiplicadores de los pedidos y anulaciones de los clientes en respuesta a los ciclos de sus mercados propios. En los periodos en que se utiliza plenamente la capacidad de producción, una variación del 10 por ciento de la demanda de bienes de consumo puede provocar una variación cercana al 40 por ciento de la demanda de bienes de capital²⁸. Estos ciclos tienen consecuencias devastadoras para el empleo. En los Estados Unidos los puestos de trabajo en la industria de máquinas herramientas de cortar metales han oscilado entre 45.000 y 85.000 durante los dos últimos decenios; en Alemania (ex RFA), donde la industria emplea a 100.000 trabajadores, se dan variaciones menos pronunciadas. Esta característica disuade a muchas personas capacitadas, que no se incorporan a la industria debido a la elevada probabilidad de despidos periódicos.

3.3 Fronteras cambiantes: de mecánica a mecatrónica

Hasta el decenio de 1970 se podía considerar a la industria de máquinas herramientas como subsector de la industria de maquinaria, exceptuando la eléctrica. La introducción de la electrónica está modificando las "fronteras" de la industria y ha alterado las actividades de las empresas que, en su mayor parte, practican ahora un considerable aprovisionamiento de componentes,

²⁸ B. Real: Technical Change and Economic Policy, the machine tool industry, OCDE, París, 1980.

Cuadro 5: La industria de máquinas herramientas en determinados países

	Valor añadido en porcentaje del PIB	Número de empresas	Puestos de trabajo en 1988	Producción en 1989 (en millones de dólares EE.UU.)
<u>Países industrializados</u>				
Japón	0,27	*111	34300	9817
Alemania (RFA)	0,65	n.d.	94000	6859
EE.UU.	0,06	500	55000	3270
Italia	0,28	303	15920	3067
Suiza	1,00	137		1797
Reino Unido			23000	1597
Francia			10005	1081
España		120	7700	795
Suecia	0,23	33	3000	403
<u>Países en desarrollo</u>				
Taiwán (China)		210	10000	1016
China		**200		832
Rep. de Corea		47	18000	760
Brasil		110		458
India		***319	60000	262
Argentina		36		38

Fuentes: Estadísticas de diferentes asociaciones manufactureras

* Miembros de las Asociaciones japonesas de fabricantes de máquinas herramientas

** Sólo grandes empresas

*** Miembros de la Asociación india de fabricantes de máquinas herramientas

en especial sistemas de control electrónico, al mismo tiempo que contratan a especialistas en computadoras para que les resuelvan los problemas de programas informáticos. Una ilustración de este cambio se encuentra en la lista de las empresas de máquinas herramientas más importantes del mundo, que sitúa a FANUC (Japón) como la mayor en 1988 (cuadro 7). En general no se considera a FANUC como fabricante de máquinas herramientas, pues se dedica sobre todo a sistemas de CN. Las necesidades de programas para las máquinas herramientas de CN han creado oportunidades para que nuevas empresas se incorporen a la industria²⁹.

En la actualidad cabe considerar a la industria de máquinas herramientas como subsector de la mecatrónica, que es una combinación de ingeniería mecánica y electrónica³⁰. En los próximos años, se producirán otros cambios debido a la introducción de nuevos materiales que reemplazarán al acero en la tecnología mecánica, lo que quizá lleve a la aparición de nuevos actores en esta industria.

3.4 La estructura de la industria

3.4.1 Estructura de mercado

El mercado de máquinas herramientas está sumamente segmentado y pueden coexistir estrategias diferentes dentro de la industria. Se distinguen aproximadamente 30 grandes categorías de máquinas herramientas y una serie de subcategorías relacionadas con procesos específicos. Las tecnologías de fabricación y las características de diseño difieren en cada tipo de productos y eso ha desembocado en la especialización en líneas de productos muy limitadas para mercados concretos. En un estudio realizado por el Boston Consulting Group³¹ se han identificado casi 100 segmentos con muchos subsegmentos (véase el recuadro 4):

²⁹ Figuran entre ellas ALLEN BRADLEY, así como GENERAL ELECTRIC y DIGITAL EQUIPMENT, que está trabajando en régimen de empresa mixta con COMAU.

³⁰ Mick Mc Lean, ed.: Mechatronics, development in Japan and Europe, Frances Pinter (editores), Londres, 1983.

³¹ Boston Consulting Group: Strategic study of the machine-tool industry, febrero de 1985. Este estudio, realizado para la Comisión de las Comunidades Europeas ha sido puesto al día por WS Atkins Management Consultants en asociación con IFO-Institute (RFA), BIPE (Francia), Prometeia (Italia) e Imaco (España): Strategic study on the EC machine-tool sector, Bruselas, mayo de 1990.

 Recuadro 4: Diferenciación de mercados

No existe un solo mercado de máquinas herramientas, sino varios, que se pueden clasificar de acuerdo con tres criterios:

- grado de especialización de la máquina: un torno convencional tiene aplicación universal, mientras que algunas máquinas están hechas a medida para una sola aplicación
- su volumen de producción: un centro de maquinado se adapta bien a la producción de series pequeñas de productos distintos; las máquinas de transferencia se utilizan en la producción de gran volumen
- su mercado potencial: los fabricantes capaces de grandes inversiones obtendrán cierto margen de ventaja en mercados muy amplios.

En el cuadro siguiente se señalan los principales factores competitivos para los tres segmentos principales, así como los principales proveedores y la previsión sobre la evolución de la demanda mundial para esos mercados.

	MAQUINAS CONVENCIONALES	MAQUINAS CN CENTRO DE MAQUINADO UNIVERSAL	CN CONVENCIONAL ESPECIALIZADO
PRINCIPAL FACTOR COMPETTIVO	PRECIO	PRECIO/ TECNOLOGIA	TECNOLOGIA
PRINCIPALES PROVEEDORES	PAISES ASIA ORIENTAL EUROPA ORIENTAL	JAPON	ALEMANIA (RFA)
PARTICIPACION EN MERCADO MUNDIAL	16%	36%	48%
CRECIMIENTO A PLAZO MEDIO	reducción	aumento	aumento

Adaptado de P. Fremaux, R. Touboul: Machine outil 90, les enjeux, BIPE, París, 1990.

- En el nivel más alto, la demanda es sumamente específica y la producción se limita a un número reducido de máquinas: la solidez de las compañías depende de su equipo de diseño y del apoyo postventa. Los gastos generales son relativamente elevados (del 45 al 50 por ciento de los gastos de operación), por lo que dificultan la remunerabilidad durante los descensos cíclicos de la demanda y esto, más que a las grandes empresas, prima a las entidades flexibles de envergadura media.

- Contrariamente, en mercados de volumen para productos normalizados el precio es el factor más importante a la hora de competir. Las empresas tratan de reducir al mínimo los gastos generales, lo que supone una ventaja para las más grandes.

3.4.2 Empresas pequeñas

La industria de máquinas herramientas ha sido una industria ideal para ingenieros y mecánicos con espíritu empresarial que, de manera típica, han fundado pequeñas empresas basadas más en la solidez técnica que en la financiera. La existencia de muchas empresas pequeñas fue posible gracias a las economías de escala conseguidas mediante la fabricación acumulativa de un único modelo³².

A raíz de la incorporación de la tecnología del CN a la industria de máquinas herramientas, empezó a cambiar la escala económica de fabricación. Mediante la introducción del diseño auxiliado por computadora (CAD) y de la fabricación asistida por computadora (CAM) y la instalación de los sistemas de fabricación flexible (FMS), las empresas japonesas han alcanzado volúmenes de producción notablemente más elevados que la mayoría de las europeas y estadounidenses. Mientras que, en el caso de los tornos, se estimaba en 400 unidades anuales el mínimo rentable de escala de producción, en 1985, según el Boston Consulting Group, la producción media mensual de tornos de CNC había alcanzado las 200 unidades³³ en el Japón, frente a 40 en la mayoría de los países europeos. En el caso de la fabricación de máquinas herramientas de CN, los volúmenes de producción son notablemente más elevados en el Japón (recuadro 5).

³² C.F. Pratten: "Economies of scale for machine tool production" en The journal of industrial economics, vol. 19, 1970-1971, págs. 148-165.

³³ La producción de Hitachi Seiko, por ejemplo, asciende a 20 centros de maquinado y 150 grandes centros de torneado al mes, Machinery and Production, abril de 1989.

Recuadro 5: Economías de escala en la producción japonesa de máquinas herramientas de CN

En un estudio de 75 fabricantes que abarca el labrado a máquina e incluye a varios fabricantes relativamente pequeños de máquinas de encargo, la producción media mensual era equivalente a 45 centros de maquinado. La producción de fabricantes de gran volumen es mucho mayor, de ordinario el equivalente a 200 centros de maquinado y en algunos casos hasta 400.

Una empresa mediana, que produce la cuarta parte de lo que fabrican las empresas más importantes, funciona en la actualidad con el siguiente programa:

- | | |
|---|-----------|
| - pequeñas fresadoras de rótula | 50 al mes |
| - tornos de CNC (horizontal, vertical, revólver) | 60 al mes |
| - fresadoras de CNC | 50 al mes |
| - centros de maquinado (horizontal, vertical y de puente) | 50 al mes |

En términos generales, se considera que la escala mínima para un funcionamiento rentable en una fábrica corriente es 60 máquinas mensuales. A esos niveles las empresas japonesas disponen de FMS y FMC. En productos normalizados, el volumen añade la ventaja de poder incorporar las técnicas de Justo-a-tiempo y planificación de necesidades de material (MRP) que han contribuido a la eficiencia de la producción mejorando la gestión de inventario.

Extractado de: Strategic study on EC machine-tool sector, por WS Atkins Management Consultants, Bruselas, mayo de 1990.

La dispersión estructural de la industria (cuadro 6)³⁴ se acentúa más en Europa y en los Estados Unidos. En Italia, según los resultados de un análisis estadístico de conjunto realizado sobre una muestra de 300 fabricantes de máquinas herramientas de un total de 450, el 72 por ciento de las empresas emplean menos de 50 trabajadores. Las empresas con menos de 20 trabajadores suman el 65 por ciento de la fuerza total de trabajo, el 64 por ciento de la producción total y el 57,6 por ciento de las exportaciones de máquinas herramientas. En Alemania (ex RFA), la industria de máquinas herramientas parece más concentrada que en la mayoría de los países industrializados. El tamaño medio de una empresa es cinco veces mayor que en Italia. Aunque puede considerarse que el 70 por ciento de las entidades son empresas medias (con hasta 250 empleados), sólo suman el 22 por ciento de la producción total, mientras que las empresas con más de 500 trabajadores alcanzan el 60 por ciento. Muchas de estas empresas son el resultado de pequeñas entidades familiares y, aunque la mayoría conservan su independencia, un número cada vez mayor se está afiliando a conglomerados industriales. La empresa matriz es a menudo un grupo industrial que integra al fabricante de herramientas en el conjunto de sus actividades y realiza las inversiones necesarias para conservar la primacía tecnológica³⁵.

En el Japón, según el censo industrial de 1982, el 80 por ciento de las empresas dedicadas a la fabricación de máquinas herramientas empleaba menos de 50 trabajadores, utilizaban, en conjunto, el 40 por ciento de la fuerza de trabajo y producían el 21 por ciento del valor añadido. Su productividad, medida por la proporción de valor añadido al empleo, era, como promedio, la mitad de la productividad de las empresas con más de 100 empleados. La industria japonesa de máquinas herramientas tiene más tendencia a subcontratar que los fabricantes europeos y estadounidenses.

En los países de Europa Oriental, la producción se ha concentrado de ordinario en pocas empresas de gran tamaño. En la URSS, la fábrica más grande de máquinas herramientas de cortar metales, propiedad de la empresa SESTORETSK, emplea 4.000 trabajadores en un solo emplazamiento³⁶. En el caso de la ex RDA,

³⁴ Las comparaciones internacionales resultan difíciles dadas las diferencias en la metodología censal de las estadísticas nacionales. En el Japón no se dispone de cifras para empresas con menos de 50 empleados.

³⁵ Comisión del MIT sobre Grupo de trabajo acerca de máquinas herramientas.

³⁶ Machinery and production engineering, 5 de enero de 1990.

Cuadro 6: Estructura de la industria de máquinas herramientas

Tamaño del grupo	Número	%	Puestos de trabajo	%	Valor añadido (%)
<u>Japón 1982</u>					
50-100	517	82,2%	22146	36,4%	22,1%
100-199	60	9,5%	8386	13,8%	15,4%
Más de 200	52	8,3%	30390	49,9%	62,5%
TOTAL	629	100,0%	60922	100,0%	100,0%
<u>Italia</u>					
1-199	290	95,7%	10450	65,6%	63,9%
Más de 200	13	4,3%	5470	34,4%	36,1%
TOTAL	303	100,0%	15920	100,0%	100,0%
<u>Alemania (RFA) 1988</u>					
1-100	174	45,8	6674	7,1	
101-250	91	23,9	13536	14,4	
Más de 250	115	30,3	73790	78,5	
TOTAL	380	100,0	94000	100,0	
<u>República de Corea 1986</u>					
1-100	140	89,7%	2936	49,5%	32,7%
100-199	12	7,7%	1736	29,3%	28,2%
Más de 200	4	2,6%	1263	21,3%	39,1%
TOTAL	156	100,0%	5935	100,0%	100,0%

Fuente: MITI (Japón), UCIMU (Italia)
VDMA (RFA), EPB (República de Corea)

que era, en 1988, el séptimo fabricante del mundo en importancia, la producción de máquinas herramientas se organizaba en cuatro "kombinates" que, en total, daban empleo a 80.000 trabajadores³⁷. En Checoslovaquia, las compañías son grandes y con gran volumen de producción: KOVOSIT, por ejemplo, cuenta con 5.000 trabajadores distribuidos en tres fábricas³⁸.

En los países en desarrollo son más frecuentes los complejos integrados de máquinas herramientas y el conjunto de productos es a menudo muy amplio. Las empresas, al establecerse, tuvieron que enfrentarse con una falta de proveedores nacionales fiables para insumos como forjados y fundidos, que prefirieron integrar. Si la capacidad (así como la capacidad de utilización) es suficientemente elevada, la rentabilidad de una fábrica integrada será aceptable; sin embargo, si la capacidad de utilización es baja, la fábrica no se aprovechará de las economías de escala en esas instalaciones y será incapaz de repartir el costo de artículos como, por ejemplo, equipos de pruebas, entre una producción suficientemente grande.

En el Brasil, en 1988, había alrededor de 100 fabricantes de máquinas herramientas y a los cinco más importantes les correspondía un tercio de la producción total; en la Argentina dos empresas acumulaban el 57 por ciento de la producción de tornos, y tres, de un total de diez, fabricaban el 44 por ciento de las fresadoras³⁹. En la República de Corea, las cuatro empresas principales fabricaron en 1986 la cuarta parte de la producción nacional, mientras que en Taiwán, provincia de China, entidades pequeñas se responsabilizan de la mayor parte de la producción.

3.4.3 Empresas principales

"Si todos los empleados de la industria estadounidense de máquinas herramientas trabajasen para una sola empresa, esa empresa se situaría por su tamaño en quincuagésimo lugar entre las corporaciones industriales de los Estados Unidos": de acuerdo con los criterios de la industria, los fabricantes más importantes de máquinas herramientas no son grandes empresas.

³⁷ Comisión Económica para Europa, "Revisión anual, 1988.

³⁸ Machinery and production engineering: "Curtain raising build programmes", 1 de septiembre de 1989.

³⁹ P. Erber: The electronics complex and industrial automation: a comparison between Argentina and Brazil, ONUDI, diciembre de 1989.

Cuadro 7: Principales empresas de máquinas herramientas en todo el mundo

En millones de dólares EE.UU.		<u>Ventas de MH</u>		<u>Total de ventas</u>	<u>Puestos de</u>
		(en millones de dólares EE.UU.)		(en millones de dólares EE.UU.)	<u>trabajo</u>
		1989	1988	1988	
YAMAZAKI MAZAK CORP	Japón	1183	796	796	3000
FANUC LTD	Japón	1079	928	1055	1770
LITTON IND INC	EE.UU.	730	600	4863	55000
AMADA CO	Japón	1153	891	1019	1509
CROSS AND TRECKER	EE.UU.	456	428		4100 *
COMAU SPA	Italia		380		3500
OKUMA MACHINERY WORKS	Japón	665	551	592	1753
CINCINATI MILACRON	EE.UU.	424	361	860	8400 *
MORI SEIKO CP	Japón	635	488		1570
TOYODA MACHINE WORK	Japón	466	418	1045	4367
DECKEL GROUP	RFA		350		
INGERSOLL MINING	EE.UU.	366	345	400	4500
GILMEISTER	RFA		313		
KOMATSU MTD	Japón	474	398	5580	15801
MAKINO MILLING MACHINERY	Japón	318	270		951
AIDA ENGINEERING	Japón		247		684
AMADA SONOIKE MFG	Japón	390	307		537
TRUMPF GMBH	RFA	340	302		2122
HITACHI SEIKI	Japón	346	275		1237
FUJI MACHINE CO	Japón	392	241		717
TRAUB	RFA		234		
MAHO AG	RFA		232		1799
HUELLER HILL	RFA		223		
THE 600 GROUP	Rein: Unido		1991		
GLEASON WORKS	RFA				3000
SODICK CO	Japón				473
AMCA INTERNATIONAL	Canadá				9985
MAZDA MOTOR	Japón				28423
AMADA WASINO MACHINE	Japón		287		404
MITSUBISHI HEAVY	Japón				46690
TOSHIBA MACHINE	Japón	359	256		3525
NIPPEI TOYAMA	Japón				1166
OKUMA & HOWA MACHINERY	Japón				570
CITIZEN WATCH	Japón	338			3348
MANDELLI IND SPA	Italia				710
WEAN UNITED	EE.UU.				788
TSUGAMI CORP	Japón				831
OSAKA KIKO	Japón				1032
MONARCH MACHINE TOOL	EE.UU.				913
TAKISAWA MACHINE TOOL	Japón				439
OKAMOTO MACHINE TOOL	Japón				544
ENSHU LTD	Japón				969
MET COIL SYSTEM	EE.UU.				400
NEWCOR INC	EE.UU.				689
BROTHER IND	Japón				5165
HURCO COMPANIES	EE.UU.				400
NIIGATA ENGINEERING	Japón				3125
HOWA MACHINERY	Japón				2287
BROWN AND SHARPE MFG	EE.UU.				1891

* Incluidas ventas por operaciones en extranjero

Fuente: American Machinist, agosto de 1990, agosto de 1989

En el cuadro 7 se recoge una lista con las principales empresas por el volumen mundial de ventas de máquinas herramientas y de equipo estrechamente relacionado con ellas, como el de control numérico, con especificación de las ventas totales de cada una así como de los puestos de trabajo⁴⁰. Con exclusión de FANUC (fabricante de sistemas de control), las ventas de la mayor empresa, YAMAZAKI, representan el 1,8 por ciento de las ventas mundiales de máquinas herramientas⁴¹.

Las empresas japonesas dominan la lista: en conjunto son mucho más grandes que la mayoría de las europeas o estadounidenses y logran considerable sinergia con otras partes de su actividad industrial. Existen algunas grandes empresas de propiedad familiar (por ejemplo, YAMAZAKI MAZAK), pero la mayoría tienen acciones que se cotizan en el mercado bursátil o son filiales de grupos más amplios. La empresa más importante es FANUC, a la cabeza del mundo en controles numéricos por computadora. AMADA es básicamente una empresa de tecnología y comercialización cuyas líneas de productos incluyen varios tipos de máquinas fabricadas en el extranjero. AMADA posee el 19 por ciento de AMADA SONOIKE y el 20 por ciento de AMADA WASINO, que son industrias manufactureras. YAMAZAKI MAZAK es la primera entre las empresas que fabrican exclusivamente máquinas herramientas. OKUMA MACHINERY WORKS fabrica sus propios sistemas de CN para sus máquinas y comercializa algunas máquinas por conducto de la organización AMADA; sus principales líneas de producción son tornos y centros de maquinado. MORI SEIKO reúne la mayoría de su producción en una sola fábrica en el Japón, altamente automatizada. TOYODA MACHINE es propiedad de TOYOTA MOTORS; las máquinas herramientas representan el 40% del total de sus ventas, que son, en su mayor parte, piezas de automóviles. Una pequeña parte de KOMATSU, que es básicamente un fabricante de equipo pesado, se consagra a la producción de prensas pesadas.

LITTON INDUSTRIES INC., con 55.000 puestos de trabajo, es un conglomerado diversificado que también incluye LITTON INDUSTRIAL AUTOMATION SYSTEM (máquinas herramientas y sistemas de manipulación de unidades). CROSS AND TRECKER es también un conglomerado que incluye varias empresas (CROSS, COLONIAL BROACH, DRILLUNIT, CROSS LASALLE, WARNER & SWASEY TURNING, WIEDEMAN,

⁴⁰ Durante el período de información fueron muchas las dificultades para establecer las comparaciones, debido, entre otras cosas, a las fluctuaciones monetarias y al hecho de que una empresa que es sobre todo fabricante se colocara junto a otra que se dedica básicamente a la distribución.

⁴¹ En el caso de la industria electrónica, a la mayor empresa, IBM, le corresponde el 15 por ciento de la producción electrónica mundial, Electronics Business, julio de 1990.

SHEFFIELD, TYCHOWAY, BEARINGS, ROBERS CORP AND ALLIANCE AUTOMATION). Las ventas de máquinas herramientas representan sólo el 41 por ciento de las ventas totales de CINCINATTI MILACRON (que estuvo a la cabeza del mundo en máquinas herramientas).

COMAU SPA, la empresa italiana y europea más importante, es propiedad del grupo FIAT. En Alemania (ex RFA) la empresa de mayores proporciones es DECKEL, seguida por TRUMPF, TRAUB y MAHO; algunas importantes empresas de maquinaria participan activamente en el sector de máquinas herramientas (MAN, INDUSTRIE WERKE).

La producción de unidades de control electrónico para máquinas herramientas está muy concentrada. FANUC asegura controlar el 75 por ciento del mercado japonés y el 50 por ciento del mundial; le sigue SIEMENS, que fabrica entre 15.000 y 20.000 unidades de control, PHILIPS, BOSCH y NUM⁴² que están igualados con 4.000 anuales⁴³. Han aparecido, sin embargo, proveedores de unidades de control a bajo costo como AURKI (España) y algunos fabricantes de máquinas herramientas han iniciado la producción de unidades de control electrónico.

3.4.4 Subcontratación y concentración geográfica

En los países industrializados las empresas de máquinas herramientas compran determinados componentes y se apoyan mucho en subcontratistas: el porcentaje del valor de compras de materiales y de subcontratos varía del 40 por ciento (Europa) al 60 por ciento (Japón). Se tiende a aumentar los subcontratos porque se acude cada vez con más frecuencia a los especialistas en componentes: artículos como tornillos esféricos, portaherramientas y bastidores de base se subcontratan⁴⁴.

La industria japonesa tiene especial tendencia a subcontratar y a adquirir componentes. Esto explica en parte su mayor rendimiento por empleado (cuadro 6). Como en el caso de la

⁴² filial de TELEMECANIQUE (Francia).

⁴³ Machinery and Production, julio de 1988.

⁴⁴ La importancia de la subcontratación es uno de los factores que quizá expliquen la concentración geográfica de la industria. Tal es el caso, especialmente, de España (la industria de máquinas herramientas se concentra en Cataluña y en Madrid) e Italia: el 71 por ciento de la industria está ubicado en la Lombardía y en el Piamonte. Véase UCIMU: The Machine-tool industry.

industria del automóvil, la subcontratación se organiza a dos niveles⁴⁵ (cuadro 8).

Los fabricantes finales se encargan en general del montaje, cableado y "ajuste" de las máquinas herramientas. Producen las piezas más importantes, como husillos, y, en algunos casos, elementos pesados como piezas fundidas. Compran cojinetes de bolas, motores eléctricos, cables y controles electrónicos y subcontratan la mayoría de los procesos de maquinado. Cada uno de los 43 fabricantes de máquinas herramientas mantiene una relación subcontractual con 24 subcontratistas del primer nivel.

En 1985, el primer nivel de subcontratistas estaba formado por 1.013 empresas, y sus actividades industriales abarcaban todas las necesidades de fabricación del sector: tratamiento de superficies, maquinado, submontaje. Estas empresas se responsabilizan de la producción de componentes importantes como la guía y superficie de deslizamiento, cuya fabricación no sólo exige un elevado nivel tecnológico sino también una estrecha relación técnica con los fabricantes, que, al parecer, mantienen vínculos de organización con los subcontratistas. También existe cooperación entre subcontratistas.

Este primer nivel mantiene relaciones de subcontratación con 10.861 empresas pequeñas, la mitad de las cuales se dedican a actividades de maquinado.

En el Japón los subcontratistas trabajan en estrecha relación con un número relativamente más pequeño de fabricantes finales que en otros países. Una de las consecuencias de esta situación es que las innovaciones técnicas iniciadas en las grandes empresas se extienden rápidamente a las pequeñas y medianas. La competencia tecnológica de esas empresas pequeñas, un factor que retrasaba el avance tecnológico de la industria japonesa, ha mejorado lo suficiente, en el caso de esas empresas, como para enfrentarse con éxito a la aparición de las máquinas herramientas de control numérico. Los fabricantes finales se han visto obligados a subcontratar un número mayor de componentes y a veces incluso la fabricación total de máquinas herramientas convencionales que se comercializan utilizando el nombre del fabricante final.

⁴⁵ Esta descripción se encuentra en Hiroatsu Nohara: Les acteurs de la dynamique industrielle au Japon, LEST/CNRS, 1987, y en una ponencia presentada en el simposio High Tech and Society in Japan and the Federal Republic of Germany, Berlín, agosto de 1967.

Cuadro 8: Organización de la subcontratación dentro de la industria japonesa de máquinas herramientas

EMPRESAS DE MH <----- COMPRAN <----- cojinetes
(43 empresas) motores eléctricos
pernos
cables
control numérico

Primer nivel (1.013 empresas)

Tratamiento térmico	Prensas	Maquinado
Fundición	Chapa	Submontaje
216 empresas	62 empresas	546 empresas
(1.915 subcontratistas)	(1.915 subcontrat.)	(5.864 subcontrat.)
Tratamiento de superficies	Engranajes	Otros
41 empresas	67 empresas	62 empresas
(225 subcontratistas)	(1.212 subcontrat.)	(615 subcontrat.)

Segundo nivel (10.861 empresas)

Chapa	Tratamiento térmico	Fundición
749 empresas	619 empresas	858 empresas
Prensas	Maquinado	Tratamiento de superficies
345 empresas	5.314 empresas	677 empresas
Engranajes	Montaje	Otros
448 empresas	358 empresas	1.610 empresas

Fuente: Technology and division of work within small scale enterprises
The Association of Small and Medium Enterprises Tokyo 1985

3. 5 Características de la producción

3.5.1 Organización de la producción

El grueso de la producción de máquinas herramientas se destina a un número relativamente pequeño de productos. El proceso de producción incluye corte de metales y montaje y a estos procesos básicos se pueden añadir inspección, control de calidad, planificación de la producción y trabajo de diseño.

Todos los problemas que afectan a los talleres mecánicos que hacen trabajos variados se intensifican en la producción de máquinas herramientas, en razón de la inherente complejidad del proceso de producción en términos de maquinado y organización. El número de componentes que se han de fabricar se sitúa en los millares. La tarea de determinar el tamaño de cada partida a la hora de fabricar esos componentes y el conjunto de máquinas con las que se van a fabricar es extraordinariamente compleja. Una vez que esto se ha decidido, la tarea de organización para controlar la producción, asegurar que llegue a la fábrica un flujo continuo de materiales y evitar que el trabajo en curso de ejecución sea demasiado voluminoso es también extraordinariamente difícil.

En una fábrica convencional de máquinas herramientas, el contenido manufacturado es relativamente grande, con muchas piezas hechas en la misma fábrica, a veces, incluso, piezas de fundición. El maquinado ha experimentado cambios importantes con la aparición de los centros de maquinado, que combinan fresado, taladrado y mandrinado. En el caso de una fábrica de máquinas herramientas de CNC, el contenido manufacturado es inferior, y un gran número de componentes y piezas pueden subcontratarse, con tan sólo el maquinado de acabado hecho en fábrica.

3.5.2 Acento en la tecnología

La industria de máquinas herramientas no es una industria de alta tecnología; el desembolso para investigación y desarrollo representa una proporción relativamente pequeña de los ingresos totales (del 4 al 5 por ciento como promedio) cuando se compara con otras industrias como la electrónica o la de productos farmacéuticos, donde la investigación y el desarrollo representan entre el 5 y el 10 por ciento de los ingresos totales. Las empresas de máquinas herramientas disponen de oficinas de diseño cuya tarea principal es resolver los problemas concretos de sus clientes a medida que surgen. Los vínculos con las universidades han sido tradicionalmente escasos, con la excepción de Alemania (ex RFA), donde una compleja red de comunicaciones entre

industria, comercio, asociaciones, sindicatos y Gobierno contribuye a difundir ideas y a crear un consenso en cuestiones como el orden de prioridades en las investigaciones en colaboración⁴⁶. Los vínculos entre empresas de máquinas herramientas y universidades se establecen por medio de los centros técnicos de máquinas herramientas⁴⁷.

La industria de máquinas herramientas emplea profesionales muy competentes en diseño y producción. Desde el siglo XIX los talleres con gran intensidad de mano de obra han sido baluarte de la especialización y escenario de considerable forcejeo a pie de máquina. El principal medio de control de los operadores de máquinas herramientas ha sido su control sobre las máquinas. El maquinado no es una técnica artesanal, sino una técnica basada en la máquina y de manera tradicional una parte importante de ese saber ha consistido en el conocimiento tácito del rendimiento de anteriores generaciones de máquinas, de sus típicas características de utilización y de las necesidades de los usuarios.

Con la aparición de las máquinas herramientas de CNC y su utilización para fabricar los principales componentes de las máquinas herramientas, se han eliminado muchas de las operaciones tradicionales dependientes de la destreza, incluso para inspección y pruebas. El operador de máquina herramienta tiende a ser una persona con conocimientos matemáticos y de programación, mientras que el cambio de herramientas y la carga y descarga de materiales son tareas que realizan operadores semicualificados⁴⁸.

La industria de máquinas herramientas tiende a convertirse en una industria cada vez más dependiente del capital, puesto que sólo las instalaciones de producción más sofisticadas y el uso optimizado de la capacidad de procesamiento de datos puede asegurar una mejora de la productividad.

⁴⁶ Alrededor de 20 institutos universitarios y muchos de los Institutos Fraunhofer realizan trabajos relacionados con las máquinas herramientas. Se acepta de manera general que el instituto de Aquisgrán es el mejor laboratorio mundial de máquinas herramientas, al mismo tiempo que disfrutan de gran prestigio los de Berlín, Stuttgart y Hannover.

⁴⁷ Como es el caso de CETIM en Francia.

⁴⁸ Esta parte se desarrollará en el capítulo III, 1.2.3.

3.6 Las causas determinantes de la superioridad nacional en la industria de máquinas herramientas

Para resumir esta introducción a la industria de máquinas herramientas, es útil valorar las razones por las que un país alcanza éxito internacional en esta industria. La superioridad competitiva en una industria con acerto en la tecnología no es el resultado de una sola causa determinante; la ventaja en varias causas determinantes se combina para crear condiciones que se autorrefuerzan. M. Porter⁴⁹ distingue cuatro causas determinantes muy amplias, que configuran el entorno en el que compiten las empresas nacionales y que pueden ilustrarse por medio de una figura en forma de rombo, que se adapta a la industria de máquinas herramientas (figura 4). Las cuatro causas determinantes de la superioridad competitiva nacional son:

i) Condiciones de los factores: En el caso de la industria de máquinas herramientas, los obreros especializados muy cualificados (en mecánica y, cada vez más, en electrónica) parecen ser uno de los factores más importantes. En los países industrializados, los centros tecnológicos y las asociaciones de la industria de MH han sido importantes fuentes de conocimientos. Con el cambio al control numérico, la infraestructura de telecomunicaciones desempeñará una función más importante que en el pasado.

ii) Condiciones de la demanda: Son varias las características que, en el caso de las máquinas herramientas, sitúan las condiciones de la demanda entre las causas determinantes más importantes dentro del rombo:

- El mercado está muy diferenciado; países pequeños pueden ser competitivos en segmentos que representan una parte importante de la demanda nacional, aunque sea pequeña en otros mercados. Otro factor importante es la tasa de crecimiento de la demanda nacional, puesto que cuanto más rápida sea, más rápidamente adoptarán las empresas las nuevas tecnologías.

- La demanda interior no debe valorarse únicamente en términos de volumen de ventas: un gran mercado interior puede proporcionar al fabricante nacional la oportunidad de hacer uso de las economías de escala. Sin embargo los aspectos cualitativos de la demanda interior son al parecer mucho más importantes para la industria que ese

⁴⁹ M. Porter: The competitive advantage of nations, Nueva York, Free Press, 1990.

aspecto cuantitativo: la competitividad de la industria de máquinas herramientas se explica, en general, por su habilidad para dar respuesta a la demanda sofisticada de las industrias nacionales de maquinaria, sobre todo la industria del automóvil, y por su capacidad para satisfacer la propia demanda de equipo. Las características de los clientes nacionales son, al parecer, una de las causas determinantes clave para el éxito de la industria de máquinas herramientas, que tendrá menos dificultades para adaptarse a la demanda de los mercados extranjeros.

iii) Industrias relacionadas y de apoyo: Las instalaciones de forjado, fundido, tallado de engranajes y tratamiento de superficies son las industrias de apoyo necesarias para la industria de máquinas herramientas y una estrecha relación entre proveedores y empresas reforzará el desarrollo tecnológico de la industria.

La experiencia de los países en desarrollo pone de manifiesto que el establecimiento de grandes empresas, donde se integran las actividades de las industrias de apoyo, ha traído consigo muchas dificultades en lo relativo a utilización de su capacidad. Un mejor criterio sería promover empresas pequeñas y medianas capaces de apoyar a la industria de máquinas herramientas.

iv) Estrategia, estructura y rivalidad entre empresas: Como se ha mencionado anteriormente, la industria de máquinas herramientas está formada con frecuencia por empresas de tamaño medio; a menudo la concentración geográfica es la regla y la rivalidad nacional, importante. Mientras las empresas de mayor tamaño se centran en máquinas que permiten la fabricación de grandes series, las más pequeñas se orientan hacia productos para necesidades muy concretas. En los países en desarrollo, la creación de monopolios junto con el establecimiento de aranceles de importación y de barreras no arancelarias ha tenido muchas veces efectos negativos sobre la competitividad de la industria y su capacidad de satisfacer las necesidades de las industrias de maquinaria.

La función del gobierno no aparece como causa determinante de la competitividad nacional, si bien su política industrial puede influir en cada una de las causas determinantes en el seno del ramo:

- Al proporcionar instalaciones de adiestramiento, ayuda a mejorar las condiciones de los factores
- Al dirigir la demanda local por medio de su política de adquisiciones y al establecer normas y

reglamentaciones, también desempeña un papel importante, ya que llama la atención sobre nuevas tecnologías y da a conocer nuevos mercados

- Fomentando la industria de apoyo
- Influyendo en la estrategia empresarial por conducto de su política fiscal y comercial.

CAPITULO II: PRODUCCION Y COMERCIO MUNDIAL DE MAQUINAS HERRAMIENTAS

1 Producción

1.1 Producción mundial

Durante los dos últimos decenios la producción mundial de máquinas herramientas¹, medida en dólares actuales de los EE.UU., aumentó de 8.000 millones de dólares de los EE.UU. en 1968 a 42.000 millones en 1989. Esta progresión no ha sido uniforme (figura 5); se registraron valores máximos en 1975 y en 1980; al pronunciado descenso que se produjo de 1981 a 1984 siguió una brusca subida a partir de 1986. Estas subidas y bajadas se acentuaron cuando la demanda fluctuaba de modo sincrónico en los distintos países, como sucedió en el decenio de 1970; durante esos años los ciclos comerciales de los países industrializados se mantuvieron estrechamente alineados, pero en el decenio de 1980 se produjo una falta de sincronización que se reflejó en enormes desequilibrios internos². La consecuencia para la industria de máquinas herramientas fue que el comercio internacional pudo actuar como regulador de la producción nacional.

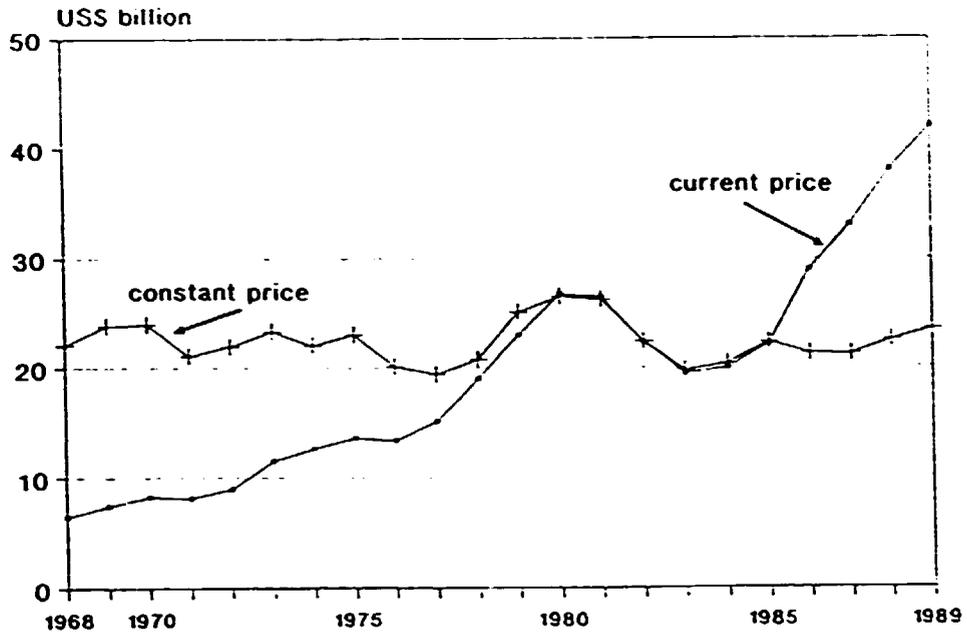
Las veleidades del dólar y la flotación de las monedas de todo el mundo hace difícil medir la producción mundial en términos reales y no se ha intentado confeccionar un índice mundial³. Se ha

¹ La producción mundial de máquinas herramientas se mide tradicionalmente sumando la producción de los treinta y cinco países recogidos por la revista American Machinist. Se afirma que ese total representa el 95 por ciento de la producción mundial. Los datos sobre producción e intercambio se refieren a máquinas herramientas completas y en la mayoría de los países excluyen piezas y accesorios.

² Economic Focus: "Toppling the business cycle", The Economist, 9 de junio de 1990.

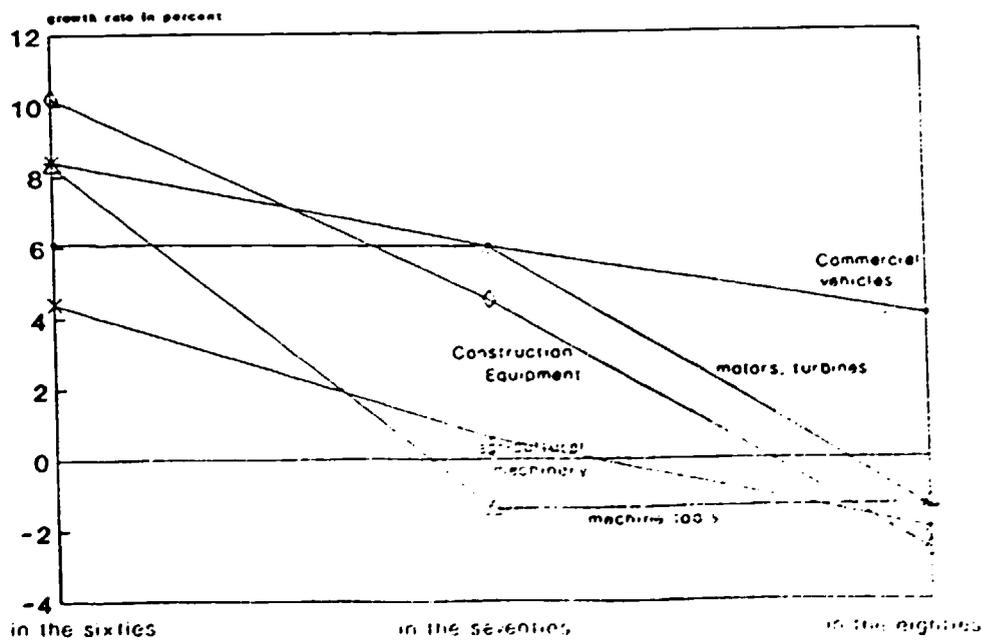
³ Haciendo uso de su base de datos industriales, que abarca a los países de la OCDE, el Centre Economique et de Prospective Industrielle et Internationale (CEPII) ha preparado un índice de volumen de producción. Según esta medición, la demanda mundial de máquinas herramientas aumentó el 8,3 por ciento anual durante el decenio de 1960, para pasar a un crecimiento negativo durante los decenios de 1970 y 1980 (-1 por ciento).

Figura 5: Producción mundial de máquinas herramientas



Source: American Machinist and estimates

Figura 6: Evolución de la demanda mundial de algunos productos de tecnología mecánica



Adapted from G. Lefevre, La fin des avantages sociaux, Economica, Paris 1989

elaborado un indicador aproximado utilizando la producción conjunta en precios constantes de 1981 para los cuatro fabricantes más importantes de las economías de mercado (que representan el 65 por ciento de la producción mundial, con exclusión de las economías dirigidas). La evolución de este conjunto durante los últimos veinte años (figura 5) puede considerarse como una aproximación⁴ a la evolución de la producción mundial en volumen, producción que parece haber descendido lentamente a lo largo de los años: se trata de un reflejo del lento crecimiento de las industrias de tecnología mecánica en los decenios de 1970 y 1980 (figura 6). La industria de máquinas herramientas no abastece ya a un mercado en expansión y además, como se analiza a continuación, el vínculo entre inversión fabril y adquisición de máquinas herramientas no es ya tan sólido como antes.

Cuadro 9: Producción regional de máquinas herramientas
(en millones de dólares EE.UU.)

	1980		1985		1989	
Norteamérica	507	18,7%	2878	13,1%	3659	8,7%
Europa occidental	10869	40,3%	7228	32,9%	16276	38,7%
Europa oriental y URSS	5475	20,3%	4811	21,9%	8201	19,5%
América Latina	378	1,4%	286	1,3%	505	1,2%
Asia	4828	17,9%	6327	28,8%	12743	30,3%
Otros	378	1,4%	439	2,0%	673	1,6%
Mundo	26970	100,0%	21970	100,0%	42057	100,0%

Fuente: American Machinist

1.2 Concentración de la producción en países industrializados

A finales del decenio de 1970 se consideraba a veces a la industria de máquinas herramientas como una industria madura que a la larga "pasaría a manos" de países intermedios⁵. No ha sido así. Desde un punto de vista regional (cuadro 9), Europa Occidental ha seguido siendo el mayor productor (el 38,7 por ciento en 1989),

⁴ Y sin perder de vista que la introducción de índices de deflación es una práctica muy dudosa en el caso de mercancías de base electrónica.

⁵ Según un estudio de la Comisión Económica para Europa (mencionado en UCIJU).

mientras que la participación de Europa Oriental y de la URSS se ha mantenido constante. La evolución más notable ha sido el descenso de la participación de Norteamérica que ha pasado del 18,7 en 1980 al 8,7 por ciento en 1989 y el aumento de la participación de Asia del 17,9 por ciento en 1980 al 30,3 por ciento en 1989, cambio que puede atribuirse al aumento de la producción japonesa y de los países en desarrollo de Asia Oriental. La participación de los países latinoamericanos ha retrocedido ligeramente.

1.2.1 Principales países productores

La producción de máquinas herramientas está muy concentrada en algunos países industrializados. Al Japón, Alemania (ex RFA), la URSS, Italia y los Estados Unidos correspondieron, en 1988, dos tercios de la producción mundial.

Esa proporción es algo menor que en el caso de industrias afines⁶ como la electrónica y los vehículos de motor (cuadro 10):

- En la industria electrónica, en 1988, el 63 por ciento de la producción mundial correspondió a los dos países productores más importantes, los Estados Unidos y el Japón, mientras que el 79 por ciento se concentraba en los cinco principales países productores;

Cuadro 10: Concentración de la producción en 1988

	Máquinas herramientas	Vehículos de motor	Industria electrónica	
Japón	23%	Japón	26%	
Alemania (RFA)	18%	EE.UU.	23%	
URSS	12%	RFA	13%	
Italia	7%	Francia	9%	
EE.UU.	6%	Italia	5%	
Cinco principales	66%	Cinco principales	76%	
			EE.UU.	34%
			Japón	29%
			Alemania (RFA)	7%
			Francia	5%
			Reino Unido	4%
			Cinco principales	79%

Fuentes: American Mechanist; DRI world automotive forecast; Elsevier Macintosh statistics

⁶ Afines desde el punto de vista fabricante-usuario, como en el caso de la industria de vehículos de motor que es, de ordinario, el mayor mercado para las máquinas herramientas, o desde el punto de vista de la tecnología (control electrónico).

- En la industria de vehículos de motor el 59 por ciento de la producción mundial se concentra en el Japón y en los Estados Unidos y el 76 por ciento en los cinco principales países productores.

Considerada desde una perspectiva histórica a largo plazo, la concentración de la producción de máquinas herramientas no sólo no ha aumentado, sino que, por el contrario (figura 7), son cada vez más los países que se han incorporado con éxito a la industria. En la primera parte del siglo XX, correspondía a tres países (Alemania, los Estados Unidos y el Reino Unido) más del 80 por ciento de las exportaciones mundiales de máquinas herramientas; durante el decenio de 1930 se les añadió Suiza. Después de la guerra, las industrias británica y estadounidense alcanzaron la supremacía mundial y hasta el decenio de 1960 era difícil encontrar un taller mecánico importante donde no se encontraran placas con nombres de fabricantes británicos y estadounidenses. Para 1989, los tres principales países exportadores eran Alemania (ex RFA), el Japón y Suiza.

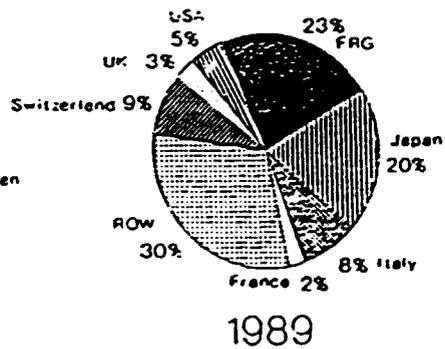
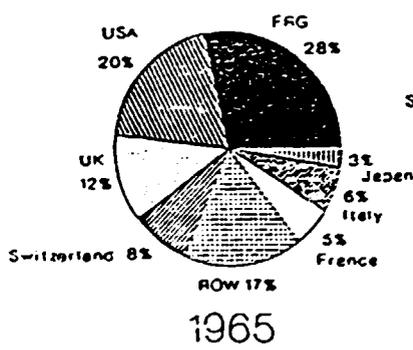
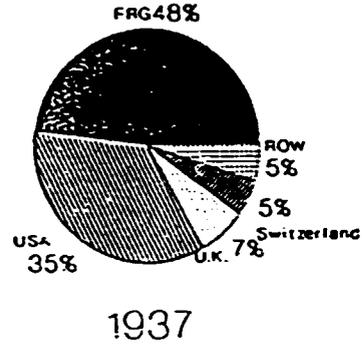
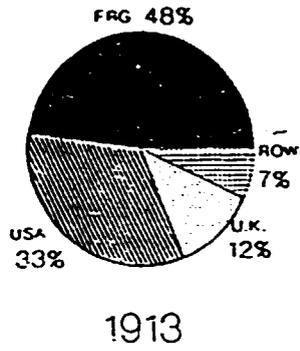
1.2.2 Variaciones entre los principales países

En el cuadro 11 se recoge la producción de máquinas herramientas de los 35 principales países productores desde 1977 a 1989. El Japón se ha convertido en el mayor país productor, sustituyendo a Alemania (ex RFA) en 1982, mientras que la URSS sigue siendo el tercer país más importante; vienen a continuación los Estados Unidos e Italia.

Los cambios en la competitividad comercial estuvieron en general relacionados con los avances tecnológicos logrados en los distintos países. Las instituciones nacionales, al crear recursos y dirigirlos hacia problemas concretos y sus soluciones han actuado como "sistemas de innovación": "Cuando el Reino Unido consiguió distanciarse tecnológicamente en la primera revolución industrial, no lo hizo simplemente mediante un aumento de las invenciones y de las actividades científicas..., sino gracias a nuevas maneras de organizar la producción, la inversión y la comercialización y a nuevas formas de combinar las invenciones con el sentido empresarial. Cuando Alemania y los Estados Unidos adelantaron al Reino Unido en los siglos XIX y XX, su éxito también estuvo relacionado con importantes cambios institucionales (...) de manera similar, cuando el Japón logra a su vez distanciarse, ello no depende simplemente de la escala de I y D, sino de otros cambios sociales e institucionales"⁷.

⁷ C. Freeman: Technology policy and economic performance: lessons from Japan, Londres, Pinter, 1987, pág. 31.

Figura 7: Concentración de las exportaciones mundiales de máquinas herramientas



ROW Rest of the world

Cuadro 11: Producción de máquinas herramientas (1977-1989)
(en millones de dólares EE.UU.)

	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	en %
Japón	1602	2350	2982	3826	4798	3796	3541	4473	5316	6872	6419	8722	9817	23,3%
Alemania (RFA)	2635	3396	4007	4707	3953	3505	3193	2803	3168	5185	6403	6572	6859	16,3%
URSS	2202	2652	2902	3065	2932	2952	3077	2776	3035	3672	3976	4263	5000	11,9%
Estados Unidos	2441	3004	4059	4812	5111	3748	2106	2423	2717	2748	2235	2519	3270	7,8%
Italia	878	1060	1354	1728	1513	1138	1037	996	1115	1623	2585	2639	3067	7,3%
Suiza	580	768	930	994	846	816	766	759	955	1424	1652	1865	1797	4,3%
Reino Unido	588	821	1001	1395	933	781	573	675	783	916	1058	1501	1597	3,8%
RDA (ex)	641	699	806	891	828	821	829	789	730	1001	1312	1457	1445	3,4%
Francia	591	723	877	954	809	621	561	465	499	657	765	876	1081	2,6%
Taiwán (China)	58	126	198	245	294	186	205	244	278	367	578	782	1016	2,4%
China	355	405	420	420	440	470	475	482	341	364	632	750	832	2,0%
España	191	232	316	353	319	259	193	211	253	396	575	702	795	1,9%
Rep. de Corea	57	95	163	130	178	158	119	143	175	333	531	632	760	1,8%
Rumania	120	294	459	590	625	615	439	353	324	306	618	663	708	1,7%
Yugoslavia	141	173	189	232	277	284	231	226	239	390	515	550	602	1,4%
Brasil	283	255	387	315	305	172	98	105	265	370	575	536	458	1,1%
Checoslovaquia	309	363	358	331	358	308	375	325	338	382	405	450	450	1,1%
Suecia	146	166	221	232	205	180	157	158	215	214	258	359	403	1,0%
Canadá	71	85	159	194	269	264	290	199	199	209	244	344	383	0,9%
Polonia	583	679	420	405	310	151	105	121	148	154	323	320	320	0,8%
Austria	96	112	101	166	108	160	128	121	120	156	155	247	302	0,7%
India	89	112	127	165	209	187	217	264	245	270	278	290	262	0,6%
Bélgica	105	114	129	137	103	101	85	77	89	150	179	207	194	0,5%
Bulgaria	30	30	41	43	201	221	182	192	132	143	140	195	175	0,4%
Hungría	105	109	112	121	128	128	135	148	175	180	210	134	124	0,3%
Dinamarca	43	45	50	52	42	50	46	48	58	72	77	78	73	0,2%
Países Bajos	69	66	83	65	60	48	120	120	43	65	47	78	72	0,2%
Singapur	6	12	26	37	43	40	15	21	34	34	35	42	48	0,1%
Finlandia							15	24	20	51	35	42	41	0,1%
Argentina	60	60	62	50	35	35	28	23	0		35	48	38	0,1%
México	6	14	15	22	24	19	13	25	18	17	21	21	21	0,0%
Portugal	10	10	14	16	16	16	13	15	11	13	19	19	17	0,0%
Australia	18	19	18	18	69	44	66	66	36	40	45	12	16	0,0%
Hong Kong		0	0	0	12	8	5	4	1	1	1	12	12	0,0%
TOTAL MUNDIAL	15110	19049	22986	26711	26460	22367	19526	19976	22199	28917	33079	38073	42064	100,0%

Fuente: Preparado a partir de American Machinist (varios números).

De hecho, las recientes variaciones entre los principales países productores (figura 8) se explican en gran medida por sus diferentes actitudes en relación con la tecnología del CN. Esta innovación, nacida en los Estados Unidos en el decenio de 1950, no fue adoptada de manera general por las industrias estadounidenses de maquinaria, mientras que el Japón actuó de adelantado en su aplicación. Iniciada a mediados del decenio de 1970, la rápida difusión del CN fue la causa del éxito de la industria japonesa de máquinas herramientas en el decenio de 1980. Mediante la figura 9 se ilustra la posición dominante de los Estados Unidos en la producción de máquinas herramientas de CN a finales del decenio de 1960 y el cambio ocurrido durante el decenio de 1970 en beneficio del Japón.

De 1978 a 1982, los Estados Unidos fue el principal país productor. Como resultado⁸ de la crisis del petróleo el Gobierno promovió un programa de ahorro de energía con el que, entre otras cosas, se planeaba fabricar vehículos de mejor rendimiento energético; esto creó una ola de pedidos de la industria del automóvil, que es el cliente más importante de la industria de máquinas herramientas. Desde 1981 la participación de los Estados Unidos en la producción mundial ha descendido si se la compara con la de otros países industrializados, mientras que la del Japón ha aumentado hasta convertirse en la mayor del mundo.

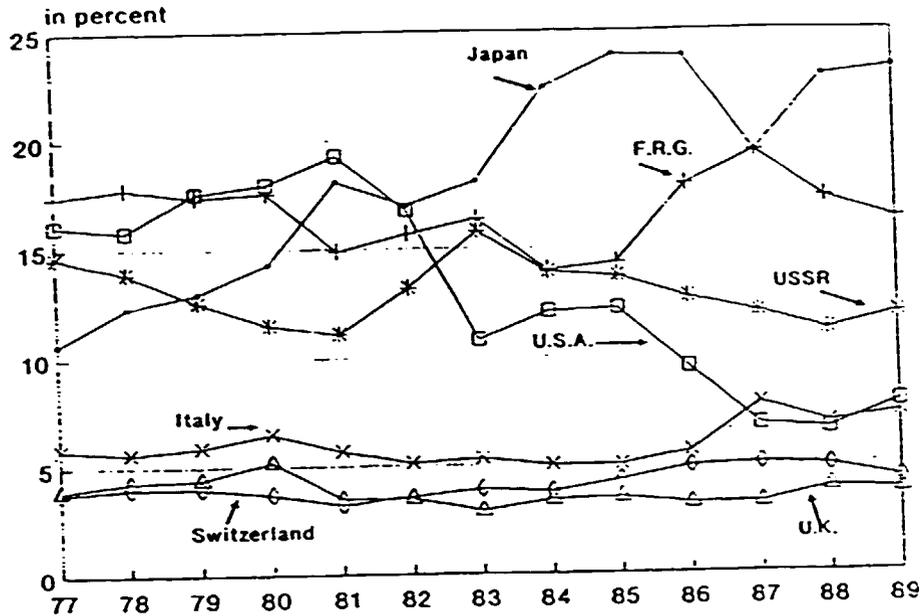
Es difícil exagerar el retroceso de la industria estadounidense de máquinas herramientas⁹. En el otrora gran centro de máquinas herramientas de Springfield, Massachusetts, las empresas más grandes están en su mayoría muertas, convertidas en representantes de máquinas herramientas importadas y, de cuando en cuando, fabricando herramientas extraespecializadas para contratistas militares, casos en los que los costos y la entrega rápida son cuestiones secundarias.

Los países europeos y el Japón han arrebatado a los Estados Unidos la primacía y este desplome no sólo ha provocado honda preocupación por la industria misma, sino también por sus consecuencias sobre la competitividad manufacturera estadounidense. La comisión del MIT establecida para identificar las causas principales de la debilidad en los rendimientos

⁸ B. Real: "The Machine-Tool Industry", en Technical Change and Economic Policy, OCDE, París, 1980, pág. 13.

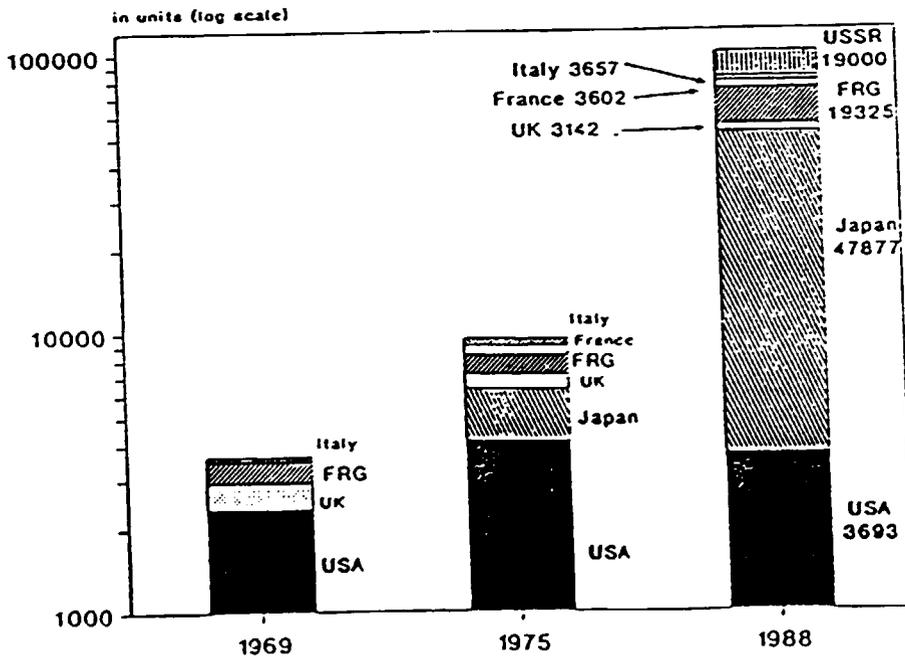
⁹ M.K. Starr (editor): Global competitiveness, getting the US back on track, The American Assembly, Columbia University, W.W. Norton & Co., 1988.

Figura 8: Principales países productores.
Participación en la producción mundial (1977-1989)



Source : American Machinist

Figura 9: Producción de máquinas herramientas de CN



Source : CECIMO, and national statistics

industriales descubrió¹⁰ un conjunto de factores interrelacionados¹¹ entre los que había dos específicos de la industria de máquinas herramientas:

- i) Las empresas pequeñas, carentes de orientación hacia la exportación, debido a su agrupamiento geográfico en torno a mercados de usuarios, tenían una visión regional de su negocio, eran reacias a exportar y no estaban atentas a los acontecimientos en otros países.
- ii) Fallo a la hora de sacar provecho a la innovación del CN.

Probablemente el control electrónico de armas de fuego inventado en los Estados Unidos para la defensa aérea durante la segunda guerra mundial fue el desencadenante de la idea de fabricar máquinas controladas numéricamente¹². Esto llevó a la creación de la primera máquina herramienta controlada por computadora¹³, que comenzó como un proyecto auspiciado por el Gobierno y se realizó en el laboratorio de servomecanismos del Massachusetts Institute of Technology (MIT) en 1949¹⁴ con el fin de fabricar alabes de rotor para helicóptero. Los militares, con su insistencia en el rendimiento y en el dominio más que en los costos, determinaron de manera decisiva la evolución del control numérico. En el MIT se diseñó un sistema que era excesivamente caro y demasiado complejo para grandes aplicaciones comerciales en las industrias de maquinaria. Las fuerzas aéreas de los EE.UU. traspasaron la tecnología a las industrias estadounidenses, sobre

¹⁰ M. Dertouzos, R.K. Lester, R.M. Solow y la comisión del MIT sobre productividad industrial: Made in America, Regaining the productive edge, 1989, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

¹¹ Entre los factores más destacados: i) un brusco descenso del interés por el proceso de fabricación como ventaja estratégica en el seno de la industria y como factor clave intelectual en las universidades; ii) estrategias de inversión a corto plazo fomentadas por Wall Street: sometidos a presión para obtener resultados a corto plazo, los gestores de la industria optaron por tecnologías comprobadas en lugar de arriesgarse con las nuevas; iii) ausencia de orientación comercial en las políticas gubernamentales.

¹² Nasbetti y Ray: The diffusion of new industrial process: an international study, Cambridge University Press, Londres, 1974.

¹³ Los trabajos para la producción de máquinas herramientas de CN comenzaron en el Reino Unido en 1950 y prosiguieron en Francia y en la República Federal de Alemania hacia 1955.

¹⁴ Para más detalles véase el capítulo I.

todo al encargar esas herramientas a determinados fabricantes y concediéndoles las licencias para su producción. Esa iniciativa proporcionó la tecnología necesaria a varios importantes contratistas de la defensa, pero no se hizo hincapié en difundirla por toda la industria¹⁵, por lo que su generalización fue lenta, debido a las limitaciones financieras de las empresas y a su innato conservadurismo. La tecnología también se dio a conocer en el extranjero y se ofrecieron patentes a varias empresas japonesas. De manera que durante el decenio de 1960 la difusión de las máquinas herramientas de CN fue lenta y los Estados Unidos perdieron progresivamente su posición privilegiada.

Son varias las razones que se han aducido para explicar esta evolución:

- a) Actitudes de los fabricantes:
- i) Los principales proveedores de control numérico que habían dominado la industria con controles cableados se negaron a aceptar la tecnología de estado sólido hasta que la competencia les obligó a cambiar a finales del decenio de 1970¹⁶
 - ii) Proliferaron los proveedores que fabricaban controles numéricos cuando aún no se habían establecido normas de interacción, con el resultado de que la incompatibilidad entre controles se convirtió en un problema importante¹⁷
 - iii) Las grandes empresas de máquinas herramientas se centraron en las necesidades de sus clientes más importantes y no advirtieron la necesidad, por parte de las pequeñas y medianas empresas de maquinaria, de operar con costos menores y equipo más flexible. Esta tendencia perjudicó de manera especial a la industria manufacturera estadounidense en su conjunto¹⁸. El mismo tipo de relación hostil entre

¹⁵ Clive V. Prestowitz, Jr.: Trading Places, how we allowed Japan to take the lead, Basic Books, Nueva York, 1988, págs. 217-237.

¹⁶ OCDE: Technology and International competitiveness: an interpretation of the relationship in the machine-tool industry, Dirección general para la ciencia, la tecnología y la industria, DSTI/SPR/84.2, París, 1984.

¹⁷ M. L. Dertouzos, R.K. Lester, R. M. Solow: Made in America, regaining the productive edge, MIT Press, 1989, pág. 105.

¹⁸ Según una encuesta realizada en 1983 por la universidad Carnegie Mellon, de un total de 25.000 artículos distintos fabricados por una de las mayores empresas de máquinas herramientas de los Estados Unidos, el 70 por ciento eran únicos.

proveedores de CN y empresas de máquinas herramientas parece haber caracterizado hasta cierto punto la situación en Europa y explicaría la lenta difusión de controladores numéricos de estado sólido en esos países en comparación con el Japón¹⁹.

b) Características del mercado:

iv) Actualmente se reconoce que las condiciones de la demanda son factores importantes que definen las ventajas competitivas de un país²⁰: compradores exigentes pueden presionar a las empresas para que innoven más rápidamente. Eso sucede especialmente en el caso de las máquinas herramientas y el "tirón del usuario" es un estímulo importante para la innovación. Desgraciadamente ese vínculo ha sido débil en los Estados Unidos donde los fabricantes nacionales de automóviles (en contraste con sus colegas europeos y japoneses) han optado hasta hace muy poco por tecnologías comprobadas.

v) La relación entre usuarios y fabricantes ha sido hostil: los usuarios más importantes exigían precios competitivos muy bajos a sus proveedores de máquinas herramientas, práctica que no facilitaba ni las innovaciones ni la inversión por parte de las empresas dedicadas a la fabricación de piezas y equipo.

Entre 1960 y 1970, la producción japonesa de máquinas herramientas se multiplicó por siete, pero sólo una pequeña parte se vendió en el extranjero. Mientras que en 1965 la participación japonesa en el mercado mundial de exportación era del 3,6 por ciento, para 1980 el Japón exportaba la mitad de su producción y controlaba el 12 por ciento del mercado mundial; en 1989 su participación ascendió al 20 por ciento. La producción japonesa sobrepasó a la estadounidense a comienzos del decenio de 1980 y esa posición destacada se ha visto reforzada desde 1988 con el aumento de la demanda interna al incrementarse las inversiones, retrasadas desde la reevaluación del yen en 1985.

El Japón ha sido un país que ha dado la pauta en cuanto a la elaboración y utilización de nuevas tecnologías para MH. Las

Contrariamente, el 40 por ciento de las máquinas fabricadas por Yamazaki en 1984 fueron productos normalizados; en IFRI, RAMSES, 1990, Systeme Economique, Le monde et son evolution, La documentation Française, pág. 146.

¹⁹ OCDE, 1984.

²⁰ M. Porter: The competitive advantage of nations, Free Press, 1990.

tareas para el perfeccionamiento de las máquinas herramientas de CN comenzaron en el decenio de 1950 con la fresadora²¹, máquina que trabaja con herramientas y piezas muy distintas y de movimientos que hay que controlar en tres direcciones. Las características de la fresadora complicaron mucho la programación, y eso hizo en cambio que, con el torno, la aplicación del CN se extendiera rápidamente en el decenio de 1970, lo que contribuyó a la preeminencia de la industria japonesa. Como han señalado diversos autores²², algunas características de la estructura institucional nipona hicieron que el Japón estuviera especialmente bien preparado para el tipo de flexibilidad que requería la utilización, con aprovechamiento máximo, de las nuevas tecnologías de producción. Entre esas características se halla la naturaleza de las relaciones entre trabajadores y dirección, los vínculos entre pequeñas y grandes empresas, la capacidad manufacturera y la política industrial:

i) Organización del trabajo. Se ha observado que durante la fase de mecanización de la industria en el siglo XIX, el concepto de equipo fabril dependía en gran medida de la organización dominante del trabajo a pie de máquina: "había que mecanizar al hombre para poder perfeccionar las máquinas"²³. Es posible hacer observaciones parecidas para entender el nacimiento de la automatización flexible en el Japón. Desde finales del decenio de 1950, para enfrentarse con éxito al carácter reducido y fragmentado de su mercado de automóviles, los fabricantes japoneses se esforzaron por adoptar una actitud más flexible frente a la producción. Sus esfuerzos culminaron con la reorganización del taller: "A fin de reducir los tiempos muertos, se dispusieron las máquinas de manera que los trabajadores pudieran moverse entre ellas, a la vez que se las hacía más ligeras y menos costosas. Deliberadamente, se sacrificaron las economías de escala en favor de las economías de flexibilidad; esa reorganización de los talleres colocó a las empresas japonesas y a las líneas de producción en excelente situación para absorber las nuevas

²¹ Susumu Wanatabe, Market structure, industrial organization and technological development: the case of the Japanese electronics-based NC machine-tool industry, documento de trabajo del World Employment Programme Research, febrero de 1983.

²² G. Dosi, Laura D'Andrea Tyson, J. Zysman: "Trade, technologies and development: a framework for discussing Japan", en Politics and productivity, the real story of why Japan works, un proyecto de investigación de la Berkeley Roundtable on the International Economy, 1988, pág. 33.

²³ Perrin: La production des technologies, Publisud, 1988.

tecnologías computadorizadas de fabricación²⁴. Esa organización creó un entorno sumamente favorable para la concepción y difusión de las máquinas herramientas numéricamente controladas.

ii) Organización de las empresas. Si bien las empresas estadounidenses inventaron los microprocesadores, las japonesas fueron las primeras en aplicarlas. Casi todos los grandes fabricantes japoneses de automóviles cuentan con una importante sección de máquinas herramientas en la que, de manera exclusiva, entre 200 y 400 personas trabajan en la creación de nuevas herramientas que se incorporan enseguida al proceso de producción. Cuando se ha comprobado que la máquina herramienta es apropiada para el trabajo de la fábrica, se procede a venderla en el mercado. El mercado japonés de máquinas herramientas está muy fragmentado y participan en él muchos fabricantes que elaboran equipo para sus propios fines y después lo venden en el mercado abierto²⁵. Algunas de las empresas de máquinas herramientas contaron con la ventaja adicional de haber adquirido experiencia en la fabricación de microprocesadores²⁶: FANUC comenzó como una sección del mayor fabricante de computadoras del Japón, FUJITSU, del que se separó en 1972. Aunque su especialidad era la fabricación de equipo de control mediante computadora, FUJITSU también fabricaba máquinas herramientas. La singular orientación de la empresa le fue muy útil en la carrera para construir máquinas herramientas más flexibles. "Aplicamos las innovaciones tecnológicas de los semiconductores antes que la industria informática"²⁷. En contraste con lo que sucedió en los Estados Unidos, el diseño y la fabricación de los elementos de control se concentró en FANUC con el apoyo activo del Ministerio de Comercio e Industria. Esto no sólo supuso economías de escala sino que sirvió además para evitar las incompatibilidades con que se

²⁴ S. Cohen, J. Zysman: Manufacturing matters, the myth of post industrial economies, Basic Books, 1987, pág. 146.

²⁵ C. Johnson, L. D'Andrea Tyson, J. Zysman: Politics and productivity, the real story of why Japan works, un proyecto de investigación de la Berkeley Roundtable on the International Economy (BRIE), Ballinger, 1989.

²⁶ Robert H. Ballance: International industry and business structural change, industrial policy and industry strategies, Allen & Unwin, Londres, 1987, pág. 297.

²⁷ Según el presidente de Fanuc, tal como lo recoge Jacobson en Flexible Automation (1988).

tropezaban a cada momento los usuarios estadounidenses. Los constructores de máquinas herramientas se liberaron de la carga de crear sus propios controles, y la dedicación exclusiva de FANUC a la parte electrónica de los productos electromecánicos redujo la competencia directa entre ella y los fabricantes. Durante el decenio de 1970 FANUC consiguió entre el 80 y el 90 por ciento del mercado japonés de controles, y a principios del decenio de 1980 entre el 40 y el 50 por ciento del mercado mundial²⁸.

iii) Capacidad de fabricación. El equipo de automatización flexible es un producto típico de la "mecatrónica", que es una combinación de tecnología mecánica y electrónica. El desarrollo de la industria mecatrónica en el Japón debe mucho al nivel tecnológico de la industria de maquinaria de precisión, y a la fiabilidad cada vez mayor de los dispositivos electrónicos²⁹.

- La fabricación en serie de bienes de consumo no perecederos, como relojes de pulsera, máquinas de coser, automóviles, etc., había establecido la base de tecnología mecánica para la industria japonesa de maquinaria de precisión: los rodamientos en miniatura utilizados en videomagnetófonos son un buen ejemplo del alto nivel de tecnología requerido para maquinar con precisión de submicrones.

- Tan sólo cuando los circuitos integrados a gran escala empezaron a utilizarse a mediados del decenio de 1970 la electrónica contó con la fiabilidad necesaria para la mecatrónica; además de los avances tecnológicos en sensores, también eran indispensables los accionadores (en servomotores, para convertir señales electrónicas en movimiento de aparatos mecánicos).

iv) Dificultades económicas. Una de las principales razones de la solidez de la industria japonesa de MHCN en el mercado internacional es el hecho de que los sistemas de CN ya se estuvieran produciendo nacionalmente cuando la mejora de la productividad se convirtió en tarea urgente para la industria. La aceleración de la difusión de las máquinas herramientas de CN debe mucho a la respuesta de las empresas japonesas a nuevas dificultades surgidas en el decenio de 1970, como los efectos de la crisis económica de 1974/1975

²⁸ En Made in America, pág. 106.

²⁹ Takemochi Ishii: "Mechatronics and Japanese Society", en Mechatronics, development in Japan and Europe, editado por Mick McLean, Frances Pinter (editores), Londres, 1983.

(la producción de máquinas herramientas disminuyó el 25 por ciento) y la apreciación del yen en 1977. Para superar estos obstáculos las pequeñas y medianas empresas de maquinaria adoptaron técnicas que reducían el tiempo y el dinero necesarios para el desplazamiento de las piezas y mejoraron la sofisticación y calidad de su producto. Esto se tradujo en una avalancha de pedidos de máquinas herramientas de CN que son muy eficaces para reducir la mano de obra y para promover la racionalización³⁰. En otros países industrializados la situación era la misma que en el Japón, pero, según el director ejecutivo de la Asociación comercial de máquinas herramientas del Japón³¹, los fabricantes de máquinas herramientas se esforzaron muy poco, en esos otros países, en la creación de herramientas de CN, y eso aumentó la demanda de las japonesas.

v) Política industrial. Un rasgo crucial de la estrategia industrial japonesa ha sido elegir a las industrias objetivo de su política en razón de su potencial para el crecimiento económico. La primera ley para la promoción de industrias concretas de maquinaria fue preparada por el Ministerio de Comercio e Industria (MITI) y aprobada por la Dieta en 1956; en 1957, mediante el primer plan básico para la industria, se adoptaron los objetivos de reducir costos, mejorar la calidad y aumentar la productividad por medio de la centralización manufacturera. La meta era que determinados fabricantes se concentraran en pocos productos, aumentando así la escala de producción. El MITI estaba convencido de que la producción, por parte de pequeños fabricantes, de pequeñas partidas hechas por encargo, siempre daría como resultado un sistema infracapitalizado y vulnerable a las fluctuaciones cíclicas. El MITI alentó a los fabricantes japoneses de máquinas herramientas a elaborar productos modulares normalizados, apropiados para una amplia gama de usuarios. Los diseños modulares sencillos que disminuían el número de piezas también reducían los costos y el tiempo de espera. Los fabricantes se concentraron en las necesidades de los pequeños usuarios y exploraron mercados de gran volumen; se especializaron en un tipo determinado de máquina y esta especialización les ayudó a lograr economías de escala. El

³⁰ El ajuste realizado por las pequeñas y medianas empresas puede ilustrarse con la evolución de su participación en la demanda total de máquinas herramientas, que ha pasado de menos del 40 por ciento antes de 1975 al 60 por ciento entre 1977 y 1982; en Dafsa: L'industrie mondiale de la machine outil, París, 1983.

³¹ Abe en Business Japan, citado en Piore y Sabel: The second industrial divide.

desarrollo de la industria sorprendió por completo a los competidores ya establecidos.

Estos planes contaron con el apoyo de una panoplia de medidas de protección del mercado, junto con diversos incentivos financieros. Hasta 1983, el MITI utilizó incentivos fiscales especiales para alentar a los fabricantes japoneses a comprar y a instalar robots y máquinas herramientas de control numérico, y las empresas recibieron en ocasiones subsidios ocultos³². Si bien los objetivos básicos eran elevar los niveles de productividad y reducir los riesgos en el trabajo, el paso al equipo automatizado sirvió además para aumentar la demanda de productos de alta tecnología. Las empresas que compraban robots y máquinas herramientas de CN recibían un crédito fiscal del 13 por ciento sobre el precio de compra, además de los descuentos por depreciación regularmente programados³³.

1.2.3 Europa mantiene su posición

Dentro de Europa, Alemania (ex RFA) ha tomado el mando. Las empresas han insistido en la alta precisión y en capacidades especiales. Las parcelas del mercado dominadas por fabricantes alemanes tienden a ser de equipo para acabados de gran precisión, y cada firma fabrica una gama limitada de máquinas herramientas sofisticadas. El estímulo del "tirón del usuario" es importante para la innovación y los clientes de mayor peso participan en gran medida en el perfeccionamiento de nuevas máquinas y contribuyen

³² Como, por ejemplo, lucrativas licencias para importar azúcar y, más adelante, subsidios ocultos derivados de ingresos estatales procedentes de apuestas en carreras de bicicletas y motocicletas. Aprovechándose de que las carreras de bicicletas son un deporte popular en el Japón, el MITI aprobó una ley permitiendo a los municipios organizar carreras y las correspondientes apuestas. Una parte del dinero se destinó a la Asociación ciclista japonesa de rehabilitación, controlada por el MITI. El presupuesto de la organización ha superado los 2.000 millones de dólares y ha demostrado ser una fuente muy importante de fondos extrapresupuestarios para distintos proyectos del MITI, incluida la industria de máquinas herramientas, que podría haber recibido 1.000 millones de dólares de los EE.UU. Véase Clide V. Prestowitz, Jr.: Trading places, how we allowed Japan to take the lead, Basic Books Inc., 1988, págs. 222-223.

³³ En D.I. Okimoto: Between MITI and the market. Japanese industrial policy for high technology, Stanford University Press, 1989, pág. 101.

mucho con su colaboración y su confianza; su tendencia a colocar el rendimiento técnico en el lugar más alto entre sus criterios adquisitivos ha ayudado a impulsar la innovación.

Si bien Alemania (ex RFA) es el líder reconocido de la producción europea de máquinas herramientas, y el segundo productor mundial en importancia, el crecimiento de la industria italiana de este sector también ha sido dinámico. Aunque el Plan Marshall para Europa y el Gobierno italiano contribuyeron a financiar la puesta en marcha de la fabricación de máquinas herramientas en los años de postguerra, fue en el decenio de 1970 cuando realmente la producción italiana empezó a traspasar las fronteras nacionales. Italia es el quinto productor mundial de máquinas herramientas desde 1978, y en 1988 la producción de la industria italiana superó a la de los Estados Unidos y alcanzó, según estimaciones, el 7,5 por ciento del total mundial. Como en el caso del Japón, el aumento de la demanda de equipo flexible por parte de empresas pequeñas y medianas se tradujo en una mayor actividad en la producción de equipo de CN, e Italia es el segundo fabricante europeo en importancia de esa clase de equipo.

Europa sigue siendo la fuente principal de tecnología, tal como puede verse en el cuadro 12, que muestra el número de solicitudes de patentes en más de un país, por parte de países de la CE, la AELI, el Japón y los Estados Unidos, entre 1982 y 1988, y que abarca tecnologías clave relacionadas con la industria de máquinas herramientas. En cuanto a la tecnología robótica y de control, en el cuadro se pone de manifiesto que el número de patentes europeas ha sido ligeramente superior al del Japón.

1.2.4 El caso de la URSS

Aunque situada como tercera productora mundial de máquinas herramientas según la clasificación de la Asociación estadounidense de fabricantes de máquinas herramientas (NMIBA) (cuadro 11), la URSS es probablemente el mayor productor e importador mundial, ya que la NMIBA utiliza únicamente las cifras del MINSTANKOPROM, omitiendo otros ministerios³⁴ que fabrican máquinas herramientas (para vehículos y defensa, por ejemplo)³⁵. Se dice que la industria de máquinas herramientas emplea 1,8 millones de trabajadores y más de 9.000 institutos de investigación, oficinas de diseño y empresas productoras, y que es

³⁴ Son ocho los ministerios responsables de la industria de máquinas herramientas.

³⁵ Machinery and Production engineering: "The cue for capitalism, an international report", 5 de enero de 1990.

Recuadro 6: La reunificación de la industria alemana de máquinas herramientas.

Una de las consecuencias de la reunificación de Alemania ha sido la desaparición de la segunda industria, en importancia, de máquinas herramientas del CAEM, industria que era además la quinta exportadora mundial.

La industria de la ex RDA tenía sus raíces en las tradiciones que hicieron de Sajonia la cuna de la industria alemana de máquinas herramientas. La industria se reestructuró a finales del decenio de 1970 en tres "kombinates": Fritz Eckert, que se especializó en piezas prismáticas; Siete de octubre, en piezas giratorias y Uniformtechnik Herbert Warkne Erfurt, en máquinas de conformar metales. Estos grupos monopolizaban toda la cadena de producción.

ALEMANIA (RFA)	ALEMANIA (RDA)
<u>Asociación industrial</u>	<u>Empresa industrial estatal</u>
VDW	WIMW
<u>Producción bruta:</u> en 1989 (millones dólares EE.UU.)	<u>Producción bruta:</u> en 1989 (millones dólares EE.UU.)
6.800	1.400
<u>Estructura:</u> 300 empresas	<u>Estructura:</u> 3 "kombinates"
<u>Puestos de trabajo:</u> 94.000	<u>Puestos de trabajo:</u> 80.000

Adaptado de: "The autobahn's new Eastern lane",
American Machinist, mayo de 1990.

responsable de más de la cuarta parte de la producción industrial nacional³⁶. El XII Plan Quinquenal, anunciado en 1986, pedía un aumento de producción del 43 por ciento a lo largo de los cinco años del Plan, y un rápido desarrollo de las máquinas herramientas de CNC. Según Stankoimport, alrededor del 50 por ciento de las máquinas herramientas instaladas en la URSS son de control manual y el 16 por ciento de las máquinas de construcción soviética son de CNC.

³⁶ Financial Times: An ill-equipped hub, 12 de marzo de 1990.

Cuadro 12: Número de solicitudes de patente
(1982-1988)

	CEE	AELI	JAPON	EE.UU.
Mecánica	9253	2169	4371	5082
Controles	3852	552	3093	2746
Robótica	656	152	582	393
Fabricación de láser	339	57	193	241
Fuentes de láser	672	28	844	684
EDM	112	92	241	50
Productos cerámicos	1511	159	1631	1237
Revestimientos	1453	179	1504	1537
Pulvimetalurgia	443	106	459	495

Fuente: Strategic Study on European Community Machine Industry,
Bruselas, 1990

1.2.5 La segunda fila

Los cambios ocurridos entre los principales países productores no deben llevarnos a olvidar el crecimiento de los países que pueden situarse en "segunda fila", es decir, países con un valor añadido, por la producción anual de máquinas herramientas, situado entre los 100 y los 1.000 millones de dólares de los EE.UU. Entre 1978 y 1988 (tres años como promedio), la participación de estos diecisiete países en la producción mundial ha sido aproximadamente del 20 por ciento.

Los fabricantes más destacados de este grupo son Francia, Taiwán, provincia de China, China, España, Rumania, República de Corea, Yugoslavia y Brasil. Durante los diez últimos años los países más dinámicos (clasificados en términos de tasas de crecimiento) han sido: República de Corea, Taiwán, provincia de China, España y Yugoslavia. En esos países, el crecimiento rápido de la economía ha dado un fuerte impulso a la industria de máquinas herramientas que, en algunos casos, está además muy orientada a la exportación.

Entre los restantes países, la evolución más evidente ha sido la decadencia relativa de Polonia y Checoslovaquia, que poseen una gran base industrial y tradiciones muy antiguas en la fabricación de máquinas. La producción se ha estancado (en términos relativos) en la India y en Suecia. Este último país es un pequeño fabricante de máquinas herramientas, con sólo 20 empresas, pero un adelantado en tecnología. Suecia fue el primer país europeo que construyó máquinas herramientas de CNC.

1.3 La producción de máquinas herramientas en países en desarrollo³⁷

1.3.1 Valoración de conjunto

La participación de los países en desarrollo en la producción mundial de máquinas herramientas es extraordinariamente limitada: menos del 7 por ciento en 1978 y el 9 por ciento en 1988, una proporción similar a la de la participación de esos países en la producción electrónica mundial (alrededor del 14 por ciento). Se han identificado cuatro categorías de países en desarrollo³⁸: i) países que no fabrican o casi no fabrican máquinas herramientas; ii) países con capacidad para fabricar máquinas herramientas, pero no empeñados todavía en hacerlo; iii) países capaces de fabricar máquinas herramientas elementales y deseosos de diversificar su producción y llegar a la fabricación de tecnología avanzada de CNC; y iv) países a los que se puede considerar proveedores reconocidos de diferentes tipos de máquinas herramientas incluidas las de CNC. Unos quince países pertenecen al primer grupo³⁹,

³⁷ Esta sección proporciona un panorama de la producción de máquinas herramientas en países en desarrollo. Pueden encontrarse análisis más pormenorizados en los estudios de casos por países realizados por varios consultores de la ONUDI en Bolivia y el Perú, Argelia y Túnez, la República de Corea, la India, China y América Latina.

³⁸ Reunión de la CEPD (Cooperación Económica entre Países en Desarrollo) sobre máquinas herramientas celebrada en Buenos Aires en 1988.

³⁹ En varios países en desarrollo los fabricantes de máquinas herramientas no figuran casi nunca en las estadísticas industriales, ya sea por tratarse de entidades muy pequeñas o por estar integrados en empresas metalúrgicas diversificadas.

mientras que la producción está muy concentrada en los diez países⁴⁰ que pertenecen a los grupos iii) y iv).

La existencia de una base desarrollada de industrias de maquinaria es el primer requisito previo, por dos motivos, para participar en la industria de máquinas herramientas. Por lo que se refiere a la demanda, las industrias de maquinaria son, en general, el principal mercado del sector de máquinas herramientas (véase la figura 17, en 2.2), mientras que, en lo referente al abastecimiento, se necesitan industrias de apoyo (por ejemplo, fundición, forja, aceros de alto nivel, motores eléctricos, tornillos y tuercas de gran resistencia a la tensión, herramientas, útiles y montajes, control electrónico) para el establecimiento de una industria de máquinas herramientas.

La viabilidad de una industria de máquinas herramientas en un país en desarrollo depende no sólo del volumen de producción de las industrias de maquinaria sino también de su composición:

- En los países en desarrollo de ingreso bajo la industria de maquinaria está en embrión y cuenta, sobre todo, con fabricantes de productos metálicos (contenedores de metal, aparatos domésticos, muebles, etc., de la división 381 de la CIIU). La fabricación de esos artículos requiere poco maquinado y suele poder realizarse con sencillas herramientas para conformar metales. En esos países, las máquinas de cortar metales se usan sobre todo para fines de mantenimiento y educativos.

- En los países donde la producción de las industrias de maquinaria tiene más importancia, la participación de la fabricación de sencillos productos metálicos (CIIU 381) representa del 30 al 50 por ciento del valor añadido total de las industrias de maquinaria. Las empresas dedicadas a la producción y mantenimiento de maquinaria, exceptuando la eléctrica, (CIIU 382) y de equipo de transporte (CIIU 384) son los principales usuarios de las máquinas herramientas. Las necesidades crecientes de esos dos sectores ofrecen un mercado para las máquinas herramientas que justifica a veces el establecimiento de una industria nacional.

En el cuadro 13 se documenta la relación entre la producción de máquinas herramientas y el establecimiento de industrias de maquinaria en países en desarrollo, presentando tanto el valor añadido como la estructura de las industrias de maquinaria de los países en desarrollo que facilitan esas estadísticas a la ONUDI.

⁴⁰ A saber: Brasil, China, Taiwán, provincia de China, Yugoslavia, República de Corea, Argentina, India, México, Singapur y Hong Kong.

Cuadro 13: Industrias de maquinaria y producción de máquinas herramientas
(en millones de dólares EE.UU.)

	Industrias de maquinaria (según la CIIU)						MH 1989
	1987	381	382	383	384	385	
China	22000						832
Brasil	20932	17%	30%	25%	26%	2%	449
Taiwán (China)	10989	16%	14%	51%	15%	3%	695
Yugoslavia	8378	28%	23%	26%	21%	2%	671
Rep. de Corea	8219	18%	20%	53%	39%	4%	597
Argentina	5897	30%	17%	15%	37%	2%	38
India	5882	9%	30%	29%	29%	3%	272
México	5630	23%	18%	20%	33%	5%	18
Irán	3696	21%	22%	29%	44%	2%	p*
Singapur	3062	11%	14%	56%	16%	3%	37
Hong Kong	2557	20%	12%	46%	6%	16%	1,50
Nigeria	1825	24%	5%	8%	63%	0%	
Venezuela	1735	32%	16%	20%	31%	2%	
Tailandia	1681	13%	16%	19%	50%	2%	
Argelia	1561	34%	21%	15%	29%	1%	18
Iraq	1366	30%	26%	42%	2%	0%	p
Egipto	1328	18%	21%	33%	27%	1%	p
Malasia	1192	12%	10%	57%	19%	2%	p
Filipinas	729	20%	9%	61%	9%	2%	
Rep. Arabe Siria	715	45%	19%	30%	5%	0%	
Colombia	705	33%	11%	27%	24%	5%	
Perú	610	32%	21%	26%	19%	3%	1
Indonesia	526	34%	12%	20%	33%	0%	1
Chile	317	45%	18%	20%	16%	1%	
Pakistán	281	12%	22%	38%	27%	2%	5
Zimbabwe	220	43%	18%	28%	11%	0%	p
Ecuador	161	43%	5%	34%	13%	5%	
Túnez	160	58%	1%	23%	18%	1%	p
Marruecos	146	45%	10%	27%	16%	1%	p
Uruguay	143	29%	10%	27%	34%	1%	
Nicaragua	134	81%	3%	8%	5%	2%	
Kenia	115	23%	13%	39%	25%	0%	
Malta	79	19%	8%	48%	9%	16%	
Zambia	65	40%	14%	23%	23%	0%	
Bangladesh	61	20%	36%	18%	20%	7%	p
República Dominicana	58	72%	10%	16%	0%	2%	
Chipre	55	53%	27%	13%	7%	0%	
Bolivia	47	57%	23%	13%	4%	2%	
Senegal	46	52%	17%	4%	26%	0%	
Guatemala	39	41%	8%	36%	13%	3%	
Panamá	39	59%	3%	18%	13%	8%	
El Salvador	37	30%	24%	41%	0%	5%	
Honduras	37	65%	3%	24%	8%	0%	
Sri Lanka	33	33%	24%	30%	12%	0%	
Camerún	31	3%	68%	16%	13%	0%	
Rep. Unida de Tanzania	31	42%	6%	10%	42%	0%	p
Jamaica	17	35%	6%	18%	41%	0%	
Etiopia	11	91%	0%	9%	0%	0%	p

* p: producción registrada (sin cifras)

No se dispone de cifras ni en el caso de Cuba ni el de la República Democrática de Corea

Parece que los países que han iniciado una producción apreciable de máquinas herramientas se caracterizan por un valor añadido, en razón de las industrias de maquinaria, superior a una cota de referencia de 1.000 millones de dólares de los EE.UU. (en 1987); también se registra cierta producción en países donde el valor añadido de las industrias de maquinaria se sitúa entre los 100 y los 1.000 millones.

En la mayoría de los países en desarrollo productores de máquinas herramientas, la participación conjunta de maquinaria, exceptuando la eléctrica, equipo de transporte y maquinaria de precisión representa más del 40 por ciento del valor añadido de las industrias de maquinaria.

1.3.2 América Latina

El crecimiento económico de los países latinoamericanos se detuvo en el decenio de 1980 bajo el peso de la deuda exterior. El rendimiento del sector industrial disminuyó (pasando de un promedio anual de crecimiento del 6,4 por ciento entre 1971 y 1980 a otro del 1,0 por ciento entre 1981 y 1988), presentando además grandes fluctuaciones. La relación entre la inversión interior bruta y el PIB ha pasado de un promedio de valor del 23 por ciento (1970-1979) al 18 por ciento (1980-1986). En dólares de los EE.UU. de poder adquisitivo fijo (1986) la inversión bruta de América Latina descendió de 192.000 millones en 1980 a 141.000 en 1987 y en términos de la inversión bruta por trabajador pasó de 1.634 dólares de los EE.UU. (1980) a 1.039 (1987)⁴¹.

Esta evolución macroeconómica ha tenido consecuencias negativas para el sector de bienes de capital, con el que los países de América Latina habían logrado beneficios importantes en el decenio de 1970. Los subsectores de equipo de transporte y de maquinaria, exceptuando la eléctrica, han experimentado descensos de producción, respectivamente, de -2,3 por ciento y de -2,6 por ciento anuales entre 1980 y 1987⁴². Esta crisis ha deteriorado mucho la situación de la industria latinoamericana.

En la Argentina la producción local se inició en 1903 y, para finales del decenio de 1920, los inmigrantes habían establecido varias empresas, a menudo como talleres de reparación que pasaron a la fabricación basada en la "ingeniería a la inversa" y protegidos por las restricciones a la utilización de divisas. La

⁴¹ Inter American Development Bank: Economic and Social Development in Latin America, Washington, 1988.

⁴² Calculado a partir de cifras de la ONUDI.

producción comenzó en gran escala en el decenio de 1960; el comienzo del de 1970 se consideró como los "años dorados" de la industria y, para 1973, se habían establecido alrededor de 73 empresas que daban empleo a 13.000 trabajadores. La producción alcanzó un máximo de 22.500 unidades en 1973, de las que se exportaron 5.000. Para 1985, sin embargo, la producción había disminuido hasta quedar reducida a la décima parte del volumen de 1973, al mismo tiempo que la fuerza de trabajo descendía a 2.500.

La industria se vio muy afectada por la crisis económica y la repentina y drástica reducción de la protección. La inversión y la producción interior descendieron, por lo que quebraron muchas empresas. Algunos fabricantes que habían conseguido compensar la contracción del mercado interior mediante la exportación a otros países latinoamericanos se vieron afectados por la baja de esas economías. Después de años de profunda crisis, la producción aumentó a 35 millones de dólares en 1987. La proporción de las importaciones en el consumo aparente, que fluctuaba en torno al 50 por ciento, ha aumentado de manera notable desde 1980, y entre 1986 y 1988 el crecimiento de la exportación ha compensado hasta cierto punto la disminución del consumo interior (figura 10).

Desde el punto de vista de ventas y nivel tecnológico⁴³ la industria se compone de cuatro grandes grupos. En el primero figuran tres empresas que producen de manera habitual MHCN (tornos, fresadoras y centros de maquinado) y que funcionan con licencias extranjeras; el segundo grupo lo componen tres empresas que fabrican máquinas de conformar metales; treinta empresas pequeñas forman el tercer grupo, mientras que el cuarto consta de entidades de subcontratación de limitada capacidad tecnológica.

La industria brasileña de máquinas herramientas (figura 11) es la mayor de América Latina. La producción nacional recibió un fuerte impulso en la segunda guerra mundial cuando cesaron los suministros importados. Si bien hubo cierto descenso de la producción interior al final de la guerra, por la desaparición de las restricciones a la importación, el crecimiento de las industrias de maquinaria bastó para mantener el interés en la producción nacional de máquinas herramientas. En 1970 Brasil cubrió la mitad de las necesidades del mercado interior y exportó en el seno de la Asociación Latinoamericana de Libre Comercio.

La industria, a lo largo del decenio de 1970, pasó de producir por valor de 33 millones de dólares de los EE.UU. a

⁴³ D. Chudnowski: "The diffusion and production of numerical controlled machine tools with special reference to Argentina", *World Development*, vol. 16, nº 6, 1988.

Figura 10: ARGENTINA
Producción, consumo y comercio

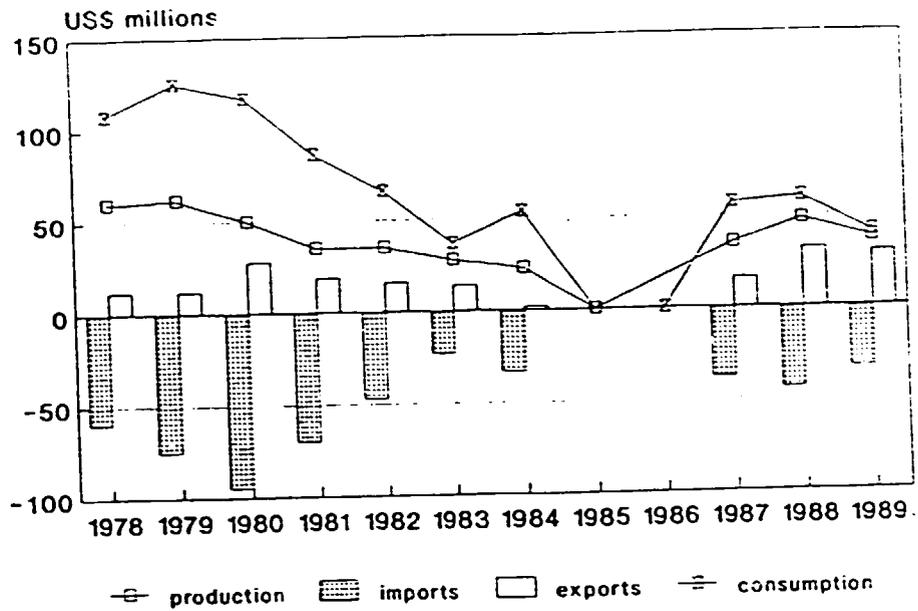
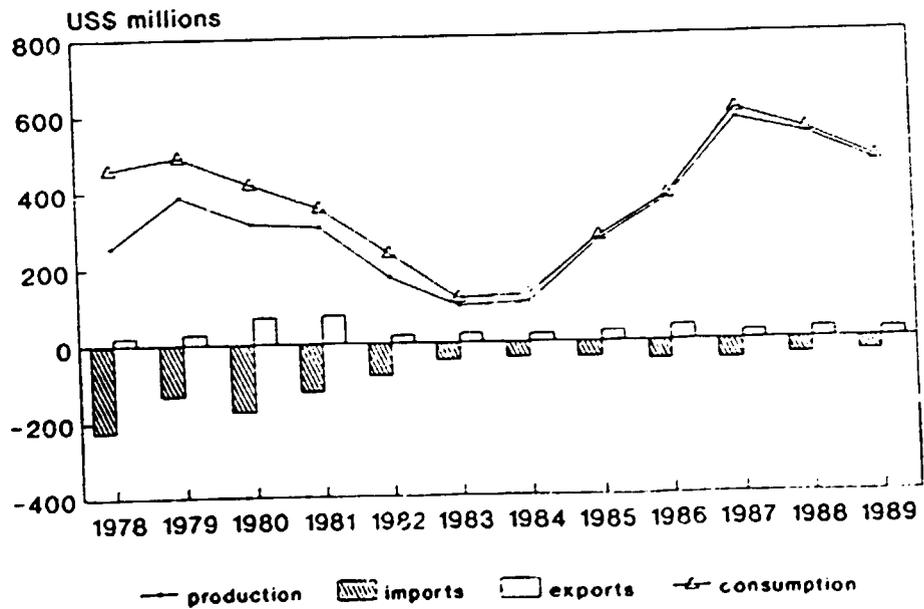


Figura 11: BRASIL
Producción, consumo y comercio



producir por valor de 400 millones. La crisis económica que provocó una brusca reducción del mercado interior y, ulteriormente, del principal mercado de exportación (México) desembocó en un drástico descenso de la producción, y la industria atravesó por cinco años de profunda recesión (1981-1986). Debido a la acusada falta de divisas y a la centralización de los pagos por importaciones, los fabricantes de máquinas herramientas no estuvieron en condiciones de comprar piezas y materiales a proveedores extranjeros. Muchas empresas, sin posibilidad de exportar a países no latinoamericanos, funcionaban a muy escasa capacidad y un buen número quebró. Debido a los efectos reflacionarios del plan Cruzado (1986), el mercado interior se recuperó hasta cierto punto y la producción aumentó en 1986 y 1987, pero volvió a descender de nuevo en 1988 y 1989.

En el Brasil y en la Argentina la crisis ha aumentado el retraso tecnológico. A la producción nacional de MHCN le correspondió el 36 por ciento de la producción de máquinas herramientas en 1986-1987 (742 unidades fabricadas en 1988). La creciente penetración de las importaciones se produce en el Brasil en paralelo con la reducción del consumo aparente.

Cabe diferenciar⁴⁴ tres grandes grupos de empresas. El primero lo componen una docena de filiales de empresas extranjeras —atraídas por el desarrollo de la industria del automóvil—, que fabrican líneas de transferencia, tornos de CN, mandrinadoras de CN, centros de maquinado y una gama amplia de máquinas complejas. En el segundo grupo figuran una docena de empresas brasileñas grandes y medianas que se dedican a las máquinas herramientas convencionales y se han incorporado recientemente al control numérico. En el tercero hay que incluir a ochenta empresas brasileñas pequeñas y medianas que fabrican máquinas herramientas convencionales polivalentes.

En México la producción interior se inició en el decenio de 1930⁴⁵. Muchas fábricas, sin embargo, no sobrevivieron a la segunda guerra mundial debido a lo anticuado de su tecnología y a la fuerte competencia de la importación. La actividad se reanudó en el decenio de 1960 y, durante el periodo de auge del petróleo, en el decenio de 1970, la producción pasó de 2 millones de dólares de los EE.UU. en 1974 a una cifra récord de 24 millones en 1981.

La política industrial seguida por México no alentó el desarrollo de esta industria. A la industria de bienes de capital

⁴⁴ F. Erber: Cooperación, entre la Argentina y el Brasil, en materia de automatización industrial, ONUDI, noviembre de 1990.

⁴⁵ M. Humbert: Las máquinas herramientas en México, ONUDI, 1990.

se le dio un bajo nivel de protección y, en general, tanto a los organismos del Gobierno como al sector privado les resultó más fácil importarlos. Las empresas estatales disfrutaron de acceso ilimitado a equipo de importación con tipo cero de arancel⁴⁶. México es el mayor importador de máquinas herramientas entre los países latinoamericanos, y la importación cubre el 80% del consumo interior. El aumento del consumo en los últimos años (255 millones de dólares de los EE.UU. en 1988) no ha impulsado un aumento paralelo de la producción interior (18 millones de dólares en 1988).

La producción nacional es muy limitada y cubre menos del 10 por ciento de la demanda interior; las máquinas que se fabrican son sencillas máquinas convencionales, mientras que el 40 por ciento de las importaciones son máquinas herramientas de CN y centros de maquinado.

El número de empresas que fabrican máquinas herramientas ha descendido de 30 en 1966 a 7 en 1980 y a 4 en 1989, con un total de 295 trabajadores. Las dos empresas mayores son mixtas. FAMA (Fábrica de Máquinas y Accesorios), con una producción de 3 millones de dólares de los EE.UU. en 1988, es una empresa mixta con participación de STROJIMPORT, de Checoslovaquia. OERLIKON MEXICANA es otra empresa mixta en la que participa OERLIKON de Suiza; su producción fue de 1 millón de dólares en 1988. Desde 1980 han desaparecido varias empresas, como, por ejemplo, INDUSTRIAL LAGUMERA, que era la fabricante más antigua de máquinas herramientas.

Colombia, Cuba, el Perú y Venezuela son los restantes países latinoamericanos donde también se fabrican máquinas herramientas.

En Colombia hay tres fabricantes importantes. Uno de ellos surgió del taller de reparación de un destacado grupo textil. Al principio fabricaba tornos mecánicos, taladradoras de banco, de columna y radiales, y cepilladoras. Empezó sin un convenio de licencia y adquirió la pericia técnica gracias a una empresa checoslovaca. Otros dos fabricantes de tornos funcionaban gracias a convenios de licencia con entidades españolas. Varias empresas más fabricaban equipo para conformar metales, como prensas de excéntrica y prensas hidráulicas.

En el Perú, donde la producción se inició en el decenio de

⁴⁶ Banco Mundial: The manufacturing sector: situation, prospects and policies, Washington, 1979.

1970, existen 55 entidades (1987)⁴⁷ de máquinas herramientas que emplean un total de 500 trabajadores. La producción nacional fue de 836.000 dólares de los EE.UU. en 1988 y cubrió el 5 por ciento de la demanda nacional de máquinas de cortar metales y el 11 por ciento de las de conformar metales. Los principales productos que se fabrican son tornos paralelos, prensas hidráulicas y fresadoras, con convenios de licencia con Argentina, Brasil, Italia, Checoslovaquia, Bulgaria y Rumania.

1.3.3 China, la India y el Pakistán

En China (figura 12) la producción de máquinas herramientas comenzó en el decenio de 1930. Se reconstruyeron las fábricas destruidas durante la segunda guerra mundial y durante el decenio de 1950 se edificaron otras veinte de grandes dimensiones. En el decenio de 1960 se establecieron fábricas adicionales al mismo tiempo que se procuraba la dispersión de la industria.

Este sector, que incluye la fabricación de máquinas herramientas y accesorios y de máquinas para trabajar la madera, emplea a 600.000 personas y su producción alcanzó un valor de 832 millones de dólares en 1989. Comprende más de 400 fábricas de tamaño pequeño, mediano y grande y de ellas se considera que 121 son las principales, que funcionan bajo la dirección del Ministerio de la industria de fabricación de máquinas.

La producción china cubría anteriormente casi todas las necesidades nacionales, pero, a raíz del programa de modernización iniciado en 1978, la importación aumentó de manera espectacular y en 1988 le correspondió aproximadamente el cincuenta por ciento del consumo aparente, en contraposición al 14 por ciento de 1978, mientras que la participación de las exportaciones en la producción también pasó del 5 por ciento en 1978 al 15 por ciento en 1988. Entre sus principales mercados se hallan los países en desarrollo, sobre todo de Asia Sudoriental.

China produjo 151.800 máquinas herramientas de cortar metal en 1985 y se calcula que 161.000 en 1986⁴⁸; estas cifras de producción son estimaciones demasiado bajas, ya que un gran número de empresas fabrican máquinas para su propio uso. En 1982 se calculó en 3 millones de unidades las máquinas herramientas

⁴⁷ J. González Roda: La industria de máquinas-herramienta y la difusión de control numérico en el Perú y Bolivia, ONUDI, octubre de 1990.

⁴⁸ American Machinist, febrero de 1987.

Figura 12: CHINA
Producción, consumo y comercio

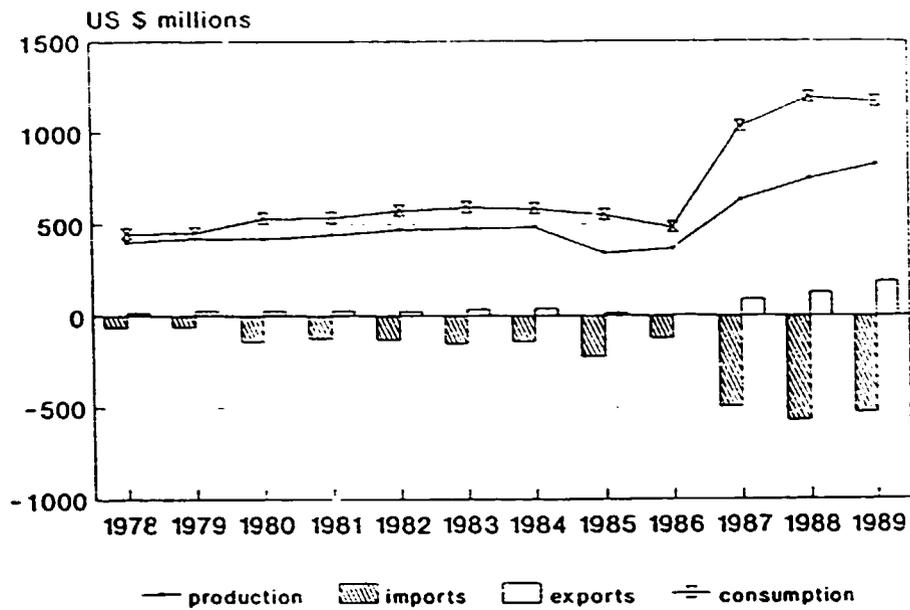
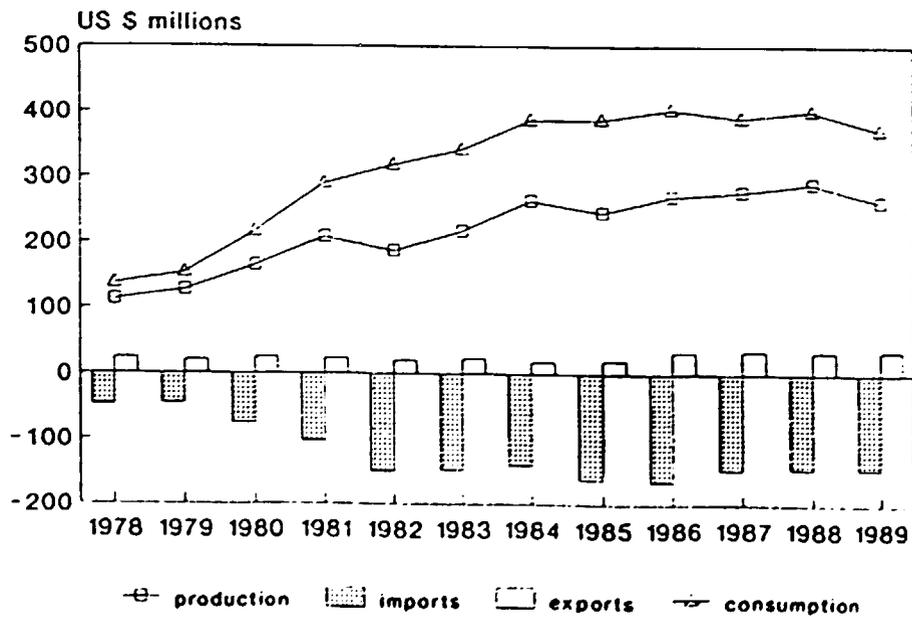


Figura 13: INDIA
Producción, consumo y comercio



instaladas en China, lo que, comparado con la capacidad instalada de países industrializados (2,3 millones en los Estados Unidos), parece excesivo. Ello se explica en parte por la adhesión de la industria china al principio de autosuficiencia y al hecho de que, en contra de la práctica de los países industrializados, en los que las máquinas viejas y anticuadas se reemplazan por otras modernas, en China se conservan las máquinas viejas y sencillamente se les añaden las nuevas⁴⁹.

En la India, la fabricación de máquinas herramientas (figura 13) empezó en el decenio de 1930 y antes de la segunda guerra mundial se calculaba en 100 el número total de fabricantes. El estallido de la guerra obligó a los fabricantes a producir equipo de defensa, lo que aumentó la demanda de máquinas herramientas. El Gobierno británico de la India aprobó en 1941 el Decreto de control de máquinas herramientas, cuya finalidad principal era reglamentar y mejorar la producción y reservar las de mejor calidad para las industrias de guerra. El cese de las importaciones exigió un mayor esfuerzo de la industria nacional: durante los 6 años de guerra se fabricaron 20.000 máquinas herramientas, en comparación con 273 en 1941.

Después de la guerra la industria fue incapaz de competir con las importaciones y el número de empresas descendió de 125 a 45. El nuevo Gobierno indio decidió ayudar a la industria de máquinas herramientas. Se firmó un acuerdo de colaboración con OERLIKON y BUEHRLE (Suiza) para la instalación de HINDUSTAN MACHINE TOOLS Ltd. (Bangalore), que empezó a producir en 1955. Se crearon incentivos para la industria y se redujo o se prohibió la importación. También se firmaron otros muchos acuerdos con destacados fabricantes de Europa, el Japón y los Estados Unidos. La producción satisfizo una mayor demanda por parte del consumo interior, pasando del 23 por ciento en 1961 al 71 por ciento en 1971 y al 70 por ciento en 1980⁵⁰.

A finales del decenio de 1970, la industria india de máquinas herramientas estaba en condiciones de fabricar la mayoría de las máquinas de utilidad general solicitadas por los usuarios nacionales. Hindustan Machine Tools (HMT) empezó a diseñar máquinas herramientas de CN y de CNC en 1970 gracias a sus propias actividades de I y D; la industria nacional usuaria, sin embargo,

⁴⁹ IBRD: Staff appraisal report, Shanghai machine-tool project, Washington, 1987.

⁵⁰ Según las cifras de American Machinist; según las estadísticas indias, en cambio, se trataba del 86 por ciento en 1979.

no manifestó mucho interés por esa tecnología⁵¹. Cuando el Gobierno introdujo medidas liberalizadoras a comienzos del decenio de 1980, se importaron en gran escala máquinas especializadas y máquinas herramientas de CNC que explican la mayor participación de las importaciones en el consumo interno (el 40 por ciento en 1988). La cooperación tecnológica ayudó a las empresas indias de máquinas herramientas a introducir las de CNC (se fabricaron 300 en 1986) y, si la tendencia continúa, la participación de las de CNC alcanzará en 1994 el 30 por ciento de la producción total⁵².

Las exportaciones de máquinas herramientas han aumentado, y la URSS se ha convertido en uno de los principales mercados para la India como resultado de un nuevo acuerdo de coproducción firmado en 1987 entre los dos países. También han aumentado las exportaciones a otros países, tanto industrializados como en desarrollo, donde HMT participa en algunos proyectos para entregar fábricas de máquinas herramientas totalmente instaladas. Las máquinas herramientas japonesas representan la cuarta parte del mercado de importación. Están aumentando las importaciones de Taiwán y de la República de Corea; estos dos países atienden a las pequeñas industrias cuya demanda ha ido en aumento.

En el Pakistán⁵³ la producción de armas de fuego, iniciada en 1860, ofreció la base para el desarrollo de la industria de máquinas herramientas. En 1905 se construyó un torno de puntos y varios fabricantes de máquinas herramientas empezaron a mantener el ritmo de respuesta a la demanda, que se inició en el decenio de 1920 con la fabricación de motores de combustión. De un total de 188 empresas estudiadas en 1985, trece funcionaban desde antes de 1940. En 1962 el Gobierno decidió establecer una fábrica de máquinas herramientas. La Pakistan Machine Tool Factory (PMTF) inició sus actividades en 1969 en cooperación con OERLIKON y BUEHRLE (Suiza); por otra parte, BECO (más adelante llamada PECO), una empresa privada, pasó a manos del sector público en 1972. El programa de producción de las empresas estatales se ha centrado en

⁵¹ H.C. Gandhi: Regional study on machine-tool industry in Asia, the case of India, ONUDI, 1990.

⁵² Según la exposición de la delegación india enviada a la reunión del Grupo de trabajo sobre cooperación para la producción y aplicación de máquinas herramientas en determinados países en desarrollo, Shangai, mayo de 1989.

⁵³ Ghulam Kibria: A study of the machine-tool industry potential of indigenous capability in the engineering industry of Pakistan, Research Report Series Number 21, National Development Corporation, Karachi, marzo de 1988.

fresadoras, tornos revólver y tornos de puntos de precisión; también se ha orientado hacia el mercado interior de máquinas de alta precisión, mientras que las empresas privadas, que fabricaban máquinas menos precisas, pero a precios más competitivos, atendían a un mercado mucho más amplio.

El Pakistán ha estado produciendo aproximadamente 4.500 máquinas herramientas al año, de las cuales 4.300 proceden del sector privado; en 1985 la producción interior representó el 55 por ciento del consumo aparente (medido en unidades). El volumen de exportaciones, aunque muy pequeño (250 unidades en 1985), es indicativo de las posibilidades de esta industria.

1.3.4 Asia Sudoriental

Las ramas de la industria de Asia Sudoriental, con acento en la tecnología, que empezaron a crecer a partir de operaciones de montaje con gran intensidad de mano de obra, experimentaron un desarrollo muy dinámico entre 1980 y 1987, con una tasa de crecimiento del 15,4 por ciento. La participación de Asia Sudoriental en la industria mundial de maquinaria ha pasado del 8,6 por ciento al 17,1 por ciento. La industria eléctrica ha sido el sector más dinámico en esa región del mundo. No obstante, durante el decenio de 1980, los sectores de maquinaria, exceptuando la eléctrica, y de equipo de transporte también han experimentado crecimientos muy rápidos, acentuados aún más en años recientes por efecto de la apreciación del yen, que llevó a las empresas japonesas a buscar en países de Asia Sudoriental nuevas fuentes de insumos y a transferirles tecnología. El desarrollo de las industrias de maquinaria, unido al aumento tanto de las inversiones interiores como exteriores, ha acelerado la demanda de máquinas herramientas en Asia Sudoriental.

En la República de Corea⁵⁴ (figura 14) la mayoría de las fábricas de máquinas herramientas de preguerra quedaron destruidas durante el conflicto de Corea; la industria de máquinas herramientas se hallaba en situación embrionaria antes del comienzo del decenio de 1970 y reflejaba el estado de subdesarrollo, en líneas generales, de la industria de maquinaria.

Después de mediados del decenio de 1970, la industria de máquinas herramientas se amplió rápidamente ayudada por los planes del Gobierno de desarrollo a largo plazo, que incluían la construcción del complejo de maquinaria de Changwon. Durante el

⁵⁴ P. Judet: L'industrie de la machine outil en Corée, ONUDI, 1990.

Figura 14: REPUBLICA DE COREA
Producción, importaciones y exportaciones

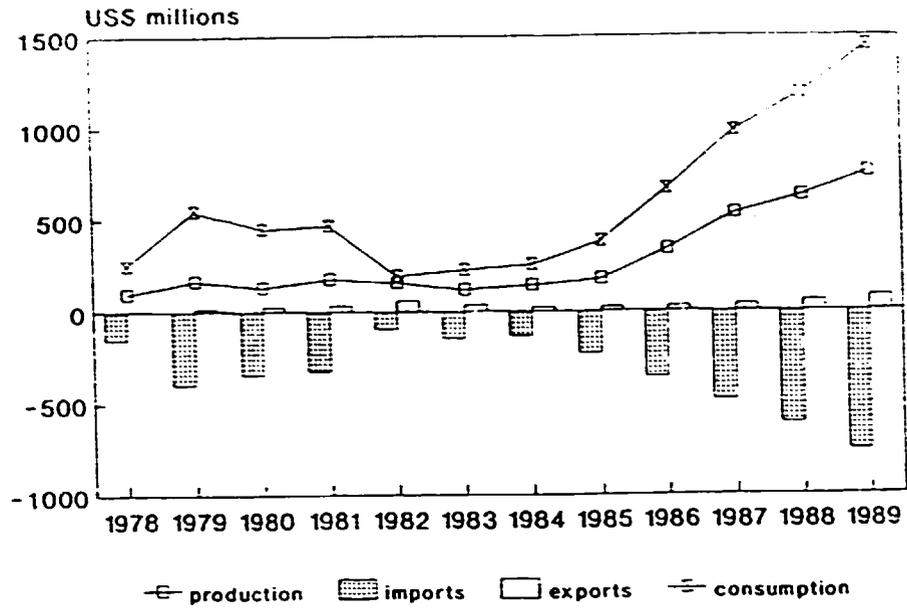
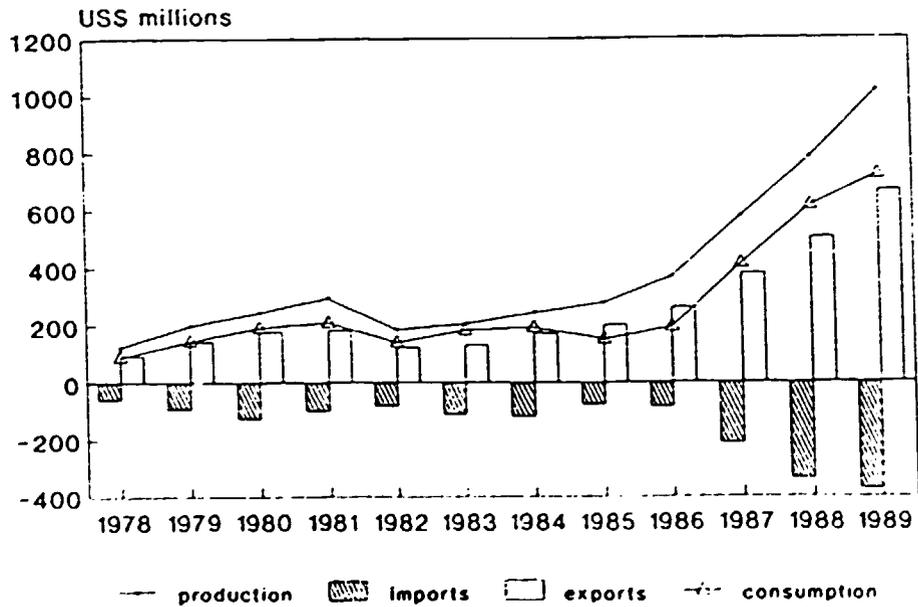


Figura 15: TAIWAN, provincia de CHINA
Producción, importaciones y exportaciones



quinto Plan quinquenal de desarrollo económico, el Gobierno designó a la industria de máquinas herramientas como sector principal de exportación. La producción aumentó, pasando de 2,6 millones de dólares de los EE.UU. a 53 millones en 1980 y a 159 en 1985.

De 1986 a 1989, la industria coreana creció espectacularmente y el aumento de la inversión en las industrias de maquinaria provocó un mayor consumo de máquinas herramientas, al mismo tiempo que la subida de los salarios llevó a una mayor demanda de automatización de las fábricas. En 1988 la República de Corea era el sexto mayor mercado del mundo de máquinas herramientas. La producción interior pasó de 200 millones de dólares de los EE.UU. en 1985 a 600 millones en 1988; esto, sin embargo, resultó insuficiente para satisfacer el aumento de la demanda. Los problemas laborales, la liberalización de las importaciones y el fortalecimiento del won frente al dólar se hallan entre los factores que llevaron a que, en gran parte, este aumento de la demanda se atendiera mediante importaciones que, en 1988, supusieron el 50 por ciento del consumo aparente (30 por ciento a finales del decenio de 1970). Si bien la producción coreana se orienta sobre todo hacia el mercado interior, la competitividad en precios provocada por la apreciación del yen se ha traducido en un aumento de las exportaciones.

La producción de máquinas herramientas de CN, que se inició a comienzos del decenio de 1980, ha aumentado rápidamente y, en 1988, representaba el 34,9 por ciento del valor de producción de las máquinas de cortar metales.

Según la Asociación coreana de fabricantes de máquinas herramientas, existen en el país noventa y seis fabricantes con una fuerza de trabajo de 18.000. La industria se caracteriza por su concentración; a las doce empresas más importantes les corresponde más del cincuenta por ciento de la fuerza de trabajo. La mayor de todas es KIA, máquinas herramientas, filial del grupo KIA (vehículos de motor) (80 millones de dólares de los EE.UU. en 1987), seguida de WHACHEON (70 millones) y de SAMCHULLY y DAEDONG. También los principales fabricantes de automóviles (HYUNDAI y DAEWOO) manufacturan máquinas herramientas.

Durante el decenio de 1970, Taiwán, provincia de China (figura 15), dejó de ser un proveedor "aficionado"⁵⁵ de máquinas herramientas para Asia Sudoriental y se transformó en el octavo mayor exportador del mundo y cuarto proveedor de los Estados

⁵⁵ Alice H. Amsden: "The division of labour is limited by the rate of growth of the market: The Taiwan machine-tool industry in the 1970's", Cambridge Journal of Economics, 1985, págs. 271-284.

Unidos. La producción aumentó de 10 millones de dólares de los EE.UU. en 1970 a 245 millones en 1980. Después de cinco años de estancamiento, la apreciación del yen dio un nuevo impulso a las exportaciones de Taiwán, que doblaron su volumen entre 1986 y 1988, al mismo tiempo que el aumento de la inversión interior provocó un mayor consumo nacional. Taiwán, provincia de China, es el único país en desarrollo con superávit de la balanza comercial de máquinas herramientas. El convenio voluntario de restricción a la exportación firmado con los Estados Unidos en 1987⁵⁶ y el brusco aumento de la cotización del nuevo dólar de Taiwán obstaculizaron las exportaciones en 1988, al mismo tiempo que las importaciones aumentaban en un 33 por ciento. Con el fin de superar estos nuevos problemas la industria está diversificando sus mercados y varias empresas han decidido instalar plantas de montaje en los Estados Unidos.

Según la Asociación de fabricantes de máquinas herramientas de Taiwán, la industria abarca entre 300 y 500 pequeñas empresas situadas en los alrededores de Taichung, donde existe un extenso sector de subcontratación que emplea a 30.000 personas. Las máquinas herramientas de CN representan alrededor del 30 por ciento de la producción en términos de valor.

En un periodo de tiempo relativamente breve Singapur se ha convertido en destacado fabricante de máquinas herramientas. La producción se inició en 1977 y para 1988 las ventas del sector ascendían a 37 millones de dólares de los EE.UU. El crecimiento de la industria obedece a⁵⁷: i) la presencia en el país de fabricantes internacionales de máquinas herramientas, ii) la disponibilidad de sólidas industrias de apoyo como instalaciones de tratamiento por el calor y de tecnología de precisión (y de una industria electrónica muy desarrollada) y, finalmente, iii) la facilidad para establecer relaciones de subcontratación sobre una base regional (con Malasia y, en cierta medida, con Tailandia).

En Indonesia, el periodo de auge del petróleo en el decenio de 1970 financió la inversión en manufactura y provocó una gran demanda de máquinas herramientas. Sólo se fabricaron, sin embargo, máquinas sencillas. En 1983 se creó una empresa propiedad del Estado (PT IMPI) y el Gobierno aprobó once empresas privadas. Desgraciadamente la demanda interior empezó a disminuir debido a la caída de los precios del petróleo. Las importaciones de

⁵⁶ En el convenio, Taiwán, provincia de China, aceptó reducir en un 10 por ciento la exportación a los Estados Unidos de centros de maquinado, tornos y fresadoras.

⁵⁷ The Machine-Tool industry in the ASEAN region: options and strategies; Main issue at regional level, UNIDO IS.634.

máquinas herramientas, que habían alcanzado un punto culminante de 120 millones de dólares de los EE.UU. en 1981, descendieron a 48 millones en 1986, para subir luego a 110 en 1987 y 1988. La producción interior siguió siendo muy pequeña (1,3 millones de dólares de los EE.UU. en 1988), y la máquina más comúnmente fabricada continúa siendo el torno: la producción nacional fue de 241 unidades, mientras que, por otra parte, se importaron 1.782 unidades completas⁵⁸.

En Malasia, la industria de máquinas herramientas se limita a algunos fabricantes de máquinas para trabajar la madera y de sencillas taladradoras de metal. La demanda interior se calcula actualmente en 50 millones de dólares de los EE.UU. y se satisface fundamentalmente con importaciones.

1.3.5 Africa Septentrional y Asia Occidental

En algunos países de Africa Septentrional y de Asia Occidental los ingresos generados por la exportación de petróleo han proporcionado al sector de producción los medios necesarios para importar bienes de capital y tecnología. Las industrias "descendientes" basadas en el petróleo han encabezado el crecimiento industrial en esta región, mientras que el sector de las industrias de maquinaria, sobre todo el sector no eléctrico, ha registrado un crecimiento inferior al promedio.

Se calcula que la capacidad de producción de los países árabes⁵⁹ es de 3.000 máquinas anuales, si bien en 1987 la producción fue de 2.000, y muy concentrada en Argelia, Egipto y Marruecos⁶⁰.

En la República Islámica del Irán, la empresa TABRIZ MACHINE MANUFACTURING, establecida en 1971, es el primer y único fabricante de máquinas herramientas. La producción se ha limitado a tornos, taladradoras y fresadoras. La empresa firmó un acuerdo de cooperación con Checoslovaquia y empezó a fabricar fresadoras con DECKEL (RFA) en 1985. Una empresa privada, derivación de un pequeño centro de investigación sobre maquinaria, ha empezado a fabricar máquinas electroerosionadoras, consiguiendo exportar algunas. La producción de máquinas herramientas satisface una

⁵⁸ Indonesian Commercial Newsletter, octubre de 1988.

⁵⁹ Arabia Saudita, Argelia, Egipto, Iraq, Jordania, Libia, Marruecos, Siria y Túnez.

⁶⁰ Organización Árabe para el Desarrollo Industrial: Le développement de la machine outil dans le monde arabe, 1987.

pequeña parte del mercado interior de 100 millones de dólares de los EE.UU.⁶¹.

En Egipto, la HELWAN MACHINE TOOL Co., empresa propiedad del Estado, establecida en 1958, empezó a fabricar en 1962. La URSS se encargó de la construcción de la fábrica de máquinas herramientas, dejándola totalmente instalada, con aportación de diseños y experiencia tecnológica sobre la producción. A la fábrica se la dotó de equipo convencional y se le proporcionó un servicio de I y D para permitir a los técnicos de la fábrica el diseño y la elaboración de taladradoras y rectificadoras y la posibilidad de introducir algunos ajustes en los diseños de tornos. Está en marcha un programa de modernización con la ayuda de una empresa alemana. Se afirma que la tasa de integración nacional es del 85 por ciento⁶².

Un fabricante privado (HAWASH) de equipo para ingeniería civil diversificó en 1966 su producción hacia las máquinas herramientas y fabrica máquinas sencillas para subcontratistas nacionales.

En Argelia, la industria de máquinas herramientas está dominada por una sola empresa nacional, Entreprise Nationale de Production de Machine Outil (ENPMO), que empezó a fabricar en 1977. La producción acumulada ha sido de 7.000 máquinas herramientas; existen siete líneas de producción: fresadoras, mandrinadoras, tornos, sierras alternativas para metales, limadoras, afiladoras y rectificadoras. La producción actual de ENPMO alcanza un valor de 20 millones de dólares de los EE.UU. (500 empleados), mientras que la demanda interior es de 233 millones. La tasa media de integración alcanza el 78 por ciento⁶³.

Marruecos y Túnez han establecido una empresa mixta para la producción de máquinas de cortar metales y de trabajar la madera, con participación de una empresa francesa de máquinas herramientas. Esta entidad fabrica tornos y fresadoras.

⁶¹ Organización para el desarrollo y la renovación industrial del Irán: Development of machine tool industries in the Islamic Republic of Iran, nota presentada en la Reunión de Shangai, de mayo de 1989, sobre máquinas herramientas.

⁶² M.O. Benouali: Rapport pour la reunion sur la cooperation interarabe dans le domaine de la machine outil, ONUDI, 1990.

⁶³ Belhadj, A. y Chelbi A.: L'industrie de la machine outil en Algerie et en Tunisie, ONUDI, 1990, y ENPMO: La Machine Outil en Algerie, situation actuelle et strategie de developpement, mayo de 1989.

1.3.6 Africa Subsahariana

En 1984, 72 de los 179 países que de manera regular suministran datos industriales pormenorizados a la Oficina de Estadística de las Naciones Unidas informaron de ausencia de producción en el caso de las 145 mercancías clasificadas bajo el epígrafe "manufactura de productos elaborados de metal, maquinaria y equipo". El mismo año, 51 países informaron de que su producción de bienes de capital se reducía a la fabricación de unos diez productos aproximadamente⁶⁴. Buena parte de esos países figuran entre los menos industrializados de los países en desarrollo y están situados en Africa. Debido al escaso nivel de desarrollo de las industrias de maquinaria de la mayoría de los países africanos, sólo unos pocos se han incorporado a la industria de máquinas herramientas. En la República Unida de Tanzania, la empresa KILIMANJARO MACHINE TOOL inició la producción en 1983 mediante la importación de insumos de MACHINOEXPORT (Bulgaria). Esta empresa fabrica ocho tipos de máquinas herramientas convencionales entre las que figuran tornos de cortar metales y de trabajar la madera, rectificadoras y taladradoras, cepillos desbastadores, sierras alternativas para metales, sierras sin fin y máquinas combinadas para trabajar la madera. En Nigeria, la NIGERIA MACHINE TOOLS funciona desde 1980 en cooperación con la HINDUSTAN MACHINE TOOLS de la India, mientras que en Zimbabwe y Etiopía se fabrican piezas de repuesto para máquinas herramientas.

2 Consumo de máquinas herramientas

El consumo de máquinas herramientas es un indicador aproximado de la tasa de industrialización de un país. En 1988 correspondía a los países industrializados el 63 por ciento del consumo mundial de máquinas herramientas, mientras que la participación de las economías dirigidas era del 28 por ciento y del 9 por ciento la de los países en desarrollo, proporciones cercanas a su participación de conjunto en las industrias de maquinaria.

Los países productores más importantes son también los mayores mercados consumidores. Entre los países cuyos mercados interiores sobrepasaron la cota de referencia de los 1.000 millones de dólares de los EE.UU. entre 1986 y 1988 se hallan la URSS, los Estados Unidos, Alemania (ex RFA), el Japón e Italia. Al

⁶⁴ ONUDI: Industry and Development Global Report 1988/89, Viena, pág. 121.

Recuadro 7: La dinámica del consumo

UCIMU ha analizado los factores económicos que explican la fluctuación de la demanda de máquinas herramientas en países industrializados comparando el consumo de esas máquinas en los principales países industrializados con variables macroeconómicas y examinando sus relaciones durante el período 1980-1986.

Según su cálculo de elasticidad cíclica, la inversión en máquinas herramientas durante esos siete años dependió más de fluctuaciones de la coyuntura que del desarrollo económico. Pueden tomarse en consideración dos hipótesis a la hora de explicar la dinámica del consumo de máquinas herramientas.

La primera asume que la demanda de máquinas herramientas es la respuesta a la necesidad de nueva capacidad fabril presente ya en los usuarios finales; en ese caso su aumento (o disminución) debe producirse después de los cambios en el PIB.

En una explicación simétrica, se puede asumir que la demanda de máquinas herramientas precede a los cambios en el PIB, por cuanto una nueva capacidad fabril implica la anterior adquisición de los bienes de capital pertinentes.

La primera hipótesis corresponde al modelo conceptual según el cual la inversión depende del nivel de beneficios actuales, que determina la posibilidad de financiación, y del nivel de beneficios estimados, que determina la conveniencia de invertir; la segunda es más técnica y concede mayor importancia a elementos exógenos en las decisiones de inversión.

UCIMU ha ensayado estas dos hipótesis en Italia mediante la inserción de desfases entre el PIB y el consumo de máquinas herramientas. Los resultados muestran un mayor coeficiente de correlación en el caso de la primera hipótesis. De acuerdo con el ejemplo italiano, parece que el consumo de máquinas herramientas depende estrechamente de las expectativas de las tendencias económicas.

comparar el consumo con la producción, la inversión en orden de los Estados Unidos y de la URSS por una parte, y del Japón y de la RFA por otra, refleja las diferentes pautas comerciales de esos países.

2.1 La dinámica del consumo en las economías industrializadas

La demanda de máquinas herramientas se halla estrechamente relacionada con el comportamiento en materia de inversiones de las industrias de maquinaria, en las que existe la necesidad de transformar tecnológicamente las fábricas en funcionamiento y de ampliar la capacidad de fabricación (recuadro 7).

El consumo de máquinas herramientas, una adquisición de equipo, solía estar estrechamente ligada a la inversión industrial. Sin embargo, debido a los cambios tecnológicos que se están produciendo, parece que esto sucede cada vez menos en los países industrializados. Alemania (ex RFA), por ejemplo, gastó menos en máquinas herramientas en 1988, aunque la inversión industrial fue la más elevada desde 1985; de manera semejante, en los Estados Unidos el consumo de máquinas herramientas descendió de 1987 a 1988, pese a aumentar la inversión industrial. Mediante la figura 16 se ilustra esta tendencia; en ella se muestra la evolución de la inversión industrial (medida en volumen) comparada con el consumo de máquinas herramientas de los Estados Unidos, Alemania (ex RFA) y el Japón, medido en precios constantes.

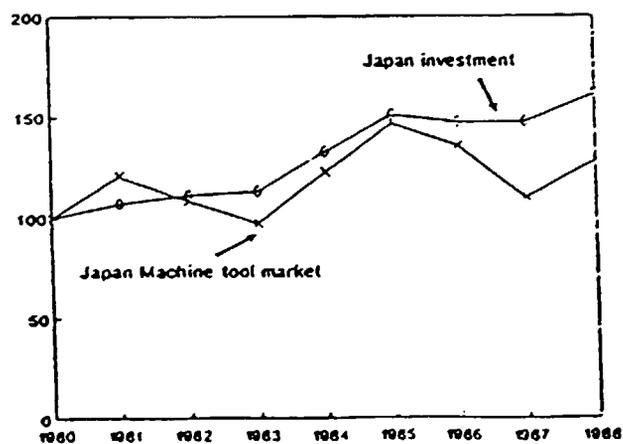
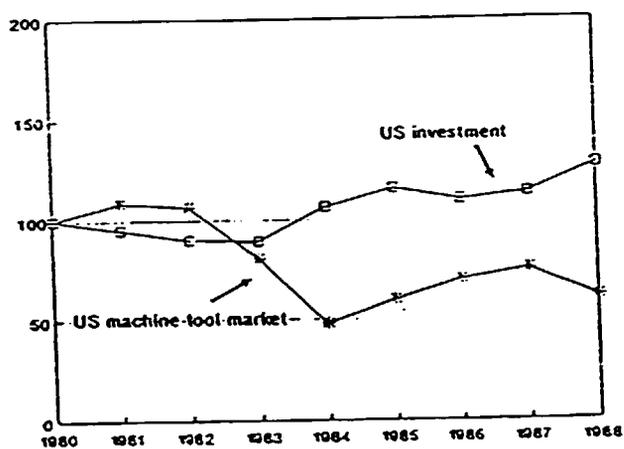
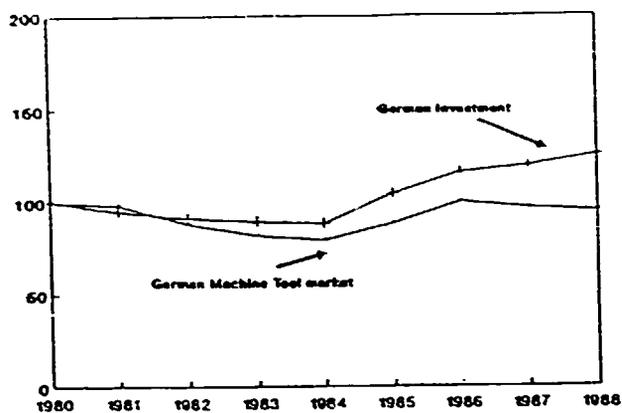
Esta evolución se explica por la reducida importancia, dentro de la inversión de capital, de los gastos en programas informáticos comparados con los gastos de equipo: nos hallamos ante la desmaterialización del capital. La adquisición de nuevo equipo como las máquinas herramientas de control numérico y los sistemas de fabricación flexible requiere gastos cada vez mayores en programas informáticos. La fracción de inversión proyectada para los programas informáticos frente a la inversión en equipo puede aumentar, a lo largo del tiempo, en el caso de nuevas inversiones industriales, desde el 10 por ciento en 1980 al 20 por ciento en 1990 y situarse cerca del 50 por ciento en el año 2000⁶⁵.

2.2 Consumo de máquinas herramientas en los países en desarrollo

En el cuadro 14 se dan cifras de consumo para algunos países en desarrollo durante el período 1987-1989.

⁶⁵ R.U. Ayres: "Technology forecast for CIM", en Manufacturing Review, vol. 2, nº 1, marzo de 1989.

Figura 16: Inversiones en fabricación y consumo de máquinas herramientas



Source: OECD and American Machine Tool

Cuadro 14: Consumo de máquinas herramientas en los países en desarrollo
(promedio en millones de dólares EE.UU., 1987-1989)

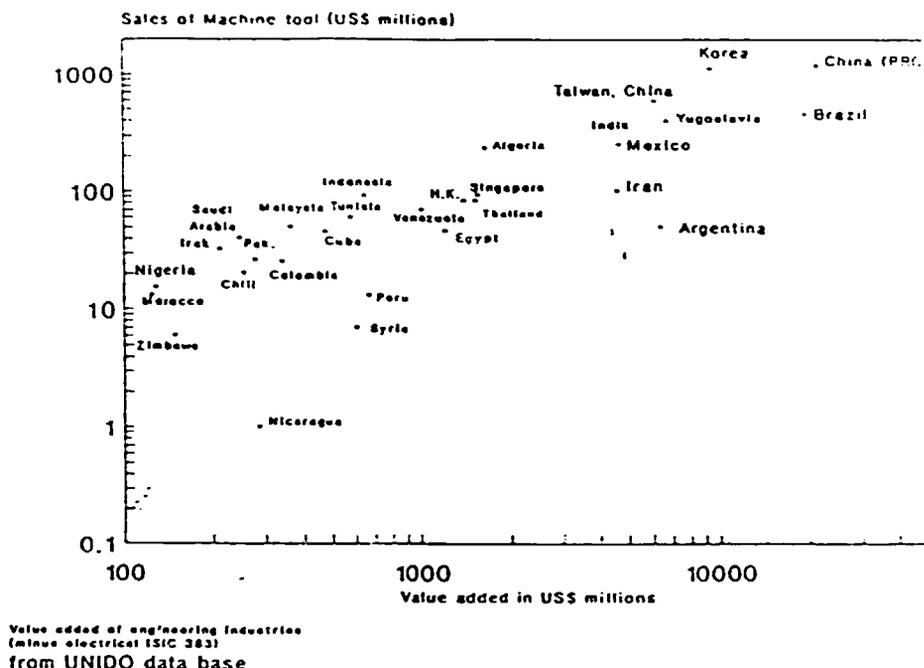
Rep. de Corea	1203	Indonesia	69
China	1132	Malasia	67
Taiwán (China)	584	Tailandia	59
Brasil	539	Argentina	53
India	388	Venezuela	50
Yugoslavia	336	Portugal	40
México	223	Hong Kong	38
Irán	100		
Singapur	96		
Argelia	93		

Fuentes: Preparado a partir de American Machinist, datos de comercio de las Naciones Unidas y estadísticas nacionales.

Parece existir una clara relación entre el consumo aparente de máquinas herramientas de un determinado país y el nivel de desarrollo de sus industrias de maquinaria (según la medida que proporciona su valor añadido⁶⁶). Mediante la figura 17 se ilustra esta correlación en el caso de veinte países en desarrollo para los que el valor añadido de las industrias de maquinaria se situaba entre los 200 y los 22.000 millones de dólares de los EE.UU. En la figura se subraya el efecto de la crisis económica de América Latina en el caso del Brasil y de la Argentina, donde el nivel del consumo de máquinas herramientas no se alinea con el nivel de desarrollo de sus industrias de maquinaria. Podemos suponer que el mercado interior del Brasil "debería estar" cerca de los 1.000 millones de dólares de los EE.UU. (en lugar de 590 millones), mientras que el de la Argentina "debería" ser de 200 millones (en lugar de 36). En contraste con esto, mientras el volumen del consumo de máquinas herramientas en China está en línea con su desarrollo, el mercado interior coreano, que era el sexto en importancia en 1988, es extraordinariamente grande: la necesidad de automatización está acelerando la inversión en máquinas herramientas.

⁶⁶ Con exclusión del valor añadido de la maquinaria eléctrica, en razón del sesgo introducido por la industria electrónica, que está muy desarrollada en Asia Sudoriental y que no es un mercado importante para máquinas herramientas, y tal como lo recoge la ONUDI en Industry and Development Global Report 1989/90.

Figura 17: Mercado de máquinas herramientas y desarrollo de las industrias de maquinaria (1988)



3 El comercio internacional de máquinas herramientas

En 1968 se comerciaba internacionalmente con un tercio de la producción mundial de máquinas herramientas y en 1988 esa proporción aumentó hasta el 48 por ciento. La exportación ha hecho de las máquinas herramientas una industria mundial, y para tener éxito en este negocio mundial es necesario exportar con eficacia. La universalización se ha acelerado con la reducción de las barreras comerciales, con el aumento en la especialización, puesto que ningún país puede conseguir la autosuficiencia en una industria tan diversificada, y con los esfuerzos de los fabricantes nacionales para combatir el carácter cíclico de la industria y buscar nuevos mercados.

3.1 Características del comercio

3.1.1 Países importadores y exportadores más importantes

En el cuadro 15 se ha clasificado a los diez países importadores y exportadores más importantes de acuerdo con el promedio de rendimiento de sus exportaciones e importaciones durante un período de tres años (1987-1988-1989).

Cuadro 15: Los principales diez países exportadores - importadores
Millones de dólares EE.UU., promedio (1987-1989)

Alemania (RFA)	4019	Estados Unidos	2157
Japón	3359	URSS	1924
Suiza	1553	RFA	1306
Italia	1298	Francia	935
RDA (ex)	1256	Italia	706
Estados Unidos	766	Reino Unido	700
Reino Unido	605	Canadá	646
Taiwán (China)	517	Rep. de Corea	618
Francia	383	China	531
Yugoslavia	370	Bélgica	395

Alemania (ex RFA) es el principal exportador y, desde 1978, el Japón ocupa el segundo lugar. Si bien la participación de los Estados Unidos en el total de exportaciones ha disminuido, esto ha sido aún más grave en el caso de Europa Occidental. Los países de Europa Oriental, que comerciaban fundamentalmente entre sí, también registran una disminución de su participación en las exportaciones; Taiwán, provincia de China, es el octavo país exportador en importancia.

El principal mercado de importación es el de los EE.UU., seguido de la URSS y de Alemania (ex RFA). En contraste con otros países productores, el Japón importa poco, por lo que su participación en las importaciones mundiales también sigue siendo pequeña. La República de Corea y China se sitúan en los puestos octavo y noveno, respectivamente, entre los principales países importadores. En los cuadros 16 y 17 se recogen las importaciones y exportaciones de máquinas herramientas de los 35 principales países productores durante el período que va de 1977 a 1989.

3.1.2 Comercio interior y especialización para el mercado

La industria de máquinas herramientas se caracteriza por un grado muy elevado de apertura. Las proporciones comerciales⁶⁷ pueden alcanzar hasta el 300 por ciento en países como el Canadá o Suecia, mientras que en otros países industrializados (Alemania,

⁶⁷ La proporción comercial es igual a: importaciones + exportaciones / producción.

Cuadro 16: Exportaciones de máquinas herramientas, 1978-1979
(en millones de dólares EE.UU.)

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Japón	1017	1263	1522	1692	1272	1263	1751	2186	3063	3053	3258	3765
Alemania (RFA)	2122	2508	2965	2584	2206	1950	1781	1970	2993	3654	4069	4333
URSS	332	324	302	242	238	245	194	210	288	312	380	380
Estados Unidos	560	649	785	972	573	406	409	452	590	586	768	945
Italia	596	689	848	795	640	593	558	707	971	1048	1309	1537
Suiza	653	790	870	740	714	671	672	836	1259	1435	1626	1598
Reino Unido	426	473	675	537	478	319	302	341	395	501	687	627
RDA	548	662	695	674	653	770	744	759	980	1202	1298	1269
Francia	382	458	516	390	295	295	250	208	308	284	396	470
Taiwán (China)	94	144	178	183	124	132	172	202	261	380	504	667
China	20	28	28	30	25	35	38	14	8	93	130	190
España	148	211	229	207	165	99	114	151	178	219	260	325
Rep. de Corea	5	15	26	32	61	36	22	23	27	37	57	76
Rumania	88	136	145	133	144	114	60	55	52	132	168	188
Yugoslavia	42	54	83	55	136	134	126	143	219	303	403	405
Brasil	20	28	71	74	21	24	20	28	39	23	29	24
Checoslovaquia	246	303	323	310	276	264	251	253	310	330	219	266
Suecia	138	175	181	164	138	114	125	151	164	193	214	225
Canadá	53	76	85	99	154	55	119	105	144	64	98	193
Polonia	163	190	220	170	53	64	78	71	69	98	119	120
Austria	94	118	131	108	121	127	131	93	161	169	299	363
India	24	20	25	23	20	23	18	20	33	35	34	35
Bélgica	99	111	206	119	116	96	104	133	263	294	287	372
Hungría	84	94	94	96	96	97	111	138	138	170	94	96
Bulgaria	15	21	22	201	207	165	140	80	86	85	157	138
Dinamarca	24	26	39	32	44	37	21	42	52	58	65	62
Países Bajos	35	71	93	74	66	105	82	98	121	179	147	156
Singapur	19	24	38	27	22	46	78	84	84	85	30	36
Finlandia						21	17	23	18	29	40	40
Argentina	12	12	28	19	16	14	2	0	0	16	32	30
México	1	1	4	4	2	2	2	1	3	3	11	10
Portugal	4	5	6	4	3	5	5	7	7	9	10	10
Australia	1	1	1	7	5	4	4	7	4	5	7	8
Hong Kong					4	1	1	1	6	6	0	0
TOTAL	8069	9685	11439	10836	9115	8386	8584	9676	13393	15207	17205	18959

Fuente: American Machinist

Cuadro 17: Exportaciones de máquinas herramientas, 1978-1989
(en millones de dólares EE.UU.)

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Japón	120	164	229	216	220	171	139	220	285	265	382	481
Alemania (RFA)	462	621	802	616	488	453	467	636	1036	1253	1266	1399
URSS	803	881	988	952	1162	1448	1291	1387	1514	1850	1923	2000
Estados Unidos	715	1049	1298	1437	1153	946	1356	1738	2252	1969	2058	2445
Italia	194	256	380	300	208	182	183	196	347	566	707	845
Suiza	124	154	225	189	157	116	130	170	313	360	383	440
Reino Unido	399	600	623	432	409	294	342	614	559	530	732	837
RDA	218	244	257	214	170	111	113	96	157	199	285	299
Francia	289	371	554	566	479	351	301	358	618	738	971	1097
Taiwán (China)	58	92	125	99	80	110	119	76	85	215	338	374
China	65	60	140	125	130	150	140	223	123	494	570	530
España	90	91	103	142	176	96	56	59	106	251	312	349
Rep. de Corea	156	398	344	324	97	145	135	229	358	486	609	760
Rumania	339	374	317	311	197	125	80	75	71	134	123	115
Yugoslavia	150	193	187	131	140	138	125	69	143	145	154	154
Brasil	226	132	175	124	85	44	40	39	48	49	40	35
Checoslovaquia	170	201	213	168	127	82	74	67	81	85	190	170
Suecia	109	127	185	191	151	120	128	174	229	312	340	310
Canadá	228	260	433	557	256	186	256	334	356	528	732	677
Polonia	596	498	350	200	120	55	99	86	84	203	233	250
Austria	150	193	187	131	140	138	125	69	151	173	454	529
India	49	46	76	104	151	148	141	162	166	147	145	145
Bélgica	113	127	206	139	117	115	127	166	282	321	453	412
Bulgaria	25	23	24	268	262	205	160	145	156	336	123	93
Hungría	113	127	139	127	122	115	93	91	95	124	61	60
Dinamarca	40	43	51	28	43	40	14	75	114	111	109	99
Países Bajos	91	129	160	111	94	122	106	192	326	361	247	251
Singapur	47	84	103	114	107	113	172	143	145	145	40	30
Finlandia						90	62	70	93	115	111	110
Argentina	60	75	95	70	47	23	33	0	0	38	44	33
México	75	85	310	450	320	110	140	146	202	249	177	203
Portugal	15	39	40	54	50	23	20	23	28	33	34	35
Australia	107	155	155	195	163	113	48	108	134	137	84	70
Hong Kong				4	11	2	5	52	74	75	12	9
TOTAL PARCIAL	6396	7892	9474	9089	7632	6680	6820	8288	10731	12997	14442	15646
OTROS	1643	1717	1777	1271	1110	1606	1570	927	2496	2984		
TOTAL	8039	9609	11251	10360	8742	8286	8370	9215	13227	15981		

Fuente: American Machinist

Italia, el Reino Unido, Suiza, por ejemplo) esta proporción se sitúa en la zona del 75 por ciento. El Japón es una excepción, y debido a su bajo nivel de importaciones su proporción comercial ha sido inferior al 50 por ciento.

En algunos países de Europa Occidental (Suiza, Suecia y Alemania) las exportaciones representan entre el 60 y el 90 por ciento de la producción. La participación de las importaciones en el consumo aparente es muy elevada en países productores como Suiza y Suecia, donde la industria está muy especializada en algunas líneas de productos. La participación cada vez mayor de las importaciones en el consumo interno de los Estados Unidos contrasta con el caso del Japón, donde la producción interior satisface el 93 por ciento del consumo aparente.

La evolución de la orientación a la exportación y de la penetración de las importaciones pone de manifiesto en algunos casos que el éxito de las exportaciones es inseparable del dominio del mercado interior. Esto resulta especialmente claro en el caso de los Estados Unidos y de Francia, donde el aumento del nivel de penetración de las importaciones parece haber ido de la mano con pérdidas en las exportaciones. Y en el caso del Japón se produce la situación inversa, ya que la penetración de las importaciones disminuyó abruptamente y, de manera paralela, aumentaron las exportaciones.

La combinación de orientación a la exportación y de penetración de las importaciones, en el caso de la mayoría de los principales países productores, sugiere que la industria de máquinas herramientas se caracteriza por un grado elevado de especialización para el mercado. En el cuadro 18 se recoge la especialización para la exportación de algunas máquinas herramientas de cortar metales en los países que informaron a CECTMO en 1988: es evidente un alto grado de especialización, tal como lo indican los siguientes ejemplos:

- en el caso de Alemania (ex RFA): corresponde a tornos, rectificadoras y pulidoras y centros de maquinado el 65 por ciento de las exportaciones;
- en el caso del Japón: corresponde a tornos (31 por ciento), centros de maquinado (28 por ciento) y rectificadoras y pulidoras (12,4 por ciento) el 71 por ciento de las exportaciones.

La penetración de las importaciones es menor en los mercados que son especialidad de fabricantes nacionales.

Otra forma de considerar esta especialización es medir la participación de esos países en mercados concretos (cuadro 19):

Cuadro 18: Especialización en la exportación de determinadas máquinas herramientas de cortar metales en 1988

	Alemania		Reino Unido					Taiwán (China)					
	Austria	Francia	(RFA)	EE.UU.	Italia	España	Suecia	Suiza	Japón	India	Corea*		
Taladradoras	1%	2%	2%	2%	3%	8%	4%	9%	3%	4%	1%	1%	17%
Fresadoras	21%	18%	13%	6%	11%	14%	44%	5%	12%	4%	11%	4%	14%
Mortajadoras-limadoras y serradoras	6%	5%	5%	4%	3%	8%	2%	2%	1%	4%	1%	0%	6%
Tornos	43%	24%	24%	13%	33%	16%	19%	15%	16%	31%	36%	55%	26%
Rectificadoras y pulidoras	11%	13%	22%	29%	17%	17%	12%	51%	25%	12%	28%	2%	15%
Mandrinadoras	1%	2%	5%	5%	6%	7%	4%	2%	3%	3%	0%	1%	1%
EDM y ECM	4%	13%	4%	2%	6%	7%	3%	3%	24%	11%	16%	1%	6%
Talladoras de engranajes	0%	0%	5%	8%	1%	2%	0%	0%	7%	1%	7%	0%	0%
Centros de maquinado y líneas de transferencia	10%	18%	19%	10%	16%	12%	7%	6%	10%	28%	0%	15%	13%
Total de MH de cortar metales	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Total de MH de cortar metales (Millones de dólares EE.UU.)	183	255	2628	444	535	784	192	124	1310	2453	23	51	423

Cuadro 19: Participación en el mercado de exportación de determinadas máquinas herramientas de cortar metales en 1988

	Alemania		Reino Unido					Taiwán (China)					Total	Millones de dólares EE.UU.	
	Austria	Francia	(RFA)	EE.UU.	Italia	España	Suecia	Suiza	Japón	India	Corea*				
Taladradoras	1%	2%	14%	3%	5%	17%	2%	3%	10%	25%	0%	0%	19%	100%	374
Fresadoras	4%	4%	33%	3%	6%	11%	8%	1%	15%	9%	0%	0%	6%	100%	1011
Mortajadoras-limadoras y serradoras	3%	4%	35%	4%	4%	15%	1%	1%	2%	25%	0%	0%	6%	100%	397
Tornos	3%	3%	27%	3%	8%	6%	2%	1%	9%	33%	0%	1%	5%	100%	2307
Rectificadoras y pulidoras	1%	2%	32%	7%	5%	8%	1%	4%	18%	17%	0%	5%	4%	100%	1756
Mandrinadoras	1%	2%	35%	6%	8%	15%	2%	1%	10%	19%	0%	0%	1%	100%	356
EDM y ECM	1%	4%	13%	1%	4%	6%	1%	0%	36%	31%	0%	3%	3%	100%	882
Talladoras de engranajes	0%	0%	40%	11%	1%	5%	0%	0%	30%	12%	1%	2%	0%	100%	300
Centros de maquinado y líneas de transferencia	1%	3%	30%	3%	5%	6%	1%	0%	7%	40%	0%	0%	3%	100%	1708
Total de MH de cortar metales	2%	3%	28%	5%	6%	8%	2%	1%	14%	26%	0%	0%	4%	100%	9404
MH de CN para cortar metales	2%	3%	31%	2%	5%	4%	2%	1%	10%	37%	0%	5%	2%	100%	5176

Fuente: Preparado a partir de estadísticas de CECIMO

* República de Corea

Cuadro 20: Medida de la competitividad comercial en el caso de Norteamérica

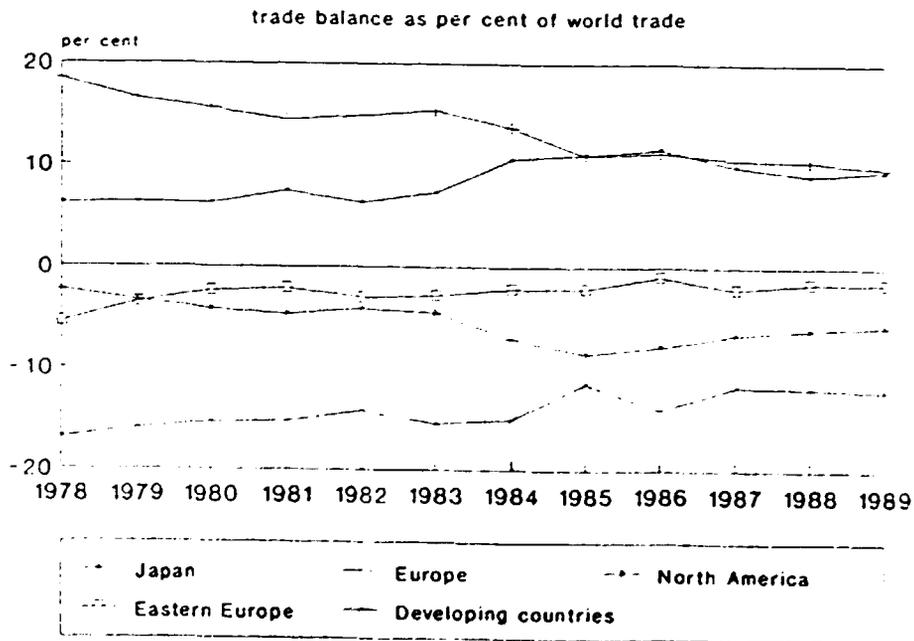
	1978	1989
Exportaciones (1)	613	1138
Importaciones (2)	943	3122
Comercio mundial (3)*	16128	37902

	En porcentaje	
Participación en exportaciones (1)/(3)	3,8%	3,0%
Participación en importaciones (2)/(3)	5,8%	8,2%
Resto	-2,0%	-5,2%

* Teniendo en cuenta las importaciones de países que no se recogen en American Machinist

Metodología elaborada por el Centre d'Etudes Prospectives et d'Informations Internationales

Figura 18: Competitividad internacional.
Regiones principales



- A dos países les corresponde el 70 por ciento de las exportaciones, recogidas por CECIMO, de máquinas herramientas para tallar engranajes: Alemania (40 por ciento) y Suiza (29,7 por ciento)
- Corresponde a dos países (Alemania y Suiza) el 66 por ciento de las exportaciones de máquinas de electrodescarga (EDM) y de maquinado electroquímico (ECM).

También existe un notable grado de comercio intra-industria, sobre todo relacionado con sistemas de control y algunos componentes mecánicos de máquinas herramientas como, por ejemplo, bastidores o armazones.

3.1.3 Competitividad comercial

Por sí solo, el análisis del flujo de importaciones y exportaciones no muestra el nivel de competitividad de un determinado país o grupo de países. El puesto de un país en un mercado se basa en el saldo entre sus exportaciones e importaciones comparado con el valor del comercio mundial de ese producto. En el caso de Norteamérica, por ejemplo, aunque la exportación de máquinas herramientas ha aumentado desde 1978 a 1989, el crecimiento del comercio mundial ha sido mucho mayor, de manera que la participación de Norteamérica en el comercio mundial se ha reducido de 3,8 por ciento a 3 por ciento. En el mismo período, la balanza comercial de Norteamérica empeoró, pasando del -2 por ciento al -5,2 por ciento.

En la figura 18 se recoge la evolución, de 1978 a 1989, de la balanza comercial de Norteamérica, Europa Occidental, Europa Oriental (incluida la URSS), el Japón y los países en desarrollo, poniendo de manifiesto la erosión de la competitividad comercial de los países de Europa Occidental y de Norteamérica y la mejora de la del Japón durante el mismo período. La competitividad de Europa Occidental se explica, en general, por la actuación de Alemania (ex RFA), Suiza e Italia. Los países de Europa Oriental no estaban integrados en el mercado internacional. Esto se debía a su estrategia de desarrollo y al hecho de que las reglas del COCOM⁶⁸ no autorizaban la exportación de determinadas máquinas herramientas de CN, a las que se consideraba susceptibles de aplicaciones militares.

⁶⁸ Comité coordinador para el control multilateral de la exportación.

3.1.4 Ventajas comparativas de los países en desarrollo⁶⁹

La ventaja comparativa de un determinado país se puede deducir utilizando tres medidas:

- la balanza comercial de la industria nacional;
- el porcentaje de producción exportada, que muestra la competitividad internacional incluso aunque la industria sea una importadora neta; y
- la participación de la industria nacional en el mercado interior, que muestra el grado de autosuficiencia. Unida a la primera medida muestra si esta autosuficiencia se traduce en competitividad internacional.

En la figura 19 se sitúa a los principales productores entre los países en desarrollo de acuerdo con esas tres medidas en 1980 y 1989. Se pueden identificar cinco categorías de países:

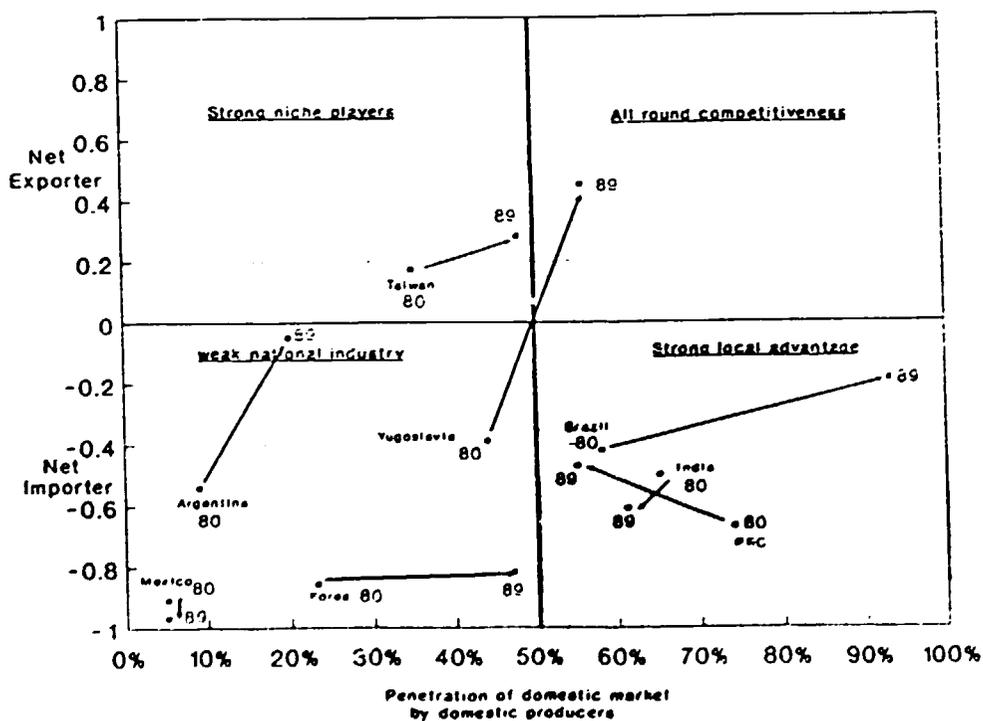
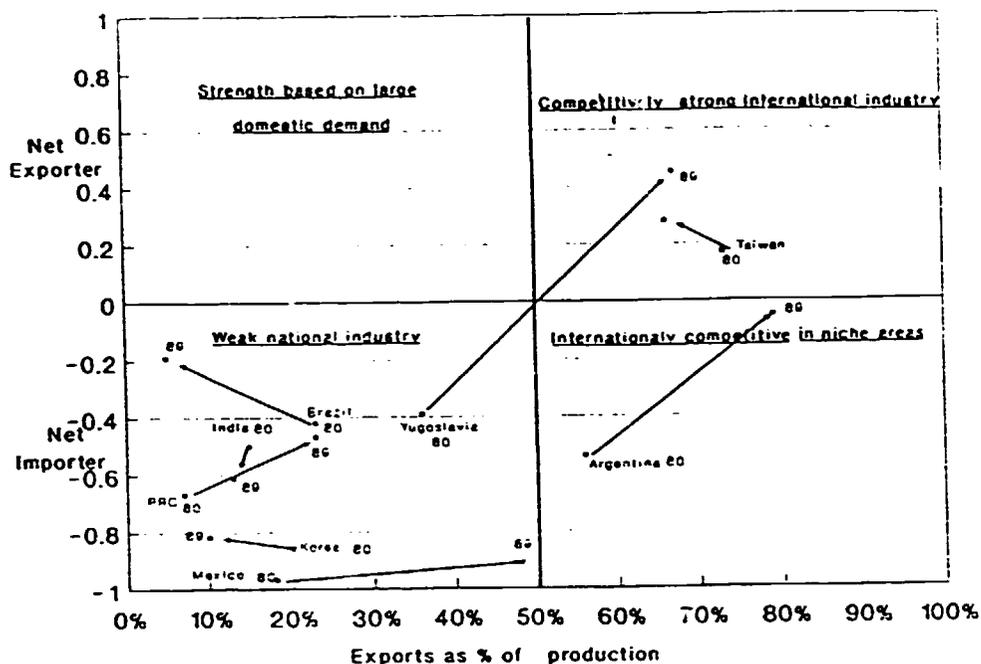
- i) Yugoslavia, que es un país exportador neto y cuya producción ha conseguido una elevada penetración en el mercado interior, es, en 1989, el único país en desarrollo de competitividad global.
- ii) También Taiwán, provincia de China, es un exportador neto, si bien se caracteriza por una menor penetración interior (aunque en aumento desde 1980 a 1989): la creciente demanda interior ha fomentado las importaciones, pero la industria nacional se ha centrado en exportaciones de volumen y productos tradicionales y es muy competitivo en determinados huecos de mercado (rectificadoras, centros de maquinado, taladradoras y tornos pequeños y medianos).
- iii) Tres de los países en desarrollo analizados son importadores netos pero con una elevada penetración en el mercado interior: Brasil, India y China.

A los países que son importadores netos y tienen una penetración baja en el mercado interior se les puede clasificar además según su proporción de exportaciones:

- iv) La proporción de exportaciones de la Argentina ha crecido de manera notable, y eso quizá sugiera que esta industria con un mercado interior pequeño es internacionalmente competitiva en algunos productos especializados.
- v) México y la República de Corea se caracterizan por su baja proporción de exportaciones (en retroceso, además, en la República de Corea) y se les puede identificar, por lo tanto, como industrias nacionales débiles.

⁶⁹ La metodología se ha adaptado de la elaborada por W.S. Atkins en Strategic study of the E.C. machine-tool industry.

Figura 19: Situaciones comparativamente ventajosas de países en desarrollo. Cambios entre 1980 y 1989



En la República de Corea, sin embargo, la industria nacional satisface casi la mitad de la demanda interior de máquinas herramientas, a pesar de un crecimiento muy rápido del mercado interior, por lo que ese país está pasando a formar parte de la categoría de los que cuentan con sólidas ventajas nacionales.

3.2 Importaciones de países en desarrollo

Los países industrializados constituyen el mayor mercado de importación de máquinas herramientas: en 1980 (cuadro 21) y en 1987 (cuadro 22), el 80 por ciento de sus exportaciones se destinaron a otros países industrializados (inclusive países del Este) mientras que el 20 por ciento se destinaba a países en desarrollo⁷⁰. El comercio de máquinas herramientas se realiza a menudo con base regional: los países de Europa Oriental destinaron el 83 por ciento de sus exportaciones a otros países de Europa Oriental; los países de Europa Occidental destinaron el 57 por ciento de sus exportaciones a Europa Occidental y el 10 por ciento a Europa Oriental⁷¹.

Las exportaciones a países en desarrollo desempeñan un papel muy destacado en el caso de Norteamérica (el 34 por ciento en 1980, el 39 por ciento en 1987) y de manera cada vez mayor en el caso del Japón (del 29 por ciento al 34,5 por ciento). La proporción de exportaciones de máquinas herramientas de Europa Occidental a países en desarrollo ha disminuido del 18 al 16 por ciento; y la misma evolución se ha producido en el caso de Europa Oriental (del 7,4 al 7 por ciento).

Las estadísticas sobre la importación de máquinas herramientas por parte de 73 países en desarrollo entre 1980 y 1987⁷² muestra que (cuadro 23 y figura 20) el promedio de valor de

⁷⁰ Los datos de exportación se han preparado a partir de la información de la Comisión Económica para Europa y, a diferencia de las cifras de exportación de American Machinist, tienen en cuenta la exportación de piezas de máquinas herramientas (CIU 736).

⁷¹ Existen estrechos vínculos entre fabricantes alemanes de máquinas herramientas y varias empresas de máquinas herramientas de Europa Oriental en términos de convenios de subcontratación.

⁷² Estos datos difieren de los de American Machinist: i) las estadísticas de las Naciones Unidas tienen en cuenta las importaciones de piezas de repuesto; ii) prescinden de las importaciones de máquinas herramientas a países en desarrollo procedentes de otros países en desarrollo.

Cuadro 21: Dirección del comercio en 1980
(en millones de dólares EE.UU.)

Desde:	NORTEAMERICA	JAPON	EUROPA OCC.	EUROPA OR.	TOTAL
A:					
NORTEAMERICA	379,40	586,40	885,50	32,10	1883,40
EUROPA OCCIDENTAL	372,90	354,50	3904,70	212,70	4844,80
JAPON	81,80	0	142,90	10,20	234,90
OCEANIA	22,20	40,50	114,50	4,90	182,10
EUROPA ORIENTAL	39,90	89	1036,40	1221,60	2386,90
PAISES EN DESARROLLO	482,90	457,70	1451,90	123,30	2515,40
AFRICA	7,90	15,70	253,40	20,10	297,10
AMERICA LATINA	322,60	50,70	594	33,30	1000,60
ASIA EN DESARROLLO	106,30	369,80	432,40	44,30	952,80
ORIENTE MEDIO	46,10	21,10	172,10	25,60	264,90
TOTAL	1397,30	1568	7903,80	1668,90	12538

Distribución de las exportaciones de los países industrializados

A / desde =	NORTEAMERICA	JAPON	EUROPA OCC.	EUROPA OR.	
NORTEAMERICA	27,2%	37,4%	11,2%	1,9%	15,0%
EUROPA OCCIDENTAL	26,7%	22,6%	49,4%	12,7%	38,6%
JAPON	5,9%	0,0%	1,8%	0,6%	1,9%
OCEANIA	1,6%	2,6%	1,4%	0,3%	1,5%
EUROPA ORIENTAL	2,9%	5,7%	13,1%	73,2%	19,0%
PAISES EN DESARROLLO	34,6%	29,2%	18,4%	7,4%	20,1%
AFRICA	0,6%	1,0%	3,2%	1,2%	2,4%
AMERICA LATINA	23,1%	3,2%	7,5%	2,0%	8,0%
ASIA EN DESARROLLO	7,6%	23,6%	5,5%	2,7%	7,6%
ORIENTE MEDIO	3,3%	1,3%	2,2%	1,5%	2,1%
	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Origen de las importaciones desde los países industrializados

A / desde =	NORTEAMERICA	JAPON	EUROPA OCC.	EUROPA OR.	
NORTEAMERICA	20,1%	31,1%	47,0%	1,7%	100,0%
EUROPA OCCIDENTAL	7,7%	7,3%	80,6%	4,4%	100,0%
JAPON	34,8%	0,0%	60,8%	4,3%	100,0%
OCEANIA	12,2%	22,2%	62,9%	2,7%	100,0%
EUROPA ORIENTAL	1,7%	3,7%	43,4%	51,2%	100,0%
PAISES EN DESARROLLO	19,2%	18,2%	57,7%	4,9%	100,0%
AFRICA	2,7%	5,3%	85,3%	6,8%	100,0%
AMERICA LATINA	32,2%	5,1%	59,4%	3,3%	100,0%
ASIA EN DESARROLLO	11,2%	38,8%	45,4%	4,6%	100,0%
ORIENTE MEDIO	17,4%	8,0%	65,0%	9,7%	100,0%
TOTAL	11,1%	12,5%	63,0%	13,3%	100,0%

Cuadro 22: Dirección del comercio en 1987
(en millones de dólares EE.UU.)

Desde:	NORTEAMERICA	JAPON	EUROPA OCC.	EUROPA OR.	TOTAL
A:					
NORTEAMERICA	336	1269	1203	14	2822
EUROPA OCCIDENTAL	328	729	5681	265	7003
JAPON	89	0	171	17	277
OCEANIA	28	58	102	2	189
EUROPA ORIENTAL	17	97	1081	2468	3664
PAISES EN DESARROLLO	517	1137	1592	207	3453
AFRICA*	6	10	216	35	267
AMERICA LATINA	242	50	303	51	646
ASIA EN DESARROLLO	251	1047	772	86	2157
ORIENTE MEDIO	17	30	301	35	384
	1320	3299	9883	2971	17474

Distribución de las exportaciones de los países industrializados

A / desde =	NORTEAMERICA	JAPON	EUROPA OCC.	EUROPA OR.	
NORTEAMERICA	25,4%	38,5%	12,2%	0,5%	16,1%
EUROPA OCCIDENTAL	24,9%	22,1%	57,5%	8,9%	40,1%
JAPON	6,7%	0,0%	1,7%	0,6%	1,6%
OCEANIA	2,1%	1,7%	1,0%	0,1%	1,1%
EUROPA ORIENTAL	1,3%	3,0%	10,9%	83,0%	21,0%
PAISES EN DESARROLLO	39,1%	34,5%	16,1%	7,0%	19,8%
AFRICA	0,5%	0,3%	2,2%	1,2%	1,5%
AMERICA LATINA	18,4%	1,5%	3,1%	1,7%	3,7%
ASIA EN DESARROLLO	19,0%	31,7%	7,8%	2,9%	12,3%
ORIENTE MEDIO	1,3%	0,9%	3,0%	1,2%	2,2%
	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Origen de las importaciones desde los países industrializados

A / desde =	NORTEAMERICA	JAPON	EUROPA OCC.	EUROPA OR.	
NORTEAMERICA	11,9%	45,0%	42,6%	0,5%	100,0%
EUROPA OCCIDENTAL	4,7%	10,4%	81,1%	3,8%	100,0%
JAPON	32,2%	0,0%	61,8%	6,0%	100,0%
OCEANIA	14,6%	30,5%	53,9%	1,0%	100,0%
EUROPA ORIENTAL	0,5%	2,7%	29,5%	67,4%	100,0%
PAISES EN DESARROLLO	15,0%	32,9%	46,1%	5,0%	100,0%
AFRICA	2,3%	3,6%	81,1%	13,0%	100,0%
AMERICA LATINA	37,5%	7,8%	46,9%	7,8%	100,0%
ASIA EN DESARROLLO	11,6%	48,6%	35,8%	4,0%	100,0%
ORIENTE MEDIO	4,5%	7,8%	78,5%	9,2%	100,0%
TOTAL	7,6%	18,9%	56,6%	17,0%	100,0%

Preparado a partir del Bulletin of Statistics on World Trade in Engineering Products for 1987, publicado por la Comisión Económica para Europa (1989)

* Con exclusión de Sudáfrica

las importaciones de máquinas herramientas durante el período 1980-1987 ha sido:

- inferior a 1 millón de dólares de los EE.UU. en el caso de 11 países en desarrollo
- entre 1 millón y 10 millones en el caso de 32 países en desarrollo
- entre 10 y 100 millones en el caso de 24 países en desarrollo
- tan sólo las importaciones (y el consumo) de siete países en desarrollo⁷³ superan los 100 millones de dólares.

Para la mayoría de los países en desarrollo, las máquinas herramientas representa menos del 1 por ciento de sus importaciones totales de maquinaria, y difícilmente pueden considerarse como una limitación.

Si bien la participación total de los países en desarrollo en las exportaciones de los países industrializados ha permanecido constante en 1980 y en 1987, se han producido cambios importantes en lo referente a las regiones. La participación de África ha descendido del 2,4 por ciento al 1,5 por ciento y también las importaciones de los países de América Latina se han visto profundamente afectadas: en 1980 representaban el 8 por ciento de las exportaciones de los países industrializados y se redujeron al 3,7 en 1987. Por el contrario, la participación de los países en desarrollo de Asia ha aumentado del 7,6 por ciento al 12,3 por ciento, representando en 1987 el 60 por ciento de las importaciones de países en desarrollo. En 1987 Europa Occidental siguió siendo el principal proveedor de máquinas herramientas para países en desarrollo⁷⁴, y el Japón fue el segundo. Mientras que en las importaciones de los países en desarrollo de Asia existe una relativa diversificación, no suele suceder lo mismo en el caso de los países africanos y de Oriente Medio, que importan sobre todo de Europa, ni de los países latinoamericanos, que lo hacen de los Estados Unidos y de Europa.

4 Inversión internacional

En contraste con su orientación comercial, en la industria de máquinas herramientas la internacionalización del capital ha sido hasta ahora limitada y la mayoría de las inversiones extranjeras

⁷³ Con inclusión de Taiwán, provincia de China, país que no recogen las estadísticas de las Naciones Unidas.

⁷⁴ Las estadísticas de la CEPE no tienen en cuenta las exportaciones de países en desarrollo a otros países en desarrollo, si bien este comercio del Sur sigue siendo muy reducido.

Cuadro 23: Importaciones* de máquinas herramientas por los países en desarrollo, 1980-1988
(en millones de dólares EE.UU.)

	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
AFRICA**	281	308	306	246	236	277	345	269	182
Argelia	61	62	73	52	64	84	82	62	44
Angola	3	4	1	1	2	5	3	5	1
Burundi	0	1	1	0	1	1	1	1	1
CEUCA	5	6	8	7	6	5	7	5	4
Africa Oriental	19	12	9	11	9	8	10	12	8
Egipto	52	48	51	57	63	64	56	47	29
Etiopia	1	2	2	3	2	2	9	13	6
Ghana	4	3	7	1	1	2	3	3	2
Guinea	1	1	1	0	1	1	1	1	1
Liberia	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Libia	15	31	18	26	22	20	36	21	25
Madagascar	3	2	2	2	1	1	1	1	0
Malawi	1	0	0	0	0	1	1	0	0
Marruecos	10	13	15	15	9	12	12	13	15
Mozambique	2	2	2	1	1	1	4	7	1
Nigeria	48	74	69	29	16	45	72	33	6
Sudán	4	5	5	3	2	2	3	3	2
Togo	1	1	0	0	0	0	1	1	1
Túnez	17	15	16	15	19	11	18	13	14
Zaire	4	2	4	2	4	3	4	5	4
Zambia	7	5	2	2	2	1	2	3	3
Zimbabwe	1	4	4	3	1	2	7	4	8
Otros	20	14	15	14	11	9	14	17	10
AMERICA LATINA	1003	1017	816	506	416	422	556	664	345
Argentina	113	87	52	28	38	30	32	42	39
Bolivia	5	4	1	0	1	1	2	2	0
Brasil	257	171	122	71	48	78	120	203	104
Chile	19	18	12	5	9	8	12	19	8
Colombia	35	26	25	15	15	14	18	23	12
Costa Rica	3	2	1	2	3	3	3	3	1
Cuba	18	12	19	49	23	22	55	37	20
República Dominicana	5	4	3	2	3	4	7	3	4
Ecuador	9	11	8	4	5	5	10	9	5
El Salvador	1	1	1	1	1	1	2	2	1
Guatemala	3	2	2	1	3	2	2	3	2
Haiti	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Honduras	2	2	1	1	2	2	1	2	1
México	403	552	450	273	204	205	225	213	66
Nicaragua	0	1	3	3	10	5	1	1	0
Panamá	2	2	3	2	2	2	2	2	1
Paraguay	1	2	0	0	0	0	0	1	4
Perú	17	17	18	8	6	10	8	13	4
Suriname	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Uruguay	5	3	2	0	0	1	1	2	1
Venezuela	88	72	73	27	34	44	48	76	65
Caribe	11	11	15	8	6	4	5	5	3
Otros	5	7	4	3	3	2	3	4	4

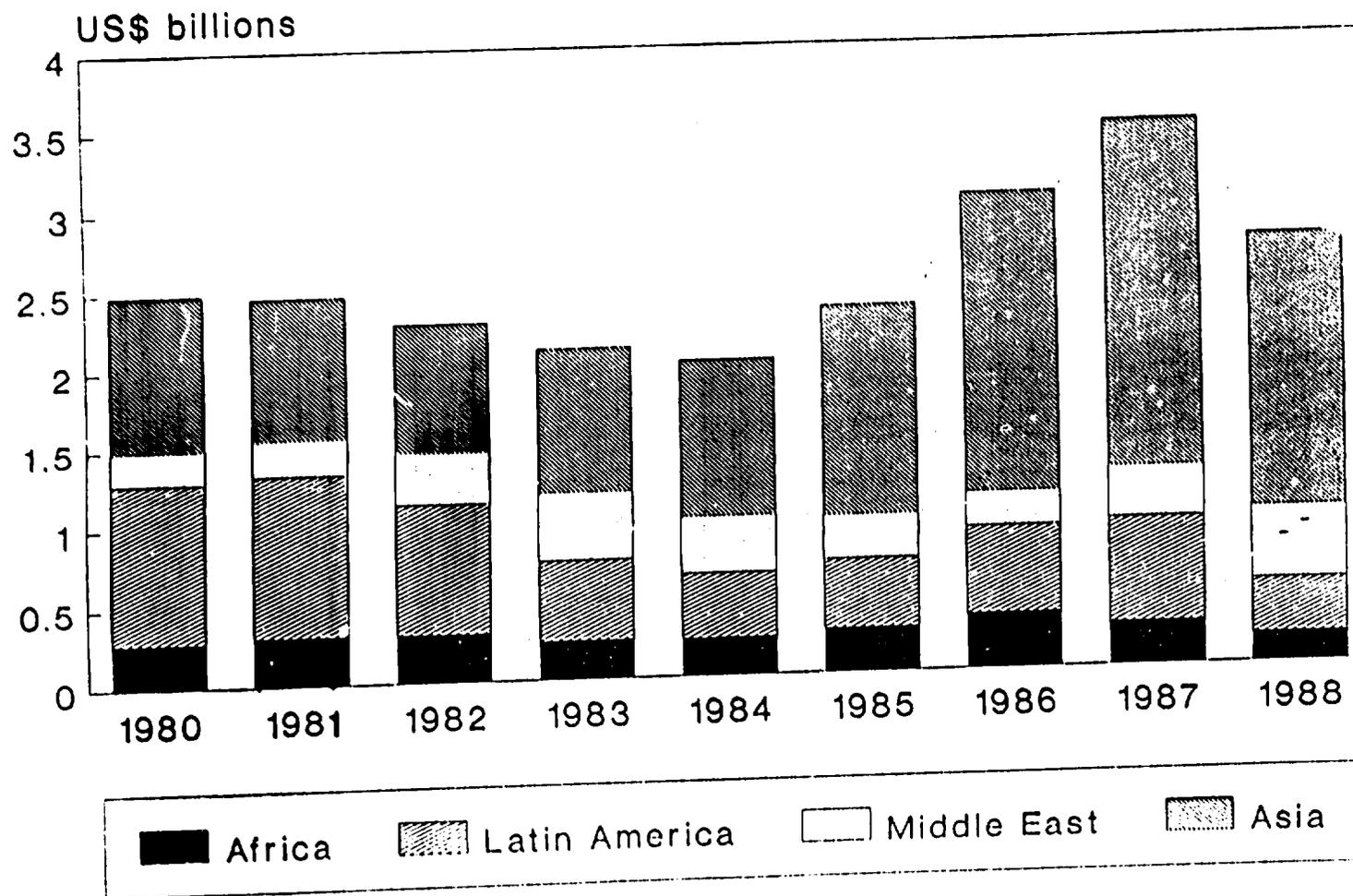
ORIENTE MEDIO	216	233	336	427	355	273	219	321	455
Bahrein	3	2	2	3	7	8	1	1	1
Irán	23	27	51	156	158	138	98	209	203
Iraq	58	64	137	120	58	33	27	50	201
Jordania	8	10	9	8	5	7	6	8	4
Kuwait	9	8	11	10	8	10	7	4	3
Libano	13	8	6	7	5	1	3	1	4
Arabia Saudita	57	85	81	96	76	45	45	33	28
Siria	27	11	15	10	20	13	9	5	2
Otros	15	19	23	18	18	18	22	10	10
ASIA EN DESARROLLO	986	904	822	924	999	1342	1908	2210	1758
Afganistán	0	0	0	2	0	0	1	5	0
Bangladesh	6	5	4	4	2	4	4	5	2
Myanmar	13	4	5	5	5	11	4	2	5
China	143	95	65	93	124	397	751	532	313
Camboya	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Hong Kong	38	42	27	27	37	54	70	86	80
India	145	169	197	170	164	175	239	233	155
Indonesia	39	63	56	53	58	54	51	92	53
Rep. Democrática de Corea	37	14	15	32	15	9	7	16	10
Rep. de Corea	176	99	84	170	183	276	404	623	507
Laos	0	0	0	0	0	0	1	1	0
Malasia	48	53	49	56	81	60	32	57	41
Mongolia	1	0	0	2	0	0	10	10	0
Pakistán	14	15	24	26	23	32	28	26	28
Filipinas	27	26	28	18	13	9	9	17	11
Singapur	97	117	115	84	102	89	93	151	135
Sri Lanka	2	5	2	2	3	4	4	6	4
Tailandia	34	36	27	38	62	66	38	83	148
Viet Nam	10	4	3	13	1	1	19	10	1
Otros	155	156	122	128	127	102	142	255	266

* Los datos sobre importaciones pueden no coincidir con datos de American Machinist recogidos en cuadros anteriores porque estos últimos tienen en cuenta las importaciones de piezas para máquinas herramientas.

** Con exclusión de Sudáfrica.

Fuente: Preparado a partir de varios números de Statistics on World Trade in Engineering Products, Naciones Unidas.

Figura 20: Importaciones de máquinas herramientas
(y piezas de repuesto) por los países en desarrollo



Source: compiled from E.C.E. statistics

se han hecho en países industrializados. La cercanía al mercado y los factores de mantenimiento⁷⁵ se hallaban entre las razones que explican estas tendencias inversionistas. Sin embargo, también la industria de máquinas herramientas sigue cada vez más la tendencia general hacia la universalización de producción e investigación.

Destacadas empresas estadounidenses han invertido en Europa desde hace algunos años. CINCINNATI MILACRON fabrica una quinta parte de todas sus ventas en instalaciones situadas en Austria, Francia, el Reino Unido y los Países Bajos. Entre otras empresas estadounidenses con filiales alemanas, británicas o francesas figuran LITTON, TEXTRON, TELEDYNE LANDIS e INGERSOLL⁷⁶. Algunas empresas europeas han estado invirtiendo en los Estados Unidos: TRUMPF, una destacada empresa alemana, ha abierto recientemente una fábrica en Connecticut.

La producción en el extranjero de los fabricantes japoneses de máquinas herramientas ha respondido a una estrategia competitiva, que seguía a su expansión exportadora⁷⁷. El Japón ha aumentado su presencia en los EE.UU. y en Europa durante los tres últimos años para atender a los fabricantes japoneses de automóviles recientemente instalados: los datos en cifras del Instituto japonés de economía indican que el número de fabricantes japoneses de máquinas herramientas en los Estados Unidos ha pasado de 17 a 36 entre 1987 y 1990⁷⁸. Los Estados Unidos, además de un importante mercado de bienes de capital, es también un emplazamiento barato para fabricar productos de elevado valor añadido, dado que los costos de mano de obra son inferiores a los de Alemania y Japón. Las empresas japonesas en los Estados Unidos disfrutan de dos zonas de ventaja en los costos: para sus actividades a escala mundial fabrican determinadas piezas cruciales en el Japón en cantidades extraordinariamente grandes y cuentan con fábricas eficientes en los EE.UU. con material de

⁷⁵ La capacidad para reparar en el extranjero una avería en la fábrica de un cliente exige contar con personal especializado e importantes existencias de piezas de repuesto.

⁷⁶ Que ha adquirido WALDRICH COBERG, WALDRICH SIEGEN y BOEHLE en la República Federal de Alemania.

⁷⁷ En 1974 YAMAZAKI estableció instalaciones de montaje en los EE.UU., seguida por HITACHI SEIKI en 1980 y por IKEGAI.

⁷⁸ International Herald Tribune: "UN Machine tool makers look abroad", 1 de febrero de 1990.

punta para fabricar otras piezas⁷⁹. Es muy posible que, en el decenio de 1990, las máquinas importadas y las fabricadas in situ por filiales extranjeras satisfagan dos tercios del consumo estadounidense.

FANUC cuenta con fábricas en Europa y en los Estados Unidos, y ha creado una empresa mixta con General Electric para fabricar en serie aparatos de NC de 32 bits⁸⁰. AMADA SOIKE tiene filiales en Francia, Australia y (por conducto de SOINOIKE) en los Estados Unidos. TOYODA está presente en Francia y en los Estados Unidos, YAMAZAKI MAZAK Corp. cuenta con fábricas en el Reino Unido y en los Estados Unidos⁸¹ y está invirtiendo en Francia y en Singapur. OKUMA tiene una filial en los Estados Unidos. Se afirma que LEBLOND MAKINO es la filial japonesa más importante de los Estados Unidos.

La inversión extranjera en países en desarrollo se ha limitado a unos pocos casos en América Latina, la India y Singapur. Alemania (ex RFA) ha sido una adelantada por sus esfuerzos para participar en empresas mixtas en América Latina durante el decenio de 1970, con un total de 15 empresas alemanas instaladas en esa región. Se han dado casos de convenios de subcontratación entre el Japón y Taiwán, provincia de China, dado que las empresas japonesas han renunciado por completo a fabricar productos convencionales.

Quizá en los próximos años los fabricantes japoneses de máquinas herramientas inviertan más en el extranjero. Según algunas previsiones, las empresas japonesas podrían deslocalizar hasta el 50 por ciento de su producción. Si bien una cantidad importante se invertirá en los Estados Unidos y Europa, esta tendencia puede favorecer la inversión en algunos países en desarrollo, sobre todo los de Asia⁸².

⁷⁹ Entrevista con el presidente de Monarch Machine-tool, Asia Wall Street Journal, 23 de enero de 1990.

⁸⁰ Machinery and Mechanical Engineering, 18 de enero de 1989.

⁸¹ MAZAK está ampliando sus instalaciones en Kentucky con la incorporación de tres nuevos sistemas de fabricación flexible que producirán piezas con total autonomía, Asia Wall Street Journal, 23 de enero de 1990.

⁸² HITACHI planea trasladar del Japón a Tailandia, de acuerdo con una iniciativa para reducir gastos, la producción de motores de MH. Hitachi Industrial Technology de Tailandia empezó fabricando anualmente 200.000 motores monofásicos destinados a la exportación; en Asia Wall Street Journal, 31 de marzo de 1990.

Cuadro 24: Previsiones para los mercados mundiales de máquinas herramientas 1988-1995

Demanda nacional en todo el mundo	Miles de millones de Ecu [*]		Tasa de crecimiento anual	
	1988		1980-88	1988-95
CEE	7,70		2,10	5,20
AELI	1,57		5,10	4,90
CAEM	7,17		1,30	1,90
Estados Unidos	2,79		-2,40	4,40
Japón	4,22		7,90	5,80
Países en desarrollo	2,09		9,20	5,30
Importaciones en todo el mundo	Miles de millones de Ecu ^s		Tasa de crecimiento anual	
	1988		1980-88	1988-95
CEE	1,82		6	6,70
AELI	1,05		6,80	4,10
CAEM	1,39		-1,90	3,70
Estados Unidos	1,46		6,80	6,10
Japón	0,32		6,10	11,40
Países en desarrollo	1,17		4,70	5,10
Exportaciones en todo el mundo	Miles de millones de Ecu ^s		Tasa de crecimiento anual	
	1988		1980-88	1988-95
CEE	3,51		-0,60	4,30
AELI	1,49		7,20	5,50
CAEM	0,17		-3,40	6,10
Estados Unidos	0,63		-2,60	2,70
Japón	2,59		10,60	6,80
Países recientemente industrializados	0,26		2,50	6,10
MUNDO	8,65		3,50	4,90
Producción mundial	Miles de millones de Ecu ^s		Tasa de crecimiento anual	
	1988		1980-88	1988-95
CEE	9,39		0,50	4,50
AELI	2,01		4	5,10
CAEM	5,95		1,80	1,60
Estados Unidos	1,96		-6,40	2,50
Japón	6,49		9	5,30
Países recientemente industrializados	1,18		2,50	5,50
MUNDO	26,98		2,50	4

* Precios de 1985

Fuente: Strategic Study on EC machine tool sector, Bruselas, junio de 1990.

Como en el caso de la industria electrónica, existen algunos ejemplos de "inversión extranjera directa a la inversa"⁸³, que comporta la adquisición por parte de una empresa de un país en desarrollo de otra empresa de un país industrializado. La finalidad es el acceso rápido y completo a la tecnología del CN.

5. Previsiones para los mercados mundiales de máquinas herramientas

Según una previsión reciente⁸⁴, la industria mundial de máquinas herramientas se enfrenta con un período continuado de expansión dinámica con una tasa de crecimiento anual del 4 por ciento en términos reales a escala mundial desde 1988 a 1995. Para el fin de ese período se cree que las tasas de crecimiento descenderán sin que llegue a producirse una recesión.

El crecimiento más acentuado (cuadro 24) de la demanda puede producirse en el Japón y en los países en desarrollo, mientras que las perspectivas para los Estados Unidos, la URSS y los países de Europa Oriental son más sombrías. Un aumento elevado de las importaciones tendrá lugar en el Japón, los países de la CEE y los países en desarrollo (el 5,2 por ciento).

Las previsiones sobre producción parecen brillantes para los fabricantes de máquinas herramientas de países de reciente industrialización, del Japón y de los países de la AELI.

⁸³ O'Brien, Recent developments in the Machine Tool Industry; the prospects for foreign direct investment with particular reference to Asian developing countries, UNIDO PPD.53, 16 de septiembre de 1987.

⁸⁴ Estudio estratégico para la industria de la CE. La previsión se hizo antes de la crisis del Golfo y no tuvo en cuenta la posibilidad de una recesión en los principales países industrializados.

CAPITULO III: CAMBIOS TECNOLOGICOS

Entre las nuevas tecnologías, la microelectrónica es de importancia crucial para la industria de máquinas herramientas, en la que, por otra parte, también están empezando a sentirse las consecuencias de la utilización de nuevos materiales. A mediados del decenio de 1970, la incorporación del microprocesador, un circuito integrado completo programable, al funcionamiento de la fábrica, ha sido el mayor avance tecnológico de la industria de bienes de capital, y se produjo después de un largo período de relativa estabilidad en materia de tecnología de la producción. Las máquinas herramientas constituyen "el núcleo de la difusión tecnológica" y, por ello, los cambios que las afectan han de considerarse en el contexto más amplio de los cambios en el paradigma tecnológico.

Después de una breve introducción al paradigma de especialización flexible, el presente capítulo se centrará en la difusión de las máquinas herramientas de control numérico y en los sistemas de fabricación flexible¹.

1 De la fabricación en serie a la especialización flexible y a la fabricación flexible en serie

Un paradigma² supone un nuevo conjunto de reglas y hábitos mejor adaptados a la práctica, nuevos criterios sobre cómo relacionar la tecnología con los problemas de mercado y nuevas soluciones a problemas conocidos. Varios autores han analizado las consecuencias de la difusión de la microelectrónica.

¹ UNCTAD: The diffusion of electronics technology in the capital goods sector in the industrialized countries, Ginebra, 1985.

² Giovanni Dosi, en "Sources, procedures and micro-economic effect of innovation", Journal of Economic Literature, septiembre de 1988, vol. XXVI, nº 3, ha ampliado a la tecnología el concepto de paradigma utilizado por Kuhn. Entre los anteriores paradigmas tecnológicos figuran el motor de combustión interna y la química de los productos sintéticos basados en el petróleo.

1.1. Un nuevo paradigma

Al llevar al límite la fabricación en serie —fragmentación del trabajo, utilización de maquinaria especializada, especificación total de la tarea y desaparición del control del trabajador— se previó, a finales del decenio de 1970, que las perspectivas para superar esas limitaciones estaban ligadas a la especialización flexible³: el análogo moderno de las organizaciones artesanales de producción que habían predominado a comienzos del siglo XIX. La diferencia principal entre fabricación en serie y artesanal es la flexibilidad de los recursos de producción. Los recursos artesanales, tanto trabajo como capital, son capaces de acomodarse a utilizaciones muy diferentes y de responder, por consiguiente, a toda una gama de cambios de las condiciones económicas. En términos de dinámica tecnológica, sin embargo, la diferencia parece ser que la producción artesanal, o especialización flexible, genera crecimiento al "estirar" los recursos existentes, de manera que puedan hacer más o hacer cosas distintas. La especialización flexible⁴ no depende de nuevas tecnologías; sin embargo las posibilidades abiertas por las tecnologías de automatización con base electrónica "se verán, retrospectivamente, como un momento crucial en la historia de la mecanización". Otros autores⁵ se han ocupado de la transición del anterior paradigma tecnoeconómico, basado en petróleo a bajo

³ Piore y Sabel: The second industrial divide: possibilities for prosperity, Basic Books, 1984: "La primera divisoria industrial se produjo en el siglo XIX, cuando la aparición de las tecnologías de la fabricación en serie —inicialmente en Gran Bretaña y después en los Estados Unidos— limitó el crecimiento de otras tecnologías menos rígidas que existían principalmente en diferentes regiones de Europa Occidental. Esas tecnologías de fabricación menos rígidas eran sistemas artesanales (...) trabajadores especializados utilizaban maquinaria sofisticada de aplicación general para producir mercancías muy diversas y en constante evolución para mercados muy amplios pero en constante transformación" (pág. 5).

⁴ Cabe tomar como ejemplo la flexibilidad de las industrias Prato en Italia.

⁵ Véase Carlotta Perez, "Microelectronics, long waves and world structural changes: new perspective for developing countries", World Development, vol. 13, nº 3, 1985; y también M. Humbert, Estudio global sobre la electrónica mundial, ONUDI, ID/WG.478/2, 1988.

costo, materiales con acento en la energía y flujo continuo en la línea de montaje para la fabricación en serie de productos idénticos, al nuevo paradigma tecnoeconómico basado en la microelectrónica y en las tecnologías asociadas de información.

Las características principales de este paradigma tecnológico son la tendencia a la "flexibilidad", asociada a la "intensidad de información" (véase el recuadro 8). Desde la revolución industrial, el aumento de la mecanización ha ido acompañado de la explotación creciente de las economías de escala, y la mayor eficiencia de la producción se asociaba, en general, con principios de organización "taylorista" y "fordiana"⁶, en estrecha correlación con un grado muy alto de inflexibilidad en términos de lotes y conjuntos de producción. El epigrama de Ford "el cliente podrá pedir cualquier color con tal de que sea el negro" significaba que la flexibilidad costaba tiempo y dinero. Adaptarse a la incertidumbre cada vez mayor ligada a la demanda de los consumidores significaba lotes de producción más reducidos y costos muy elevados. El equipo automatizado tenía que dedicarse a una tarea específica y, hasta el decenio de 1970, sólo se podía o fabricar en serie productos homogéneos o producir prototipos gracias a operarios altamente especializados que utilizaban máquinas flexibles. Se decía que la automatización quedaba limitada a las tres "A": aeronáutica, armamento y automóviles (en donde su mejor ilustración es la línea de transferencia).

La automatización flexible permite un nuevo compromiso entre flexibilidad y economías de escala. Mientras que las economías de escala se conseguían gracias a que el costo de fabricar una sola unidad disminuía a medida que aumentaba el volumen de producción, en este otro caso se consiguen economías de escala en el volumen de producción de un conjunto de mercancías diferenciadas⁷ y se llega a ellas mediante la normalización de los procesos necesarios

⁶ El taylorismo designa un tipo de organización del trabajo, descrito por Fred W. Taylor, un ingeniero consultor americano, que lleva a separar las tareas de diseño de la ejecución del trabajo en la máquina. Mientras que el concepto taylorista está estrechamente asociado a la gestión de las personas, el concepto fordiano hace hincapié en la estrategia de mercado y de producción asociada al taylorismo: significa la organización de la fabricación en serie de productos normalizados para un usuario relativamente homogéneo.

⁷ J. D. Goldhar, M. Jelinek: "Plan for economies of scope", Harvard Business Review, 61, noviembre-diciembre de 1983, pág. 141.

Recuadro 8: Flexibilidad

Flexibilidad es la palabra clave por antonomasia en el caso de las máquinas herramientas, y se ha convertido en uno de los requisitos básicos de la tecnología de fabricación en respuesta a varios factores: mayor competencia internacional, demanda de mejor calidad por parte del mercado, mayor diversidad en la especificación del producto, reducción del tiempo de espera hasta la entrega y ciclo más breve de vida del producto.

El concepto de flexibilidad es impreciso y tiene varias dimensiones que requieren una definición exacta:

Flexibilidad de máquina: la facilidad para posicionar de nuevo las máquinas en el sistema con respecto a accesorios, colocación, etc.

Flexibilidad de proceso: la habilidad para producir un conjunto de piezas tipo, utilizando materiales diferentes de distintas maneras.

Flexibilidad de producto: la habilidad para pasar a fabricar un producto nuevo con rapidez y de manera económica.

Flexibilidad de itinerario: la habilidad para cambiar el itinerario de las piezas en caso de desperfecto en diferentes piezas.

Flexibilidad de volumen: la habilidad para funcionar con diferentes volúmenes de producción.

Flexibilidad de expansión: la habilidad para ampliar un sistema según las necesidades.

Flexibilidad de operación: la habilidad para alterar el orden de las operaciones.

Flexibilidad de producción: la gama de tipos de piezas que es capaz de producir un sistema.

Fuentes: Comisión Económica para Europa: Recent trends in flexible manufacturing, Nueva York, 1986

para fabricar productos diversos⁸. Las economías de alcance se pueden interpretar como la habilidad para trasladar de una finalidad a otra capital inmovilizado⁹.

En comparación con la automatización clásica (electromecánica), las máquinas herramientas de control numérico, los sistemas de fabricación flexible (FMS) y los robots permiten una flexibilidad mucho mayor desde el punto de vista de i) la fluctuación aceptada del rendimiento (definida por el número de artículos homogéneos fabricados de manera rentable en la unidad de tiempo); ii) las fluctuaciones aceptables de variedades de producción; y iii) la escala mínima de producción¹⁰. Con la aparición de la automatización flexible, el tamaño de la fábrica tiende a ser más independiente del tamaño del mercado.

La interpretación de los cambios recientes en las prácticas manufactureras producidos al pasar de la fabricación en serie a la especialización flexible dista mucho de ser unánime. Las estrategias edificadas sobre economías de alcance pueden superar a las estrategias construidas sobre las economías de escala únicamente si ya no existe ningún producto cuya demanda siga creciendo y sea estable¹¹. Si no es ésa la situación, si existen productos cuya demanda crece y es estable, no desaparecen las ventajas de escala. Como se ha demostrado en el caso de Italia, al

⁸ Las economías de alcance (conocidas como el efecto Baumol) se dan cuando una empresa que produce simultáneamente dos productos es capaz de fabricarlos a un costo inferior que dos empresas diferentes que fabriquen cada una uno de los dos productos. No sería ése el caso si las economías de escala conseguidas en la fabricación de cada uno de los productos fueran mayores que las economías de alcance.

⁹ R. U. Ayres: Computer Integrated Manufacturing: Hypotheses, Discurso inaugural de la Conferencia sobre CIM de IIAAS, Viena, julio de 1990.

¹⁰ No se debe perder de vista que la flexibilidad descansa en la organización: las mismas máquinas se pueden usar de manera rígida o flexible.

¹¹ La hipótesis implícita del modelo de especialización flexible es que la demanda debe ser al mismo tiempo inestable y segmentada. En ese caso las estrategias basadas en diferenciación superarán a las estrategias basadas en economías de escala. B. Coriat: L'atelier et le robot, Christian Bourges editeur, París, 1990, págs. 163-165.

mismo tiempo que empresas pequeñas están actualmente capacitadas para competir en mercados donde las economías de escala eran una barrera para entrar, las grandes entidades que logran la flexibilidad también están en condiciones de servir a varios mercados relativamente pequeños¹². Las nuevas tecnologías, que sustituyen trabajo por capital, crean nuevas economías de escala muy grandes y pueden ampliar, por consiguiente, el papel de las grandes empresas¹³. Esta advertencia se aplica a la industria de máquinas herramientas. La fragmentación histórica de la industria era relativamente funcional siempre que fueran pocas las economías de alcance o de escala que se pudieran conseguir mediante líneas de producto más amplias. A falta de diseño modular y de automatización flexible, las economías de producción se obtenían fabricando modelos normalizados con ciclos largos de vida del producto; esta estrategia¹⁴, que trabajaba contra los cambios en la producción, se ha hecho cada vez más disfuncional al difundirse las nuevas tecnologías.

De hecho, tal como señaló Piore, en la revitalización económica de los países industrializados durante el decenio de 1980 han participado ambas clases de crecimiento: las organizaciones consagradas a la especialización flexible han progresado, pero también se ha producido una revitalización de las organizaciones dedicadas a la fabricación en serie, que han mejorado mucho en relación con un periodo anterior gracias al cambio a la fabricación flexible en serie¹⁵.

¹² En su nueva fábrica de Osaka, Mitsubishi tiene cinco modelos distintos de automóvil que salen de la misma línea, un grado de flexibilidad que al parecer no se consigue en ningún otro lugar, Financial Times, "World car industry", 13 de septiembre de 1989.

¹³ Gian Maria Gros-Pietro y Secondo Rolfo: "Flexible automation and firm size: some empirical evidence on the Italian case", Technovation, 9 (1989), págs. 493-503.

¹⁴ Según C.F. Pratten ("Economies of scale for machine tool production", The Journal of Industrial Economics, vol. 19, 1970-1971, págs. 148-165) las economías de escala más importantes de la industria británica de máquinas herramientas provenían de la gran producción acumulada de un solo modelo: esto reforzaba el pequeño tamaño de la empresa y las reducidas líneas de producto.

¹⁵ M. Piore: The economical revival of the 1990's: Technology, organizational structure and competitive strategy, Conferencia sobre tecnología y competitividad, París 24 a 27 de julio de 1990.

1.2 Nuevos factores de competitividad

También hay que considerar la tendencia hacia una mayor flexibilidad dentro del contexto de los cambios que afectan a la demanda del mercado en los países industrializados. Durante el decenio de 1950, en un contexto de relativa penuria, el precio era el criterio más importante para cualquier producto destinado al consumo, y las empresas fabricaban mercancías en serie sin otra preocupación que la de rebajar los costos de mano de obra; en el decenio de 1970, la calidad se convirtió en un criterio tan importante como el precio, y en el decenio de 1980 los consumidores han exigido productos de calidad más adaptados a sus necesidades y gustos individuales. La era de la fabricación en serie de productos indiferenciados ha llegado a su fin; el mayor problema será combinar fabricación en serie y especificidad.

Esta presión de la demanda, que se sintió primero en el mercado consumidor de electrónica, se ha agudizado en la industria del automóvil¹⁶ y ha exigido nuevas tecnologías de producción (como métodos modulares de fabricación) que se han tomado prestadas de las industrias electrónica y aeroespacial¹⁷. Las empresas que fabrican mercancías personalizadas dirigidas a huecos del mercado, tienen que ser lo bastante flexibles como para aumentar su producción en los segmentos en los que se comprueba que la demanda es elevada: necesitan equipo que pueda fabricar de manera económica partidas pequeñas con el fin de reducir el trabajo en curso, minimizar inventarios y satisfacer la demanda en días en lugar de meses. En algunos mercados existe entre fabricantes una "competencia basada en el tiempo" cada vez mayor: los consumidores pagan más por el privilegio de que se les atienda enseguida¹⁸.

Las consecuencias de estos cambios van más allá de equipar con máquinas nuevas las instalaciones manufactureras: con frecuencia la flexibilidad se puede alcanzar, de hecho, por medio de la innovación organizativa. Con el fin de resolver estos nuevos problemas las empresas manufactureras están reorganizando sus procesos de producción de acuerdo con los principios "Justo-a-

¹⁶ Ted Kump, Piet T. Bolwijn: "Manufacturing the new case for vertical integration", en Harvard Business Review, marzo-abril de 1988.

¹⁷ The Economist: "The arrival of haute couture", 29 de julio de 1989.

¹⁸ The Economist: "About time", 11 de agosto de 1990.

Recuadro 9: Justo-a-tiempo, Kan Ban y Kan Ban más el efecto alfa

En el proceso de fabricación existe un conflicto entre dos objetivos: reducir el tiempo de preparación de la máquina gracias a fabricar en mayor cantidad, y reducir los costos de posesión de las existencias mediante series frecuentes. La cantidad equilibrada se conoce como la cantidad económica de pedidos (EOQ). Los fabricantes japoneses se han esforzado por reducir el tiempo de preparación mientras, de manera simultánea, disminuían los costos de los pedidos; y reducían la EOQ.

El concepto básico de Justo-a-tiempo (JIT) es sencillo: fabricar y entregar mercancías a tiempo para venderlas, submontajes justo a tiempo para el montaje que los convierte en mercancías terminadas, piezas elaboradas justo a tiempo para el submontaje y comprar materiales justo a tiempo para transformarlos en piezas elaboradas. Sin embargo, una vez que se aplica, JIT es mucho más que control de inventarios: los inventarios de pedidos de grandes dimensiones obscurecen los problemas; cuando disminuye el tamaño de los pedidos quedan al descubierto las causas de error.

Kan Ban es el nombre de un sistema japonés muy concreto de aprovisionamiento de inventarios elaborado por Toyota. Traducido literalmente, Kan Ban significa "registro visible" o "placa visible", y se supone que significa "placa". La mayoría de las empresas utilizan un sistema con tarjetas de pedido que acompañan al trabajo en curso; no constituyen un sistema Kan Ban porque se emplean como sistema para "impulsar" los pedidos de componentes y el control de esos componentes. El sistema Kan Ban de Toyota es un sistema de "arrastre"; proporciona componentes cuando se necesitan y, por consiguiente, sin inventario excedente. Kan Ban sólo funcionará bien en el contexto de un sistema general de Justo-a-tiempo.

Este sistema se diseñó en una época en que la producción de Toyota se hacía en un radio de 50 kilómetros. En los últimos años la empresa ha abierto fábricas en los Estados Unidos. Pese a ello, se ha mantenido JIT, adaptándolo: cuando se cometen equivocaciones en los pedidos, hay que llevar las piezas en avión desde el Japón; los proveedores estadounidenses hacen sus entregas en almacenes de preparación del trabajo donde Toyota hace recogidas diarias. Esta adaptación ha obligado a la empresa a utilizar Kan Ban más el efecto alfa: se han instalado vínculos de

comunicación para un elevado volumen de datos que permiten a la oficina central vigilar el conjunto de la producción. El objetivo es convertir JIT en tiempo real: los inventarios de mañana estarán entonces basados en las ventas de mañana.

Extractado de Schonberger: Japanese manufacturing techniques, nine hidden lessons on simplicity, London Free Press, 1982 y "Toyota motor: Delivering tomorrow orders made today", Financial Times, 10 de septiembre de 1990.

tiempo" (JIT) o mediante técnicas como la "reducción del tiempo de instalación" o los procedimientos "Kan Ban"¹⁹ (recuadro 9). Elaborado en el decenio de 1960 como un modo de reducir inventarios, JIT se convirtió muy pronto en un sistema general para eliminar despilfarros y mantener niveles elevados de fiabilidad y calidad en el proceso total de producción. Los proveedores están agrupados en torno a las instalaciones donde se hace el montaje final, de manera que las piezas que suministran llegan, literalmente, minutos antes de que se las necesite. De este modo el fabricante final se ahorra los costos de inventario y se identifican inmediatamente los componentes defectuosos. Mientras que en la organización tradicional se fabrican mercancías que después se venden, el objetivo de Kan Ban es fabricar mercancías que ya se han vendido: esto ilustra la primacía de los imperativos de la comercialización sobre la producción. Los elementos esenciales del concepto "Justo-a-tiempo" son que las mercancías deben comprarse o fabricarse exactamente en las cantidades que se necesitan y luego entregarse al cliente cuando se necesitan²⁰.

1.3 Las consecuencias sociales de la automatización flexible

Mientras que la mecanización se había interesado sobre todo por la disminución del costo de la mano de obra por unidad, la

¹⁹ Así llamados por el talón de remesa que lleva cada pieza en tránsito.

²⁰ U. Arnold y K. Bernard: "Just-in-Time: some marketing issues raised by a popular concept in production and distribution", Technovation, 9 (1989), págs. 401-431.

automatización flexible se propone reducir todos los elementos que componen el costo total de producción, es decir, rebajar el costo de capital mediante la reducción del trabajo en curso y del inventario de mercancías terminadas, lograr una mayor utilización del capital por medio de un mayor grado de utilización de las máquinas así como del conjunto de la fábrica; una elaboración más rápida del producto, así como calidad mejor y más uniforme.

La automatización flexible se ha convertido actualmente en la primera regla práctica de las industrias de maquinaria. Las consecuencias sociales de su difusión afectan al empleo, a la intensificación y organización del trabajo y al contenido del puesto de trabajo.

1.3.1 Ahorro de mano de obra

Las máquinas herramientas de control numérico ahorran mano de obra. En 1971, en el Reino Unido, según un cálculo conservador²¹, se suponía que una máquina de CN podía reemplazar a dos máquinas herramientas de funcionamiento manual, y esta proporción ha aumentado notablemente:

- en 1976: 1 máquina de CN era equivalente a 2,5 convencionales
- en 1981: 1 máquina de CN era equivalente a 3 convencionales
- en 1986: 1 máquina de CN era equivalente a 3,5 convencionales

Un centro de maquinado de CNC, más manipulación por robot y gestión de herramientas requeriría tan sólo uno o dos operadores, mientras que, según el esquema tradicional, sustituido por este sistema de fabricación flexible, se habrían necesitado diez o más operadores directos.

A partir de ejemplos concretos estudiados en Suecia y en la República Federal de Alemania, se ha calculado que la reducción en costos de mano de obra por unidad de producción se sitúa entre uno y dos tercios, según el tipo de aplicación y del número de turnos.

Para valorar las consecuencias de todo ello sobre el empleo hay que tener en cuenta

- los efectos directos: puestos de trabajo perdidos y creados en servicios de mantenimiento (dentro o fuera de la empresa)
- los efectos indirectos: por medio de las ventajas obtenidas gracias a la mejora de la competitividad o por los puestos de trabajo que se podrían haber perdido debido a la falta de competitividad motivada por el rechazo de las nuevas tecnologías.

²¹ Metalworking Production, Sexto informe sobre el Reino Unido.

A nivel macroeconómico, los estudios de casos a escala nacional no siempre han demostrado que exista correlación entre las tasas de desempleo y el uso de técnicas de automatización flexible. Mediante un estudio europeo se puso de manifiesto que las pérdidas de empleo debidas a la introducción de equipo de CNC representaban menos del 1 por ciento de las pérdidas anuales totales de puestos de trabajo en el sector. La inversión en equipo con base electrónica no ha provocado un importante desplazamiento del empleo, dado que, como contrapeso a esa reducción, existen mayores necesidades de apoyo indirecto en sectores como mantenimiento, planificación de la producción y programación de computadoras²². "Parece que, en conjunto, el desplazamiento y la redistribución de trabajadores durante la innovación y racionalización se equilibran y allí donde el cambio tecnológico va acompañado de crecimiento económico (...) tiende, incluso, a provocar efectos positivos sobre el empleo mediante la revitalización de la economía"²³.

Esta consecuencia de ahorro de mano de obra es una característica especialmente preocupante para los países en desarrollo, sobre los que no existe ningún estudio completo y donde el nivel de introducción del CN es tan escaso que sus efectos sobre el empleo son demasiado limitados.

1.3.2 Intensificación del trabajo

La introducción de máquinas herramientas de CN tiene consecuencias sobre la intensificación del trabajo. Según un estudio reciente²⁴, el promedio de tiempo realmente empleado, con máquinas herramientas tradicionales, en el proceso de fabricación, era el 30% del tiempo total de fabricación. Un análisis más pormenorizado de los tiempos totales del ciclo de trabajo puso de manifiesto que, por término medio, sólo un 5 por ciento de ese tiempo se utilizaba de hecho para retirar material; durante el restante 95 por ciento la pieza ocupaba mano de obra y máquina, pero tenía que esperar a ser trabajada en razón de la colocación, medición, descarga, desplazamiento, cambio de herramientas, etc.

²² John Bessant: Microelectronics and change at work, Oficina Internacional del Trabajo, Ginebra, 1989.

²³ K. H. Ebel: Computer integrated manufacturing, the social dimension, Oficina Internacional del Trabajo, Ginebra, 1990.

²⁴ UCIMU: The Italian industry of machine tools, automation and robotics - Analysis of the recent evolution, 1989.

En Suecia²⁵, en 1981, alrededor del 20 por ciento del tiempo empleado por los obreros de la industria de maquinaria se empleaba en el manejo de máquinas herramientas y otro 10 por ciento en tareas estrechamente relacionadas con el maquinado (por ejemplo, colocación y ajuste, reparaciones y mantenimiento).

La introducción de máquinas herramientas de CN puede mejorar la utilización de las máquinas, pero no se deben valorar en exceso los posibles logros. Si bien la tasa real de utilización de las máquinas herramientas convencionales se ha estimado, en empresas francesas de maquinaria de tamaño medio y pequeño²⁶, en un 6 por ciento de su potencial, también se ha descubierto que, en la mayoría de los casos, la tasa de utilización de las MHCN se situaba entre el 15 y el 25 por ciento de su potencial.

1.3.3 Organización del trabajo²⁷

Hay que considerar los cambios en la organización del trabajo introducidos por las máquinas herramientas de control numérico desde una perspectiva histórica: la era del CN llegó después de cuatro estadios caracterizados por la introducción de nuevas tecnologías y de una nueva organización del trabajo (Véanse el recuadro 10 y el cuadro 25).

²⁵ Jacobson Edquist: Flexible automation - the global diffusion of new technology in the engineering industry, Basil Blackwell, Londres, 1988.

²⁶ De ordinario la máquina no trabaja durante el 94 por ciento del tiempo: el 6 por ciento debido a factores técnicos, el 10 por ciento debido a gestión defectuosa, el 44 por ciento debido a que sólo se utiliza durante un turno en lugar de tres, y el 34 por ciento debido a detenciones durante los fines de semana y fiestas. En CETIM: Améliorer la productivité des centres d'usinage et de tournage, diciembre de 1988.

²⁷ Para esta sección se han consultado diversos estudios realizados por el Ministerio de investigación de Francia y el programa FAST de Europa. Las principales conclusiones de esos estudios están publicadas. Véase W. Cavestro: "Automation, Work Organization and Skills: the case of Numerical Control", en Automatica, vol. 22, nº 6, págs. 739-746; y "Automation, New Man-Machine systems and skills", en: International Journal of Robotics and Automation, vol. 3, nº 1, 1988. Véase también John Bessant: Microelectronics and change of work, Oficina Internacional del Trabajo, 1989.

Recuadro 10: Quinientos años de cambios tecnológicos y organizativos

Fundada en 1492, la empresa Beretta se ha dedicado a la fabricación de armas de fuego, y la producción ha pasado por seis épocas principales:

En el sistema inglés las mejoras del proceso tendían a hacerse independientemente de los condicionamientos del producto: los plenos reemplazaban a los modelos y se necesitaban instrumentos de medición muy precisos.

El sistema americano se basaba en la intercambiabilidad de las piezas debido a la necesidad de un gran número de componentes idénticos. Cambió la organización del trabajo con una clara separación entre quienes construían, mantenían, instalaban y perfeccionaban las máquinas y quienes fabricaban piezas a centenares.

Taylor introdujo el concepto de gestión científica. El análisis del contenido de los puestos de trabajo trajo consigo reducción de funciones y recorte de todas las tareas no repetitivas diferentes. El trabajo se uniformó y su control quedó en manos de la dirección.

La introducción del control estadístico del proceso (SPC) alteró la organización del trabajo. Sólo exigía que la manera de actuar durante el proceso de fabricación de una muestra de piezas se registrara en gráficos a intervalos precisos de tiempo. Según el punto de vista dinámico del SPC, el trabajo se definía en términos de identificación, diagnóstico y solución de problemas; la supervisión no consistía en vigilar la actividad sino en facilitar los cambios.

Con el CN el ámbito de actividad se ha ampliado mucho y ha aumentado el número de productos posibles debido a la adaptabilidad del equipo. Cambia la naturaleza del trabajo, y un operador de CN no trabaja con objetos físicos sino con información. El carácter distintivo de la tarea pasa de la vigilancia de las máquinas a su control y la ingeniería de sistemas reemplaza a la calidad como rasgo tecnológico dominante.

En la era de la fabricación integrada mediante computadora, es probable que el operador esté completamente separado de los elementos materiales y el trabajo pueda convertirse en un acto conceptual, de creación de nuevos productos y procesos.

Fuente: Jaikumar: From filling and fitting to flexible manufacturing, a study in the evolution of process control, Division of Research, Harvard Business School, febrero de 1988.

Con la tecnología convencional de maquinado, la organización del trabajo se caracterizaba por una relativa separación entre las actividades de planificación y el taller. La introducción del CN tiende a reducir la relativa autonomía del taller, puesto que el programador y el operador han de coordinar sus actividades: quizá el operador descubra errores en el programa del programador y en ese caso su retroinformación será esencial para asegurar que mejore la calidad del programa futuro; gracias a su pericia, quizá el operador tenga ideas diferentes sobre la elección de herramientas.

El operador de una máquina convencional solía preparar la máquina con la ayuda de un diagrama técnico que contenía instrucciones suministradas por el departamento de preparación del trabajo. El operador determinaba la velocidad de rotación del componente, la elección de la herramienta y el diseño ulterior del producto. Todas esas tareas requieren gran pericia. En el caso del CN, programar se convierte en una función que es distinta de la producción y que, por consiguiente, se puede realizar o bien dentro del departamento de métodos, reforzando así una organización taylorista del trabajo, o bien en el taller (recuadro 11 y figura 21).

Las comparaciones internacionales demuestran que existen situaciones muy diversas. En la República Federal de Alemania, por ejemplo, la programación de las máquinas herramientas de CN tiende a trasladarse hacia el taller, si es que no se realiza en él, sin que exista una notable diferencia de conocimientos técnicos entre los trabajadores que participan. La distinción entre programador y operador es mucho menos evidente que en Francia o en el Reino Unido, exceptuando, en estos últimos países, el caso de la industria de máquinas herramientas, donde existe una gran tradición de trabajo artesanal y la planificación y la ejecución del trabajo se llevan a cabo en el taller.

La programación en taller de la República Federal de Alemania se asemeja a la organización japonesa del trabajo, ya que las funciones de programación y planificación y la ejecución son muy interdependientes y coexisten con operadores y programadores de gran movilidad, ya que la misma persona trabaja tanto en el departamento de métodos como a pie de máquina. En las industrias alemanas de máquinas herramientas, la automatización fue al principio una amenaza, ya que la programación de las máquinas de CN fuera del taller trastornaba las relaciones laborales ya establecidas; pero como las máquinas de CN demostraron su compatibilidad con el elevado nivel de pericia de los trabajadores y la descentralización real de la producción, esas industrias aceptaron la automatización. "Las empresas están descubriendo progresivamente las ventajas de hacer hincapié en la

Cuadro 24: Previsiones para los mercados mundiales de máquinas herramientas 1988-1995

Demanda nacional en todo el mundo

	Miles de millones de Ecus*	Tasa anual de crecimiento	
	1988	1980-88	1988-95
CEE	7,70	2,10	5,20
AELI	1,57	5,10	4,90
CAEM	7,17	1,30	1,90
Estados Unidos	2,79	-2,40	4,40
Japón	4,22	7,90	5,80
Países en desarrollo	2,09	9,20	5,30

Importaciones en todo el mundo

	Miles de millones de Ecus	Tasa anual de crecimiento	
	1988	1980-88	1988-95
CEE	1,82	6	6,70
AELI	1,05	6,80	4,10
CAEM	1,39	-1,90	3,70
Estados Unidos	1,46	6,80	6,10
Japón	0,32	6,10	11,40
Países en desarrollo	1,17	4,70	5,10

Exportaciones en todo el mundo

	Miles de millones de Ecus	Tasa anual de crecimiento	
	1988	1980-88	1988-95
CEE	3,51	-0,60	4,30
AELI	1,49	7,20	5,50
CAEM	0,17	-3,40	6,10
Estados Unidos	0,63	-2,60	2,70
Japón	2,59	10,60	6,80
Países recientemente industrializados	0,26	2,50	6,10
MUNDO	8,55	3,50	4,90

Producción mundial

	Miles de millones de Ecus	Tasa anual de crecimiento	
	1988	1980-88	1988-95
CEE	9,39	0,50	4,50
AELI	2,01	4	5,10
CAEM	5,95	1,80	1,60
Estados Unidos	1,96	-6,40	2,50
Japón	6,49	9	5,30
Países recientemente industrializados	1,18	2,50	5,50
MUNDO	26,98	2,50	4

* Precios de 1985

Fuente: Strategic Study on EC machine tool sector, Bruselas, junio de 1990.

Cuadro 25: Seis etapas de la organización del trabajo

	Sistema inglés	Sistema americano	Gestión científica de Taylor	Punto de vista dinámico en el decenio de 1950	Era del CN	Fabricación integrada por computadora
	1800-1850	1850-1900	1900-40			
Número de máquinas	3	30	150	150	50	30
Escala mínima (número de personas)	40	150	300	300	100	30
Proporción personal directivo/obreros	0:40	20:130	0:240	100:200	50:50	20:10
Rehacer el trabajo ya hecho como fracción del trabajo	0,80	0,50	0,25	0,8	0,2	0,1
Número de productos	Infinito	3	10	15	100	Infinito
Carácter distintivo de la técnica	Mecánica	Fabril	Industrial	Calidad	Sistemas	Conocimientos
Cambios organizativos	Disolución de gremios	Separación entre obreros y personal directivo	Especialización funcional	Equipos para solucionar problemas	Control a nivel de células	Programa para proceso fabricación producto

Tomado de Jaikumar: From Filling and fitting to flexible manufacturing, Harvard Business School, Documento de trabajo, 1988.

Recuadro 11: Evolución de la organización del trabajo:
el caso de la fabricación con chapa

En las empresas de organización tradicional, el proceso de producción comienza con el corte de la chapa con tijeras de guillotina. Luego se trazan las formas sobre el metal, a lo que siguen las operaciones de punzonado, retoque, doblado o conformado y montaje.

Con la introducción de las máquinas herramientas de CN se modifica el proceso en su conjunto mediante la eliminación de determinadas etapas de producción.

El control numérico elimina en particular todo el trabajo de trazado: esta actividad especializada exigía conocimientos de trigonometría y de dibujo técnico. Consistía en reproducir sobre la chapa, en tamaño real, el dibujo de la pieza con el fin de proporcionar un modelo a los operadores de máquina. De manera similar, las operaciones de retoque que se realizaban después del punzonado con el fin de separar las piezas y alisar la chapa, desaparece como resultado de la posibilidad de cortar las piezas con una máquina punzonadora y cizalladora o recortadora de chapa.

Con la introducción de células flexibles, las operaciones de corte, punzonado y doblado se agrupan en un flujo continuo (véase la figura 21).

Adaptado de W. Cavestro: "Automation, work organization and skills", en International Journal of Robotics and Automation, vol. 3, nº 1, 1988.

pericia artesanal como una opción viable cuando se aplica una nueva tecnología... Existe una llamativa relación entre el uso cada vez mayor de CNC y el renovado interés de las empresas por adiestrar y contratar obreros especializados"²⁸. Ajustes que antes se realizaban manualmente ahora los analiza la computadora con mucha mayor exactitud. Sin embargo, sigue siendo necesario cierto

²⁸ G. Hartmann citado por Piore y Sabel (1983).

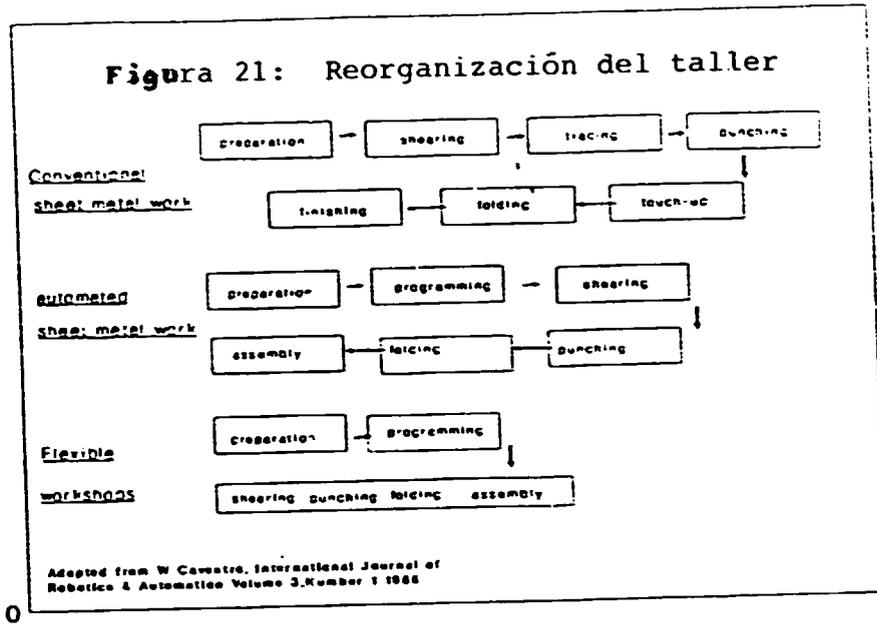
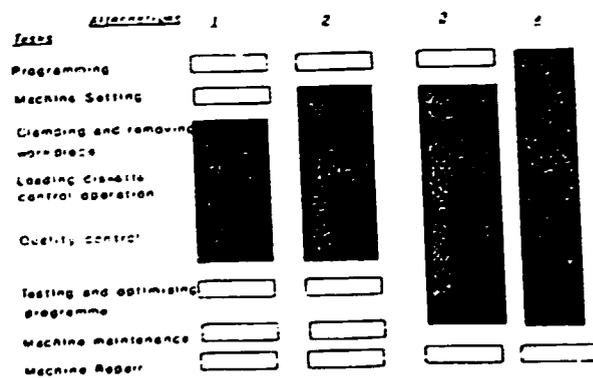


Figura 22: Otros posibles empleos para operadores de máquinas de CNC



Source: Gesammetar, Mensch und Arbeit, Cologne/Edition Agricola 1989, cit. in P. H. CALDWELL, IMPROVING MANUFACTURING THE FUTURE, ILO, International Labour Office, Geneva, 1992.

grado de control humano. En el caso, por ejemplo²⁹, de materias primas, como hierro fundido, cuya calidad varía enormemente, podría ser necesario hacer pequeños ajustes en los programas de la computadora para lograr buenos resultados.

Parece, por consiguiente, que organización del trabajo y alternativas tecnológicas son en gran medida interdependientes: la función de programación está enraizada en la organización del trabajo preexistente y la transforma de manera más o menos contradictoria. Existe considerable amplitud de diseño de empleos para las máquinas de CNC, desde alternativas sencillas hasta otras mucho más complejas, como se pone de manifiesto en el ejemplo de la figura 22.

La existencia de esas alternativas de organización amplía las posibilidades de los países en desarrollo, por cuanto sugiere que la automatización flexible se puede adaptar a las circunstancias nacionales y a las dificultades que crea la limitada disponibilidad de mano de obra especializada.

1.3.4 Especialización o desespecialización

Las consecuencias de las tecnologías de base electrónica sobre la mano de obra especializada son todavía tema de debate. Algunos comentaristas argumentan que la microelectrónica es fundamentalmente una tecnología desespecializadora ya que continúa la tendencia largamente establecida de mecanización en perjuicio de la actividad intelectual, el raciocinio y la experiencia. Quienes se oponen a la tesis de la desespecialización destacan por el contrario los efectos positivos de la automatización sobre esos trabajadores especializados. Sin embargo se debe hacer hincapié en que estas nuevas tecnologías no ofrecerán empleo a trabajadores poco especializados.

El control numérico cambia la naturaleza de la especialización de dos maneras. En primer lugar la experiencia tecnológica del trabajador especializado es, en parte, "memorizada" en dirección ascendente, separándola de la producción. En segundo lugar, las funciones de ejecución y mando tienden a transferirse a la máquina misma. Sin embargo puede decirse que durante ese proceso se redefine la especialización del trabajador a medida que aparecen nuevas oportunidades.

²⁹ A.J. van Duren y M. van Manen: "Flexible production automation: a description and definition", Technovation, 9 (1989), págs. 389-399.

El operador de una máquina de CN tiende a tener a su cargo la gestión de las herramientas, una función altamente especializada que consiste en definir las herramientas adecuadas en relación con el programa, la calidad requerida del maquinado y el uso y desgaste de las herramientas cortantes. El programador no da todas las características de las herramientas cortantes y el operador tiene margen para modificar la elección de herramientas gracias a su conocimiento anterior de la reacción de las herramientas ante determinados materiales.

Durante el funcionamiento de la máquina, el operador no se limita a realizar una supervisión pasiva. Interviene frecuentemente en las condiciones de maquinado en colaboración con el montador o el programador de la máquina. La optimización de un programa tiende rápidamente a aumentar el control del operador sobre las condiciones de maquinado, sobre todo en el caso de los centros de maquinado de CNC. El control numérico no destruye la experiencia tecnológica del trabajador, sino que más bien la emplea de otro modo. Los conocimientos técnicos específicos deben ir acompañados de habilidad para entender las interrelaciones entre lenguajes, maquinado e indicadores de incidencias (ruidos, chispas, tipos de virutas de metal). La codificación de la máquina no implica necesariamente que el operador no pueda intervenir en los procesos del taller. La operación humana está inmersa en una relación interactiva, en la que los conocimientos técnicos del trabajador se traspasan a programas, pero, a cambio, el operador asimila progresivamente los códigos y lenguajes que dirigen las operaciones de las máquinas. El operador tiene que seleccionar entre un número mayor de informaciones que son digitales o informales.

La transformación de la competencia laboral se da también fuera del taller: la competencia en electrónica desempeña un papel cada vez más importante, y a los técnicos de mantenimiento se les exige que tengan capacidades muy diversas. Los lenguajes de computadora utilizados por el programador u operador para escribir programas de control para máquinas cambian constantemente y nuevos lenguajes ofrecen nuevas posibilidades. El mantenimiento de los programas informáticos se convierte en prioridad; sin embargo esa tarea pueden realizarla tanto el programador como el operador encargado de la máquina.

En resumen: no se debe creer que las tecnologías avanzadas de producción sustituyen a los trabajadores especializados. La significación competitiva de la fabricación postindustrial radica en la capacidad para gestionar la evolución continua del sistema

de producción y no simplemente en la habilidad para hacer funcionar una fábrica automatizada³⁰.

1.4 De la independencia a la fabricación integrada mediante computadora

Es importante destacar que la difusión del equipo de automatización flexible se produce dentro de un contexto de integración creciente, en el seno de la empresa, que está agrupando lo que en otro tiempo eran actividades distintas³¹.

Esta evolución se inició dentro de cada una de las diferentes esferas de producción mediante automatización intra-actividad de manera independiente. En los decenios de 1950 y 1960, con la aparición del control numérico, se hizo posible incorporar los conocimientos y experiencia de operadores cualificados a un programa de control grabado en cinta de papel. En el decenio de 1970, la evolución se centró en la integración de la programación en los sistemas de programación de CNC del mismo taller.

Una tendencia similar hacia la integración puede encontrarse en la esfera de diseño, en donde las distintas etapas de preparación de planos, conversión de ideas y modificaciones hasta lograr un conjunto completo de planos técnicos están ahora incluidas en el sistema de diseño auxiliado por computadora (CAD).

El segundo paso de la automatización se refiere a la integración de actividades separadas en automatización intra-esfera. En la esfera de producción, el sistema de fabricación flexible vincula varias herramientas de CNC y sistemas de manipulación bajo control numérico directo, supervisados por una computadora principal.

Dado que la microelectrónica se utiliza en todas las actividades basadas en la información, esa tecnología puede

³⁰ S. Cohen, J. Zysman, "Diverging trajectories: Manufacturing innovations and American Industrial competitiveness", en Politics and productivity, pág. 45.

³¹ Véase Kaplinsky, Automation: the technology and society, Longman, Londres, 1984; Bessant, Integrated automation in batch manufacturing, OCDE, Dirección general para la ciencia, la tecnología y la industria, 1986 y John Bessant: "Integrated Manufacturing", Technology trend series, nº 8, ONUDI, 1988.

introducirse en las diferentes esferas³² de una empresa manufacturera desde gestión de la producción, administración, especificaciones de diseño y proceso, y tratamiento de materias primas, hasta empaquetado, prueba e inspección de productos finales y procesos de fabricación. A la pauta de integración dentro de cada esfera de actividad, sigue ahora una tendencia a la integración entre esferas, con sistemas CAD y CAM enlazando diseño y producción y sistemas de fabricación flexible que unen coordinación y producción. En este tercer nivel de automatización inter-esferas, las diferentes esferas se integrarán a la larga y se coordinarán en un sistema de fabricación mediante computadora plenamente integrado.

Debido a esta tendencia hacia la integración, los costos de los programas informáticos representan una proporción creciente de la inversión de capital. Datos recogidos por IAAS³³ muestran que un tercio del costo de una máquina herramienta independiente de control numérico hay que atribuirlo a programas informáticos. En el caso de los sistemas de fabricación flexible, la mitad del costo es atribuible a las MHCN —del cual los programas informáticos representan un tercio—; y el control de los sistemas, la comunicación y los programas informáticos interactivos suponen del veinte al treinta por ciento más. Se dice que el costo de los programas informáticos se eleva hasta el 50 por ciento en una nueva fábrica japonesa totalmente automatizada (cuadro 26).

2 Automatización en equipo independiente

Las tecnologías de automatización se han introducido sobre la base del equipo independiente. Si bien las máquinas herramientas de CN han tenido éxito, se las puede considerar como una innovación sustitutoria, que ofrece una manera más eficiente de hacer lo mismo (recuadro 12).

Debido al efecto negativo de la recesión de comienzos del decenio de 1980, la difusión de la automatización se ha producido con mayor lentitud y de manera más desigual de la esperada; el clima de inversión no propiciaba que las empresas invirtieran en nueva tecnología. Desde 1982, la inversión real ha crecido más de dos veces más deprisa que el PIB en los países de la OCDE,

³² K. Hoffman: "Technological advance and organizational innovation in the engineering industries", Industry and Energy Department working paper, nº 4, marzo de 1989.

³³ R. U. Ayres: "Technology forecast for CIM", en Manufacturing Review, vol. 2, nº 1, marzo de 1989.

Cuadro 26: Los programas de informática en la inversión total

Fracción correspondiente a los programas de informática en la inversión total	Amplitud del control de computadora	Añadido al nivel anterior
2%	Máquina independiente	Instrucciones para control de la máquina
3%	Centro de maquinado	Instrucciones para cambiar herramientas
4%	Célula de maquinado	Control múltiple de máquinas
6%	FMS (1)	Programación
10%	FMS (2)	Carga/descarga Almacenamiento
15%	FMS (3)	Inspección Selección
20%	Línea automatizada de producción	Montaje, Embalaje, Empaquetado
40%	Fábrica automatizada (1)	Computadurización de módulos funcionales, a saber: MIS, MRP, CAD, CAPP, CAM
50%	Fábrica automatizada (2)	Vinculación con MIS, MRP, Procesamiento de órdenes, Programación, Análisis de costos
70%	Fábrica automatizada (3)	Vinculación de CAD, CAE, CAPP y CAM

Adaptado de R.U. Ayres: "Technology forecast for CIM", en Manufacturing Review, marzo de 1989

Recuadro 12: Suavizar la automatización "dura"

Las máquinas de CN a las que se describe como "suaves", o de automatización programable, tienen cinco características.

1) Concreción de procedimientos. Dado que la computadora es estática y funcionalmente ciega, los procedimientos se deben escribir como para guiar a un ciego, reducido a un pequeño número de actividades en un espacio finito. La concreción del procedimiento, junto con la desaparición de la persona del entorno inmediato de trabajo, hace que la actividad sea más abstracta y científica.

2) Adaptabilidad al cambio. Se puede cambiar fácilmente de programa. La calidad ya no es definitiva, sino que está sujeta a mejoras constantes que pueden ser supervisadas y modificadas en el puesto de trabajo. Los cambios en los procedimientos, frecuentes y progresivos, no requieren recursos asignados desde el centro. El trabajo en un puesto no supone simplemente comprobar el rendimiento, sino además mejorarlo.

3) Polivalencia de operaciones. Las operaciones en un puesto sólo están limitadas por la configuración de la pieza que se maquina, es decir, prismática o rotatoria. Dentro de cada clase, las máquinas llevan a cabo casi cualquier operación, con la única restricción de la disponibilidad de herramientas y de las tolerancias que son capaces de mantener. De esa manera la gama de actividades en un puesto de trabajo de CN se amplía para abarcar la introducción de nuevas piezas y procesos.

4) Reproducibilidad. Una vez escrito un programa, el controlador de la máquina está en condiciones de ejecutar el programa sin el menor defecto para siempre jamás: cuanto más capaz sea un programa de resolver contingencias, menos necesitará la máquina de un operador especializado. Un operador que escribe un procedimiento está, de hecho, "clonándose". Esto crea el imperativo empresarial de introducir constantemente nuevos productos y procesos con el fin de mantener ocupados a los especialistas de la organización.

5) Transportabilidad. La utilización de un programa reproducible no se limita a la máquina en que se ha elaborado. Puede utilizarse en cualquier máquina idénticamente configurada, y se puede copiar sin costo alguno. Por lo tanto, una vez que se ha escrito un programa, pueden subcontratarse piezas a cualquier taller pequeño con equipo equivalente sin demasiada preocupación en cuanto a la calidad.

De Jaikumar: From filling and fitting, Harvard, 1988.

y este aumento ha provocado una subida en las ventas de máquinas herramientas que ha ido acompañada de un aumento todavía mayor en las ventas de máquinas herramientas de CN. El Japón ha sido un adelantado en este aspecto, y la proporción de MHCN en los envíos de máquinas herramientas, medida en valor, pasó del 29 por ciento en 1976 al 60 por ciento en 1983 y al 70 por ciento en 1988, en el caso de las máquinas herramientas de cortar metales³⁴ y 19 por ciento en el caso de las máquinas de conformar metales³⁵.

Uno de los principales factores que han contribuido a la difusión del CN ha sido la reducción relativa de precios, en comparación con las máquinas herramientas convencionales. Una buena ilustración es el caso de los tornos japoneses (figura 23), dado que la relación de precio entre el torno de CN y el convencional disminuyó de 8,3 en 1974 a 2,9 en 1988. Debe señalarse que la rápida difusión en el Japón del CN se produjo después de la introducción del microprocesador, de efecto tan acelerador sobre la reducción del precio de la unidad de control (figura 24).

La suma de las cifras de producción de los Estados Unidos, el Reino Unido, Alemania (RFA), Italia y el Japón muestran que la participación de las máquinas herramientas de CN en el total de envíos de máquinas herramientas ha pasado del 21 por ciento en 1976 al 41 por ciento en 1982 y al 57 por ciento en 1988. Como puede verse (cuadro 27), la proporción de MHCN en el consumo de máquinas herramientas (producción más importaciones menos exportaciones) es más homogénea que la proporción similar relativa a la producción.

Después de examinar en la próxima sección la evolución principal del diseño de las máquinas herramientas, se presentará un análisis, sobre base sectorial, de la difusión de las MHCN en las industrias de maquinaria de los países industrializados.

2.1 Evolución del diseño de máquinas herramientas independientes

La principal innovación ha sido la introducción del CN, si bien en el sector de las máquinas herramientas convencionales se

³⁴ La demanda para reemplazar máquinas herramientas de cortar metales ascendió a 779.000 millones de yen (de los cuales 263.000 correspondieron a tornos de CN), es decir, el 78 por ciento de las adquisiciones de 1988, Asia Wall Street Journal, 22 de junio de 1989.

³⁵ Según la Asociación japonesa de fabricantes de maquinaria de conformar metales, que no había documentado producción alguna de CN antes de 1988.

Figura 23: Difusión de los tornos de CN (Japón)

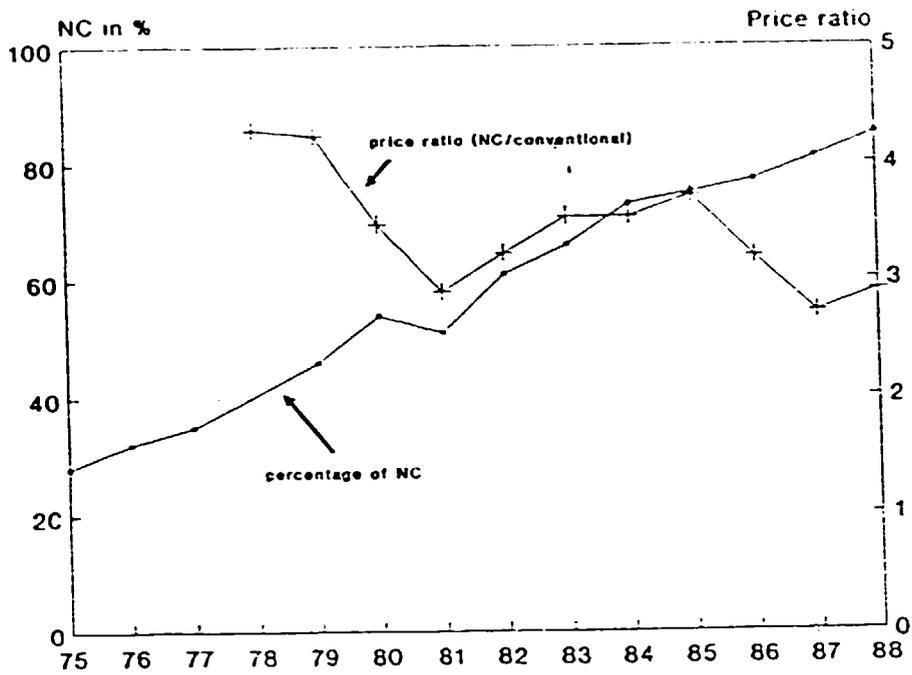
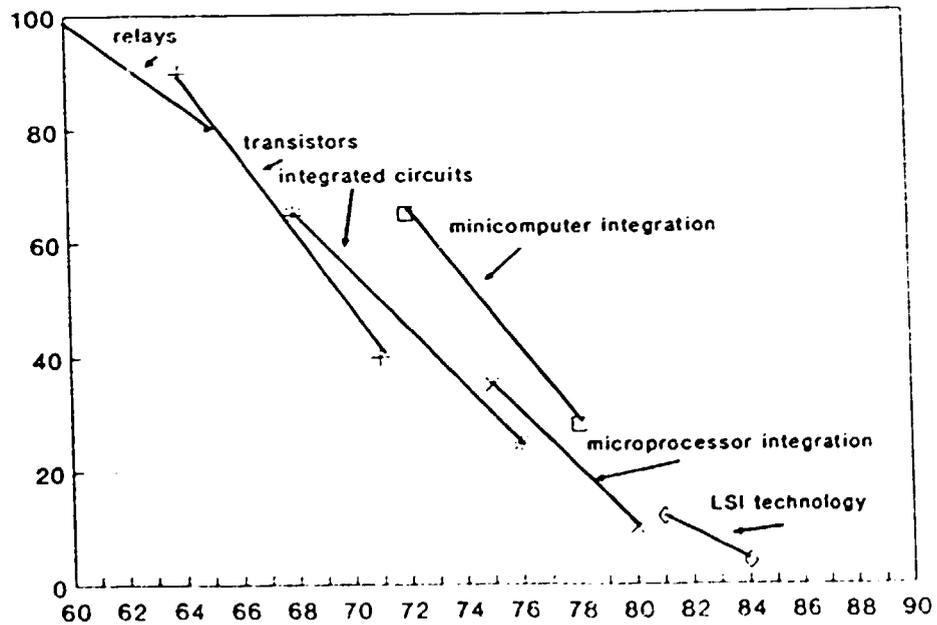


Figura 24: Efectos de la innovación en electrónica sobre el precio del CN



Adapted from Hans Kief

Cuadro 27: Máquinas herramientas de CN en porcentajes de producción y consumo

(medido según el valor de las máquinas herramientas de cortar metales en determinados países, 1988)

<u>Producción</u>	Francia	RFA	EE.UU.	Reino Unido	Italia	España	Japón	Conjunta
Taladradoras	0,0%	32,2%	0,0%	0,0%	0,0%	5,6%	69,0%	37,8%
Fresadoras	89,2%	80,8%	47,2%	0,0%	87,6%	60,5%	62,0%	71,4%
Cepilladoras, mortajadoras, serradoras	0,0%	57,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	21,3%	25,3%
Tornos	91,8%	74,6%	84,0%	36,7%	70,4%	52,9%	89,5%	80,3%
Rectificadoras y pulidoras	6,7%	45,5%	0,0%	0,0%	0,0%	29,5%	26,0%	26,0%
Mandrinadoras		65,2%	0,0%	89,3%	0,0%	72,7%	50,0%	43,6%
EDM y ECM	33,3%	58,5%	0,0%	0,0%			95,3%	82,6%
Talladoras de engranajes	0,0%	63,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	33,3%
Centros de maquinado y líneas de transferencia	92,7%	79,4%	54,9%	74,3%	49,8%	59,8%	100,0%	79,5%
Total de MH para cortar metales	77,8%	63,0%	35,5%	62,6%	38,0%	48,6%	70,7%	60,5%
Total de CN en millones de dólares	470	2972	584	478	757	253	4752	10266
<u>Consumo</u>								
Taladradoras	42,0%	27,0%	17,0%	100,0%	0,0%	25,0%	67,0%	39,0%
Fresadoras	80,0%	78,0%	43,0%	26,0%	97,0%	61,0%	61,0%	68,0%
Cepilladoras, mortajadoras, serradoras	0,0%		0,0%	0,0%	0,0%	0,0%		40,0%
Tornos	84,0%	68,0%	91,0%	57,0%	77,0%	62,0%	85,0%	80,0%
Rectificadoras y pulidoras	52,0%	53,0%	1,0%	0,0%	7,0%	15,0%	21,0%	24,0%
Mandrinadoras	94,0%	54,0%		100,0%	0,0%	100,0%	40,0%	
EDM y ECM	88,0%	57,0%	46,0%	0,0%	0,0%	0,0%	87,0%	72,0%
Talladoras de engranajes	7,0%	73,0%	0,0%	69,0%	9,0%	50,0%	0,0%	21,0%
Centros de maquinado y líneas de transferencia	92,0%	92,0%	67,0%	76,0%	59,0%	65,0%	100,0%	81,0%
Total de MH para cortar metales	74,0%	64,0%	47,0%	68,0%	46,0%	49,0%	64,0%	59,0%
MH para cortar metales de CN	825	1950	1284	503	790	248	2918	8518

ha producido un gran número de avances progresivos. Aunque la mecánica de las máquinas herramientas ha cambiado poco, sí han cambiado mucho, en cambio, el diseño y el control³⁶.

2.1.1 Estructura

La bancada o la base de la máquina herramienta es su elemento de mayor tamaño al que van unidos todos los demás. La base debe proporcionar solidez y estabilidad estructurales y ser capaz de soportar vibraciones. Las estructuras de máquinas herramientas se hacen fundamentalmente de hierro fundido, que tiende a ser el material preferido porque se le puede fundir y maquinarse fácilmente para que proporcione buena resistencia. La búsqueda de alternativas más baratas ha estimulado la investigación sobre el uso de estructuras con soldaduras de acero hechas con vainas de acero rellenas de hormigón. Se están introduciendo como materiales graníticos compuestos de hormigón en los que se utilizan epoxia, metacrilato o resinas de poliéster.

2.1.2 Guías y superficies de deslizamiento

En la actualidad se están ensayando nuevos conceptos de diseño para asegurar la longevidad de la precisión de la máquina, reducir el mantenimiento periódico y disponer de elementos de guía fácilmente reemplazables que no requieran raspados costosos y prolongados. Las recientes innovaciones en la tecnología de guías han conseguido elaborar accionadores pegados o fijos cuyo coste es mucho menor, incluso, que el de las guías convencionales logradas con fresadoras de precisión o raspadas a mano.

2.1.3 Sistemas de husillos

La tecnología de cojinetes ha permitido que los husillos alcancen mayor velocidad; en la actualidad se consiguen velocidades hasta de 6.000 rpm, al mismo tiempo que la invención de nuevos cojinetes de cerámica han permitido que aumenten las velocidades: ya se han presentado máquinas capaces de 40.000 rpm y algunos creen que no está lejos la introducción de máquinas con husillos que giren a 100.000 rpm.

La energía térmica que despiden la cabeza del husillo de la máquina durante su funcionamiento lleva consigo una considerable dilatación térmica que origina desviación y caída del husillo. Los

³⁶ En esta parte se resume un informe de S.M. Patil: Technological trends in machine tools and their implications for developing countries, Technology Trend Series, nº 10, IPTC/101, ONUDI, 21 de diciembre de 1989. También se utiliza el Estudio sobre la industria de máquinas herramientas de la CE.

problemas térmicos se pueden superar mediante el control y estabilización de la temperatura de funcionamiento de la cabeza del husillo, por enfriamiento mediante refrigeración. La desviación y la caída se pueden compensar usando sistemas de cojinetes hidrostáticos y con retroinformación sobre la presión con relación a una referencia incorporada.

2.1.4 Accionadores de avance

La propulsión de una máquina herramienta se consigue mediante una combinación de motores eléctricos y un tren de engranajes. Las innovaciones de la electrónica han llevado a la invención de una nueva especie de accionadores de avance: los electrohidráulicos están siendo abandonados y los accionadores servoelectrónicos dominan la escena. Entre estos accionadores de alto rendimiento los más corrientemente usados son los sistemas permanentes de imanes de CC.

2.1.5 Elementos mecánicos de accionamiento

Junto con los accionadores directos servoelectrónicos de CC y los motores de torsión, los elementos mecánicos de accionamiento más comúnmente utilizados son tornillos y tuercas recirculantes antifricción. Sin embargo, se han descubierto recientemente los sistemas de tornillos y tuercas de avance lubricados hidrostáticamente y cada vez se utilizan más sus aplicaciones en el sector de las máquinas herramientas debido a su menor vibración, mayor rigidez y baja fricción.

2.1.6 Precisión de diseño

El diseño de las modernas máquinas herramientas tiene como finalidad una gran precisión de todos sus componentes. Dentro de ese contexto debe adoptarse un criterio integrado, tanto para el diseño de la máquina como de los controles, que debe satisfacer una doble finalidad: la máquina ha de estar en condiciones de maquinar un componente y de hacerse cargo de la función añadida de inspeccionar la pieza maquinada, lo que requiere la incorporación a la máquina herramienta de varios aparatos y sistemas de medición. Los dispositivos de servo-posicionado más usados son los tipos indirectos de transductor, aunque cada vez se están utilizando más, debido a su mayor precisión, los tipos directos como escalas inductivas y rejillas de franja moaré.

2.1.7 Ergonomía, ruido y seguridad

La relación operador-máquina es especialmente importante en las máquinas de funcionamiento manual y están surgiendo nuevos conceptos para diseñar un torno que pueda ser manejado por una persona sentada. Para resolver la comunicación visual mediante

símbolos, se pide ya un código de símbolos internacionalmente reconocido.

Las recomendaciones recientes sobre niveles aceptables de ruido en el taller y las reglamentaciones obligatorias de seguridad apuntan a una exigencia creciente de que el constructor de máquinas herramientas se atenga a reglamentaciones todavía más estrictas.

Si bien las reglas son más rigurosas en el caso del equipo para conformar metales, también las herramientas de cortar metales están sometidas a medidas obligatorias de seguridad relativas a dispositivos y cierres para proteger al operador de virutas, fluidos refrigerantes y otros riesgos.

2.1.8 Materiales para herramientas

La herramienta cortante tiene una relación directa con la productividad de la máquina. Se han introducido ya o se están elaborando diversos materiales nuevos. Uno de los mayores adelantos ha sido la aparición del carburo cementado para cortar metales. Se han utilizado muchos materiales no tungsténicos para herramientas cortantes y, entre ellos, los más prometedores son el carburo de titanio y el nitruro de titanio.

2.2 Difusión de las máquinas herramientas de control numérico

En el decenio de 1970, la introducción de unidades de control basadas en microcomputadoras permitió un cambio automático de herramientas que ha sido una de las mejoras más importantes de la tecnología de CN en equipo independiente. Las máquinas herramientas de cortar metales son las más usadas, correspondiéndoles el 75 por ciento de las unidades instaladas, y precisamente el control numérico ha tenido mayor difusión en el caso de estas máquinas.

Para valorar la difusión de las máquina de CN, habrá que hacer deducciones a partir de la evolución de los envíos y del consumo de máquinas herramientas tal como se recoge en el cuadro 27, que proporciona información pormenorizada (en valor) sobre la producción y el consumo, en 1988, de los principales países productores³⁷; y también a partir de la difusión del CN en el consumo aparente de máquinas herramientas, en unidades, que recoge el cuadro 28. Siempre que sea posible, el análisis se basará en

³⁷ Con exclusión de Suiza y Suecia, que no publican ese tipo de información sobre su producción de máquinas herramientas de CN.

los inventarios recientes realizados en el Reino Unido, los Estados Unidos y el Japón.

Si bien las máquinas herramientas de CN representan aproximadamente entre el 50 y el 70 por ciento del valor de las máquinas herramientas adquiridas en la mayoría de los países industrializados, sólo representan, como promedio, entre el 20 y el 40 por ciento del consumo medido en unidades y del 5 al 15 por ciento del total de máquinas herramientas instaladas en las industrias de maquinaria. Las mediciones en unidades subestiman el papel de las máquinas herramientas en las industrias de maquinaria. Cuando un torno convencional se sustituye por un centro de torneado de CN, no se puede considerar que se ha producido el cambio de una unidad por otra: la proporción de utilización del centro de torneado de CN será de tres a cinco veces superior. En el caso de Francia, donde las máquinas herramientas de CN representan el 12,7 por ciento de la capacidad instalada, se ha calculado que alrededor del 50 por ciento de las operaciones de maquinado se realizan con MHCN³⁸.

La insistencia en las MHCN no debe hacer que se olviden las convencionales. El mercado de máquinas herramientas convencionales sigue siendo importante, y la demanda procede de empresas medianas y pequeñas, de talleres de mantenimiento, de otros talleres y de servicios generales de apoyo de maquinaria³⁹ (véase recuadro 13).

2.2.1 Tornos

Los tornos de control numérico son las máquinas herramientas de CN más ampliamente utilizadas

Envío: Según la información del cuadro 27, el 89,5 por ciento de los tornos fabricados en el Japón eran de CN (el 74 por ciento en unidades). En Alemania (RFA) los tornos de CN representaron el 74,6 por ciento de la producción de tornos.

En el Japón se fabrican muchos tornos de CN (aproximadamente la mitad de la producción mundial); otros fabricantes

³⁸ P. Fremeaux, R. Touboul: Machine outil 90, les enjeux, Bureau d'Information et de Previsions économiques, París, 1990.

³⁹ Después de haber hecho demasiado hincapié en las máquinas de CN, DECKEL SA, el segundo fabricante alemán en importancia de máquinas herramientas, ha perdido muchos de sus clientes tradicionales, empresas medianas, que encontraron demasiado complicadas las nuevas tecnologías, lo que explica algunas de las dificultades por las que ha atravesado recientemente ("Decked by blunders", Internacional Management, junio de 1990).

Recuadro 13: Futuro del torno convencional

Más de la mitad de los encuestados, en un estudio sobre tornos entre las empresas británicas de metalurgia, opinaron que el torno paralelo central no se modificaría en el futuro, mientras que uno de cada cuatro dijo lo mismo acerca de los tornos revólver, de torreta y automático.

Tipos de máquinas de torneear instaladas desde enero de 1987:

Torno (sólo de rotación) de CN/CNC	32
Torno paralelo (de puntos) convencional	14
Torno de herramienta accionado de CN/CNC	13
Torno revólver, de torreta y automático convencional	9
Otras máquinas de torneear convencionales	7
Ninguno de los anteriormente citados	28
Sin especificar	21

Fuente: Metalworking Production, marzo de 1989.

importantes son Alemania (RFA) e Italia (cuadro 29).

Consumo: En términos de valor, los tornos de CN representan casi el 90 por ciento del consumo aparente de tornos, mientras que en unidades (cuadro 28) la proporción se sitúa entre el 30 y el 70 por ciento, aproximadamente, en los principales países industrializados.

Inventario: Como puede verse gracias al cuadro 30, si bien en el Reino Unido el número de máquinas de torneear convencionales descendió el 5% entre 1982 y 1987, la cifra de máquinas de CN aumentó el 99% durante el mismo período; las máquinas de CN representaron el 10% de las máquinas convencionales en 1987, frente al 4% en 1982. En los Estados Unidos se ha producido una evolución parecida.

La actual tendencia tecnológica es contar con un único torno revólver de plato, combinado con herramientas, para el torneado tanto del diámetro interior como exterior. En la actualidad se le incorporan elementos más complejos con el fin de maquinara una pieza en una sola colocación; los tornos sencillos de dos ejes han dado paso a los de cuatro.

Cuadro 28: Difusión del CN según consumo aparente

(medido en unidades en 1988)

	Alemania	Estados Unidos	Reino Unido	Italia	Japón
Taladradoras de CN	258	273	33	1259	
Fresadoras de CN	3623	1101	616	2067	
Tornos de CN	3060	6144	879	1730	12897
Rectificadoras y pulidoras de CN	2454	75	401	58	798
Mandrinadoras de CN	505	223	1007	93	
EDM y ECM de CN	733	92	0	0	3464
Talladoras de engranajes de CN	485	65	42		
Centros de maquinado y líneas de transferencia de CN	1116	3913	1170	2151	7177
MH para cortar metales de CN	17650	11878	893	4297	
Taladradoras de CN	0%	3%	1%	0%	3%
Fresadoras de CN	42%	8%		46%	35%
Tornos de CN	29%	53%		29%	70%
Rectificadoras y pulidoras de CN	2%	0%	1%	4%	1%
Mandrinadoras de CN	30%	23%	100%		12%
EDM y ECM de CN	100%	4%			100%
Talladoras de engranajes de CN	100%	0%	3%	25%	
Centros de maquinado y líneas de transferencia de CN	100%	90%	100%	100%	100%
MH para cortar metales de CN	5%	1%	2%	5%	

Fuente: Preparado a partir de estadísticas de CECIMO.

Cuadro 29: Producción de máquinas herramientas de CN de determinados países industrializados en 1988
(en millones de dólares EE.UU.)

	Reino Unido							Total
	Francia	RFA	EE.UU.	Italia	España	Japón		
Taladradoras de CN	0	29	0	0	1	116	148	
Fresadoras de CN	74	550	84	0	183	89	230	
Cepilladoras, mortajadoras, serradoras de CN	0	112	0	0	0	0	17	
Tornos de CN	89	788	225	47	252	54	1550	
Rectificadoras y pulidoras de CN	1	376	0	0	13	217	607	
Mandrinadoras de CN	0	101	0	50	0	8	74	
EDM y ECM de CN	2	79	0	0	0	0	549	
Talladoras de engranajes de CN	0	146	0	0	0	0	0	
Centros de maquinado y líneas de transferencia de CN	177	759	274	176	322	58	1578	
MH para cortar metales de CN	470	2972	584	478	757	253	4752	
	Porcentaje							
Taladradoras de CN	0,0%	19,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,7%	79,7%	100,0%
Fresadoras de CN	6,1%	45,5%	6,9%	0,0%	15,1%	7,4%	19,0%	100,0%
Cepilladoras, mortajadoras, serradoras de CN	0,0%	85,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	14,3%	100,0%
Tornos de CN	3,0%	26,2%	7,5%	1,6%	8,4%	1,8%	51,6%	100,0%
Rectificadoras y pulidoras de CN	0,2%	61,9%	0,0%	0,0%	0,0%	2,1%	35,7%	100,0%
Mandrinadoras de CN	0,0%	43,3%	0,0%	21,5%	0,0%	3,4%	31,8%	100,0%
EDM y ECM de CN	0,3%	12,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	87,1%	100,0%
Talladoras de engranajes de CN	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Centros de maquinado y líneas de transferencia de CN	5,3%	22,7%	8,2%	5,3%	9,6%	1,7%	47,2%	100,0%
MH para cortar metales de CN	4,6%	28,9%	5,7%	4,7%	7,4%	2,5%	46,3%	100,0%

Calculado a partir de estadísticas de CECIMO.

El diseño de centros de torneado ha ampliado en gran medida la capacidad del torno ordinario; ahora los tornos pueden fabricar piezas completas en una sola operación, prácticamente del mismo modo que los centros de maquinado fabrican componentes prismáticos: "Los centros de torneado hacen referencia a una máquina herramienta diseñada básicamente para maquinar formas cilíndricas en una pieza en rotación, con herramientas adicionales capaces de realizar un maquinado secundario con la pieza parada, con o sin cambio automático de herramientas y/o carga/descarga de la pieza". Las máquinas son capaces de realizar operaciones simultáneas de maquinado gracias a la operación multieje de CNC, utilizando herramientas normalizadas en torretas separadas para herramientas. Esta habilidad para fabricar piezas completamente terminadas se debe a la posibilidad de lograr que distintas herramientas maquinen la pieza en una sola colocación; los centros de torneado están en condiciones de fresar, taladrar, aterrajar y mandrinar además de tornear; pueden realizar además varias operaciones similares simultáneamente.

También se están realizando experimentos de torneado por láser, y la industria de automóviles considera que láseres tridimensionales de cortar y soldar son un medio para introducir opciones de paneles de carrocería en una etapa posterior del proceso de montaje de automóviles⁴⁰.

2.2.2 Mandrinadoras, taladradoras y fresadoras

Las operaciones de mandrinado y taladrado se pueden realizar mediante la utilización de tornos o de taladradoras, de mandrinadoras y, a veces, de fresadoras. A lo largo de los años se han diseñado máquinas capaces de realizar diversas operaciones, y las fresadoras, mandrinadoras y taladradoras de CNC han reemplazado progresivamente a las máquinas convencionales.

Envíos: Como puede verse en el cuadro 27, en 1988, las taladradoras de CN representaron, como promedio, el 37,8 por ciento del total de taladradoras (el 69 por ciento en el Japón); en el caso de las fresadoras el promedio fue del 71,4 por ciento y del 43,6 por ciento para las mandrinadoras.

Alemania (RFA) es el mayor fabricante, seguida del Japón.

Consumo: Las máquinas de CN representan, como promedio, el 68 por ciento del consumo aparente de fresadoras y el 39 por ciento en el caso de las taladradoras. En unidades (cuadro 28), los porcentajes son muy inferiores (el 35 por ciento

⁴⁰ Metalworking Production: Machinery 75th Anniversary.

Cuadro 30: Difusión del control numérico en máquinas de torneado

<u>Inventario del Reino Unido</u>			
En unidades	1982	1987	87/82
Tornos de CN	7883	15723	99,5%
CN como porcentaje de convencionales	4,5%	10,7%	
Tornos convencionales	174374	147329	-15,5%
revólver y automático	81117	55996	-31,0%
tornos paralelos	72292	55185	-23,7%
Año de adquisición de tornos convencionales			
0-5 años	22,0%	23,0%	
>20 años	33,0%	29,0%	

<u>Inventario de los EE.UU.</u>			
	1983	1988	88/83
Tornos de CN	33352	74077	122,1%
CN como porcentaje de convencionales	9,1%	18,3%	
Tornos convencionales	332327	330357	-0,6%
Año de adquisición de tornos convencionales			
0-4 años	11,0%	8,6%	
>20 años	40,0%	38,6%	

Fuente: Sexto informe sobre máquinas herramientas
Metalworking production
American Machinist, noviembre de 1983 y noviembre de 1988.

para las fresadoras en el Japón, entre el 10 y el 30 por ciento para las mandrinadoras).

Inventarios: En el Reino Unido, las fresadoras de CN representaron el 21% de adquisiciones en nuevas fresadoras entre 1981 y 1986, frente al 8% entre 1977 y 1981, mientras que en las mandrinadoras de CN el aumento se situó entre el 15 y el 21 por ciento; y para las taladradoras de CN entre el 2 y el 6%.

Las fresadoras, taladradoras y mandrinadoras de CN son sustituidas, a su vez, por centros de maquinado, que realizan, combinándolas, diversas operaciones.

Históricamente, el cambiador automático de herramientas ha distinguido al centro de maquinado de otras máquinas herramientas. Estas máquinas se fabrican disponiendo el husillo en posición horizontal o vertical: la elección entre las dos posibilidades depende del centro de gravedad y de la forma de las piezas que se vayan a maquinar. Los centros horizontales se utilizan para piezas pesadas, mientras que los verticales se prefieren cuando un trabajo con tres ejes se hace sobre una sola cara (por ejemplo, en trabajos de moldeado o troquelado).

Envíos: Si bien en 1976 los centros de maquinado representaron tan sólo el 38 por ciento de la producción de las máquinas que realizaban la función de fresar, la proporción se elevó, en 1986, al 65 por ciento en los principales países productores de máquinas herramientas de la OCDE. Los datos nacionales disponibles ponen de manifiesto que la proporción era del 81 por ciento en el Japón en 1988 y del 39 por ciento en Alemania (RFA). La proporción de fresadoras de CNC detuvo su ascenso, mientras la de fresadoras convencionales mostraba un descenso continuo (el 7 por ciento en el Japón en 1988).

Inventarios: En el Reino Unido la adquisición de centros de maquinado aumentó muy rápidamente, ya que de 1982 a 1986 se adquirieron las tres cuartas partes de los existentes. En términos de existencias de máquinas de CN, los centros de maquinado ocupan el segundo lugar, después de los tornos.

2.2.3 Rectificadoras

La difusión de las técnicas de control numérico para las operaciones de rectificado tan sólo adquirió importancia en el decenio de 1980; la rectificación seguía siendo un proceso manual dependiente de la destreza del operador.

Cuadro 31: Centros de maquinado y fresadoras
Tendencias en inventarios de los EE.UU.

	Centros de maquinado	porcentaje	Fresadoras de CN		Fresadoras convencionales	
1983	24003	9,3%	15929	6,2%	218479	84,5%
1988	52585	17,4%	28260	9,4%	220846	73,2%
aumento	119,1%		77,4%		1,1%	

Fuente: Calculado a partir de American Machinist.

Las rectificadoras cilíndricas fueron las primeras que se beneficiaron de la aplicación del CNC. El CN también se ha aplicado a las rectificadoras planas. Los fabricantes de máquinas herramientas se han resistido a pasar al CN, alegando, como razones principales, lo reducido de las partidas, la irrepitibilidad de los encargos y el costo; los fabricantes tenían que diseñar su propia unidad de control o comprar un CNC normalizado y elaborar el programa informático adecuado a partir de sus conocimientos técnicos sobre rectificación.

La mayoría de las rectificadoras planas en uso son manuales y es poco probable que se reemplacen en un futuro próximo. No todo el mundo está de acuerdo en que el CNC sea la única alternativa: precisión y calidad dependen por igual de variables como el diseño de la máquina y el tipo de rueda abrasiva⁴¹.

Envíos: La participación de las rectificadoras de CNC en los principales países productores de máquinas herramientas de la OCDE ascendió tan sólo al 1 por ciento en 1976; en 1984 se elevó al 11 por ciento y al 26 por ciento en 1988 (cuadro 27). Los países productores más destacados son la República Federal de Alemania y el Japón.

Inventario: En 1987 las rectificadoras de CN representaban en el Reino Unido tan sólo el 2 por ciento de todas las instaladas; su participación en las nuevas adquisiciones aumentó rápidamente del 2 por ciento a comienzos del decenio de 1980 al 9 por ciento en 1986.

También la rectificadora está evolucionando hacia una célula rectificadora que puede enlazarse fácilmente con otras mediante

⁴¹ Machinery and Production, marzo de 1989.

vehículos automatizados dirigidos. Algunas rectificadoras de CN para interiores han ampliado su polivalencia añadiendo funciones de torno para trabajos ligeros.

2.2.4 Otras máquinas herramientas de cortar metales

La difusión del CN también está aumentando rápidamente entre otras máquinas herramientas de cortar metales, como en el caso de las máquinas electrofísicas y de las de electrodescarga (EDM). Este equipo se presta a la automatización, dado que pueden vigilarse continuamente todos los parámetros.

Las EDM también se utilizan con componentes complejos, pequeños y frágiles, cuya demanda, por parte de la industria electrónica, es cada vez mayor, debido a sus reducidas dimensiones. Más del 90 por ciento de las EDM fabricadas en el Japón son de CN, así como el 58 por ciento de las fabricadas en la RFA. Mediante el inventario realizado en el Reino Unido se descubrió "que uno de los aumentos más meteóricos (del control numérico) se daba en las categorías físicoquímicas de CN, muy utilizadas en las instalaciones de subcontratistas que trabajan dentro de las empresas, y que están explorando la ruta CAD/CAM, vinculada a las EDM de CN y a las fresadoras de CN.

2.2.5 Máquinas herramientas de conformar metales

Las máquinas herramientas de conformar metales suponen tradicionalmente el 25 por ciento de la producción mundial de MH. Varias indicaciones sugieren que esas máquinas van a representar una parte creciente de la demanda mundial y, en algunos segmentos de actividades, competirán con las de cortar metales. Su utilización permite reducir secuencias de maquinado que de lo contrario son inevitables en las máquinas herramientas de cortar metales. Su éxito en esta competición descansa en tres factores: la facilidad con que se puede minimizar el contenido manual, lo mucho que se presta a la producción de pequeñas partidas y la reducción en los costos de las herramientas (troqueles y moldes) que se consigue con el uso cada vez mayor de CAD/CAM y de CNC.

La difusión de las técnicas de CN en las máquinas herramientas de conformar metales ha sido en cierta medida más lenta que en el caso de las de cortar metales.

Envíos: En Alemania (RFA), en 1988, las máquinas de CN representaron el 19 por ciento de las máquinas herramientas conformadoras: el 70 por ciento en el caso de las cizalladoras y recortadoras y el 30 por ciento en el de las prensas.

Inventarios: En el Reino Unido, la proporción de máquinas herramientas para conformar metales de CN en el total de MH de ese tipo pasó del 1,2 por ciento de la capacidad instalada (en unidades) en 1981 al 2,4 por ciento en 1986.

2.3 Difusión de las MHCN entre los sectores industriales

El análisis de la difusión de las MHCN entre los sectores industriales y de su evolución durante el último decenio ofrece información valiosa sobre las tendencias de la automatización en las industrias de maquinaria, y puede servir para determinar en qué sectores la utilización de las MHCN se está convirtiendo, de manera general, en la norma, ya que ese resultado afectaría a las reglas de competitividad.

2.3.1 Situación de conjunto

Las estadísticas inventariales miden el número real de máquinas con que cuentan las fábricas y dan una indicación de la vida útil de los bienes de producción así como de la modernidad relativa de las industrias de maquinaria. Dada la longevidad de las máquinas herramientas, las convencionales representan el número más elevado de las instaladas en los países industrializados.

En el Japón (figura 25), el Ministerio de Comercio e Industria ha llevado a cabo siete inventarios desde 1952⁴². Las máquinas de CN aparecieron por primera vez en los informes en 1967 y el número de de máquinas herramientas de cortar metales de CN era entonces 769. Esa cifra aumentó mucho a partir de 1975 y su participación en las existencias totales de máquinas herramientas pasó del 3,6 por ciento en 1981 al 10,7 por ciento en 1987. En el último inventario, el volumen de máquinas de cortar metales de CN (limitadas a las de menos de tres años) ha aumentado hasta el 33 por ciento (en comparación con el 12 por ciento en el inventario anterior).

En el Reino Unido (figura 26), el número de máquinas herramientas de CN en uso, que era de 25.800 en 1982, ascendió a

⁴² En 1952, 1958, 1963, 1967, 1973, 1981 y 1987. Las comparaciones entre inventarios son difíciles. Puede cambiar la amplitud del inventario: en 1981 y en 1987, por ejemplo, se centraron en maquinaria e industrias relacionadas, mientras que los anteriores abarcaron todas las industrias manufactureras; los criterios para dividir las máquinas por su antigüedad varían de un inventario a otro.

52.400 (excluidos los robots) en 1987, de un total de 748.000 máquinas herramientas instaladas en las industrias británicas. La proporción de MHCN en las existencias totales aumentó del 0,2 por ciento en 1970 al 7 por ciento en 1986. La tasa de adopción de máquinas con nueva tecnología se aceleró a partir de 1982: mientras que la proporción de MHCN en el total de adquisiciones de máquinas de cortar metales era, como promedio, del 7 por ciento entre 1976 y 1981, entre 1981 y 1986 pasó a situarse en el 18 por ciento; en la actualidad, la mitad del inventario de CN responde a las adquisiciones realizadas durante el último decenio.

En 1988, en los Estados Unidos (figura 27), el número total de máquinas herramientas de CN superaba en más del doble al del inventario realizado en 1983.

Uno de los hallazgos de los últimos inventarios ha sido el ritmo acelerado de adquisición de máquinas de CN por parte de industrias pequeñas y medianas. Si bien las grandes entidades fueron las primeras en poner a prueba las máquinas de CN, la aparición del CN con entrada manual de datos, de fácil manejo para el usuario, y sistemas de programación fuera de línea ha hecho del CN una posibilidad mucho más atractiva para las pequeñas empresas.

En el inventario de los EE.UU. se encontró que el 63 por ciento de las máquinas herramientas de CN se hallaban en empresas con un número de empleados que iba de 1 a 19 y de 20 a 99. En el Reino Unido la evolución ha sido parecida, con un 54 por ciento de máquinas de CN en fábricas con menos de 100 empleados. En los Países Bajos se halló que la mayor demanda de máquinas de CN procedía de empresas medianas y pequeñas que están reemplazando sus anticuadas máquinas de tarjetas perforadas o de manejo manual por otras controladas mediante (mini)computadoras⁴³.

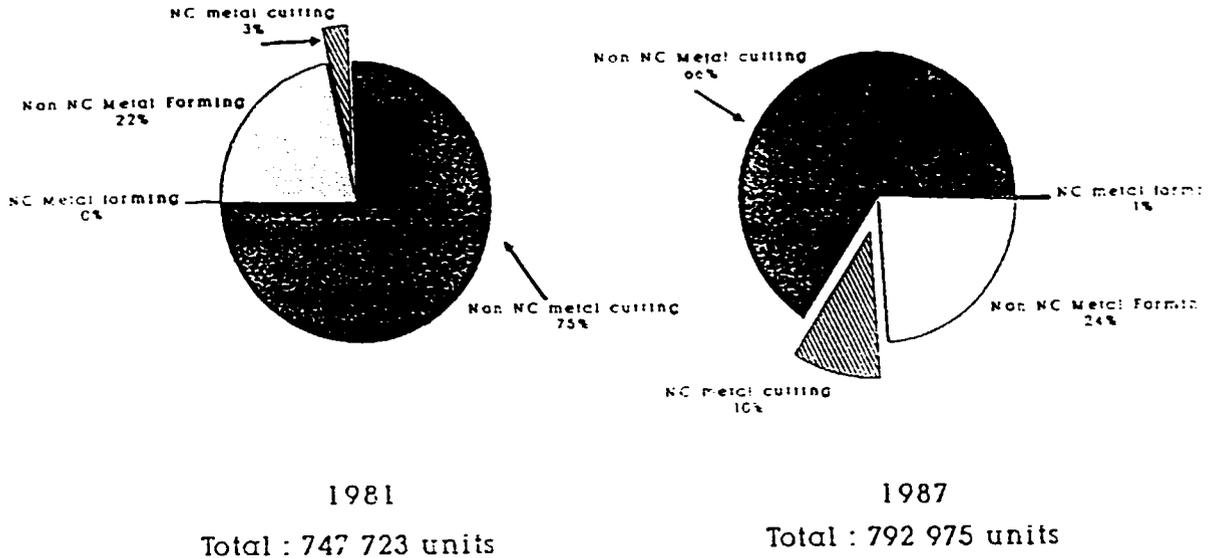
Esa tendencia es muy clara en el caso de los subcontratistas. Según el inventario británico, su participación en las máquinas herramientas de CN se eleva al 22 por ciento, y el 78 por ciento de la capacidad instalada se ha adquirido desde 1982: "los subcontratistas han comprendido muy pronto que el centro de maquinado es una herramienta sumamente flexible. Además de trabajos muy variados, el subcontratista está en condiciones de ofrecer trabajo continuo por lotes que sólo requiere la inversión adicional en accesorios y programación. No es necesario inmovilizar capital en sistemas especializados de maquinado para conseguir ese trabajo"⁴⁴.

⁴³ A. J. Van Duren, *Technovation*, 1989.

⁴⁴ *Metalworking production, The sixth survey of machine tool and production equipment in Britain.*

Figura 25: Difusión del CN en las industrias de maquinaria del Japón

En porcentaje de la capacidad instalada total



Source: MITI, machine-tool inventories

Figura 26: Máquinas herramientas instaladas, por período de adquisición, en el Reino Unido (1987)

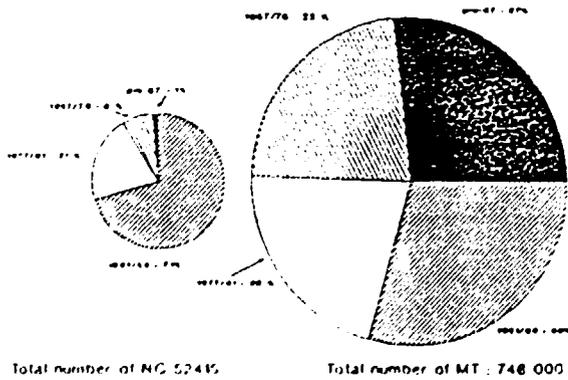
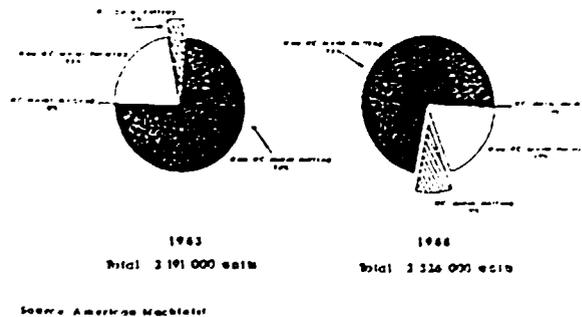


Figura 27: Difusión del CN en las industrias de maquinaria de los Estados Unidos

En porcentaje de la capacidad instalada total



Cabía esperar esa difusión entre empresas pequeñas y medianas basándose en consideraciones ligadas al "paradigma tecnológico", al hecho de que las MHCN ofrecen economías de alcance que permiten aliviar la falta de economías de escala. Esto, sin embargo, no siempre tiene que ser verdad, como puede verse en el caso de Italia⁴⁵, donde, según parece, los principales usuarios eran grandes empresas dedicadas a fabricación en serie de mercancías como automóviles y aparatos eléctricos. Para explicar esta tendencia discordante se emprendió, entre 4.000 empresas, una encuesta que ha puesto de manifiesto cómo la adopción con éxito de la automatización flexible lleva consigo un largo proceso de aprendizaje, difíciles procedimientos de reorganización, así como procesos de estrategia de redistribución que resultan mucho más fáciles para grandes empresas o entidades pequeñas especializadas en sectores de alta tecnología y habituadas a la tecnología electrónica avanzada. Las mayores dificultades parecen ser de carácter organizativo, ligadas a la naturaleza integrada e integradora de las nuevas tecnologías, ya que requieren planificación de la producción y sistemas de diseño integrados, así como nuevas categorías profesionales.

2.3.2 Análisis sectorial

La distribución de MHCN (tanto de cortar metales como de configurarlos) entre las principales industrias de maquinaria muestra que en esos tres países el mayor número de MHCN se encuentra en el sector de maquinaria general (CIIU 382) (cuadro 32). Sin embargo, el ritmo de difusión ha sido más intenso en el caso del equipo de transporte, que en 1988 contaba en el Japón con el 31 por ciento de las MHCN (el 23 por ciento en 1981) y con el 22 por ciento en los Estados Unidos (el 15 por ciento en 1983). También ha sido muy rápida la difusión de las MHCN en el sector de maquinaria eléctrica. Mediante un estudio realizado en Alemania (RFA) en 1987/1988 se comprobó que la mitad de las empresas utilizaban máquinas de CNC⁴⁶.

⁴⁵ Ponencia de Pr Camagni, Meeting of International Experts for a Program of Industrial Automation of the Capital Goods Industry of Latin America, ONUDI, Viena, diciembre de 1989.

⁴⁶ R. Schultz - Wild y otros: An der Schwelle zu CIM, Colonia, RWK Verlag, citado en K - H Ebel: Computer Integrated Manufacturing, OIT, Ginebra, 1990.

Cuadro 32: Difusión de las existencias de MHCN por sectores (Japón, EE.UU.)
(en unidades)

	Japón		Estados Unidos
	1981	1987	1988
De cortar metales			
Maquinaria general	11810	26267	115432
Maquinaria eléctrica	3611	11566	25055
Equipo de transporte	6017	20579	45865
Maquinaria de precisión	1796	3347	2713
Productos de metal			14899
Varios	2430	4407	504
	25664	0 66166	204468
De conformar metales			
Maquinaria general	392	1030	6558
Maquinaria eléctrica	656	1243	5153
Equipo de transporte	262	972	2698
Maquinaria de precisión	24	82	134
Productos de metal			3130
Varios	395	762	215
	1729	4089	17888

Cuadro 33: Difusión sectorial de MHCN en el Reino Unido (en 1987)

	Número de MHCN	% en existencias totales de MHCN	Número total de MH	% en existencias totales de MH	Valor añadido* 1986	(6)	(7)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(1)/(5)	(2)/(4)
Fundición, forja, estampación	1738	3,4%	42426	5,6	1166	1,5	0,56
Pernos, tuercas, muelles, etc.	826	1,6%	23795	3,1	533	1,5	0,47
Puertas, ventanas metálicas	4897	9,7%	107276	14,2	2596	1,9	0,62
<u>Fabricación de mercancías metálicas</u>	7461	14,8%	173497	22,9			
Instalación industrial, fundición de acero	985	1,9%	26765	3,5	1417	0,7	0,50
Máquinas herramientas y tecnología	2953	5,8%	46605	6,2	800	3,7	0,87
Maquinaria agrícola	2603	5,2%	40130	5,3	1576	1,7	0,89
Maquinaria textil, alimentación, química	3333	6,6%	43551	5,6	1703	2,0	1,05
Maquinaria armamento, equipo transporte	14188	28,1%	169026	22,3	2862	5,0	1,15
<u>Tecnología mecánica</u>	24062	47,6%	326077	43,1			
Equipo eléctrico, aparatos	3163	6,3%	61964	8,2	2298	1,4	0,70
Electrónica, telecomunicaciones	4105	8,1%	43865	5,8	4682	0,9	1,28
<u>Electricidad y electrónica</u>	7268	14,4%	105829	14,0			
Vehículos de motor y piezas	4492	8,9%	70268	9,3	4308	1,0	0,87
Aeroespacial	4053	8,0%	34979	4,6	3378	1,2	1,58
Equipo de transporte	1046	2,1%	18486	2,4	749	1,4	0,77
<u>Equipo de transporte de otro tipo</u>	5099	10,1%	53435	7,1			
Técnica instrumental	2141	4,2%	27247	3,6	669	3,2	1,17
TOTAL	50523	100,0%	756383	100,0	28739	1,8	1

Fuentes: Columnas (1) y (3) del Sexto informe sobre máquinas herramientas y equipo de producción en el Reino Unido, publicado por Metalworking Production, 1988.

* En millones de libras esterlinas.

Cuadro 34: Datos sobre difusión de MHCN en Francia

	Número de MHCN	% en existencias totales de MHCN	Número total de MH	% en existencias totales de MH	Valor añadido 1986	(6)	(7)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(1)/(5)	(2)/(4)
Fundición	561	1,67	13228	2,15	13,93	41,6	0,78
Productos de estructura metálica	11678	33,62	190599	30,98	161,66	169,3	1,09
Maquinaria agrícola	505	1,45	13178	2,14	7,11	65,1	0,68
Máquinas herramientas	2781	8,01	33995	5,53	8,39	331,3	1,45
Maquinaria para industrias generales	5356	16,85	91140	14,82	73,49	79,7	1,14
Maquinaria industrial	1164	3,35	19831	3,22	123,75	9,4	1,04
Maquinaria eléctrica	2537	7,30	40378	6,56	37,02	68,5	1,11
Electrónica	1799	5,18	30733	5,03	54,74	32,9	1,04
Vehículos de motor	3567	11,13	116105	19,27	81,13	47,7	0,59
Ferrocarriles	236	0,68	2946	0,48	4,08	57,8	1,42
Construcción naval y reparación	102	0,29	4737	0,77	6,10	16,7	0,38
Aviones	1904	5,48	23834	3,87	21,91	86,9	1,41
Profesional y científica	1726	4,97	34436	5,63	20,82	82,9	0,89
TOTAL*	34735	100	615140	100	521,75	66,6	1

Preparado a partir del inventario BIPE 1987.

En el caso del Reino Unido, el Japón y Francia, es posible analizar la difusión de las MHCN de manera más pormenorizada y medir el grado de automatización de las industrias de maquinaria a un nivel de tres dígitos. Esto permite una evaluación económica de los efectos del CN en las diferentes ramas.

La sexta encuesta sobre máquinas herramientas del Reino Unido abarca quince subsectores clasificados de acuerdo con las categorías de la CIIU (cuadro 33).

Al sector de tecnología mecánica le corresponden casi la mitad de las máquinas herramientas de CN y, dentro de este sector, el material de guerra y el equipo de transporte y mecánico (CIIU 329/326/328) cuentan con el mayor número de máquinas.

El subsector de máquinas herramientas, situado a la cabeza en la adquisición de herramientas de CN (compradas, en un 16 por ciento, durante los años 1967-1976), siguió haciendo grandes inversiones en CN, con el 61 por ciento del parque de MHCN instalado a partir de 1981.

En el caso de los vehículos de motor y sus piezas, para los que se utilizaban de ordinario las líneas de transferencia y las máquinas especializadas, los fabricantes adquirieron el CN para responder al nuevo imperativo tecnológico en términos de flexibilidad. La industria aeroespacial tenía la proporción más elevada de CN (el 11,6 por ciento) en su parque instalado.

La fabricación de mercancías metálicas, en la que participan gran número de pequeñas y medianas empresas, es el sector en el que ha sido más rápida la difusión de máquinas de CN, con el 82 por ciento adquirido entre 1982 y 1986.

Para realizar un análisis económico de los efectos del CN, hay que tener en cuenta las características de los diferentes subsectores. Cabe fijar dos indicadores⁴⁷ para medir la intensidad de utilización de las MHCN; a saber:

- i) el promedio de participación de las MHCN en las existencias totales de máquinas herramientas en el subsector, es decir, la proporción entre el número de MHCN del subsector y el número total de las instaladas. Con ello se muestra la probabilidad de elegir MHCN para el subsector en lugar de máquinas convencionales.

⁴⁷ Siguiendo la metodología propuesta por Edquist y Jacobson en Flexible Automation: the global diffusion of new technology in the engineering industry, 1988.

ii) la proporción entre el número de MHCN instaladas y el valor de producción (valor añadido) del subsector, que es un indicador de la importancia de las MHCN en el proceso de valor añadido.

Los subsectores se han representado en un gráfico (figura 28) en donde el eje vertical muestra la participación normal de las MHCN y el horizontal el número de MHCN por valor añadido. Cuanto más se avanza hacia el noreste del gráfico, son mayores los efectos de las MHCN.

- Los tres subsectores del cuadrante nororiental son maquinaria textil y para industrias alimentarias, instrumentos, material de guerra y equipo de transporte.
- En el cuadrante noroccidental se sitúan subsectores con utilización muy intensa de las MHCN, pero en los que el maquinado desempeña una función menor, como es el caso de la electrónica y de la industria aeroespacial.
- En el sudoriental encontramos máquinas herramientas, maquinaria agrícola y puertas y ventanas metálicas.
- En el sudoccidental se hallan subsectores no muy afectados por la automatización: instalaciones industriales y acerías, fundición y estampación, equipo y aparatos eléctricos, vehículos de motor y piezas de repuesto.

En el estudio sobre máquinas herramientas realizado en Francia se consideran trece subsectores, distribuidos según la clasificación francesa⁴⁸ (cuadro 34).

El mayor número de máquinas herramientas y de MHCN se encuentra en el sector de productos metálicos, seguido de vehículos de motor y de maquinaria para industrias generales.

El subsector de máquinas herramientas, situado a la cabeza en la adquisición de herramientas de CN (el 16 por ciento de las cuales se adquirieron entre los años 1967 y 1976), mantuvo la tendencia, alcanzando el 61 por ciento del parque instalado desde 1981.

En la fabricación de mercancías de metal, donde intervienen gran número de empresas medianas y pequeñas, se ha dado la difusión más rápida de máquinas de CN, con el 82 por ciento adquiridas entre 1982 y 1986.

Con la figura 29, basada en la misma metodología anteriormente utilizada, se ilustra la difusión del CN en el seno de diferentes ramas:

⁴⁸ Nomenclature des activités productives.

Figura 28: Difusión de las máquinas herramientas de control numérico en las industrias del Reino Unido

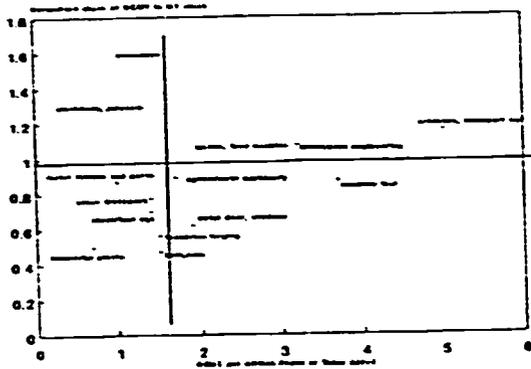


Figura 29: Difusión de las máquinas herramientas de control numérico en Francia en 1987

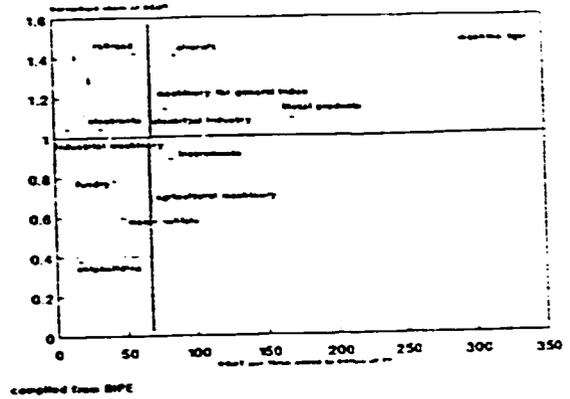
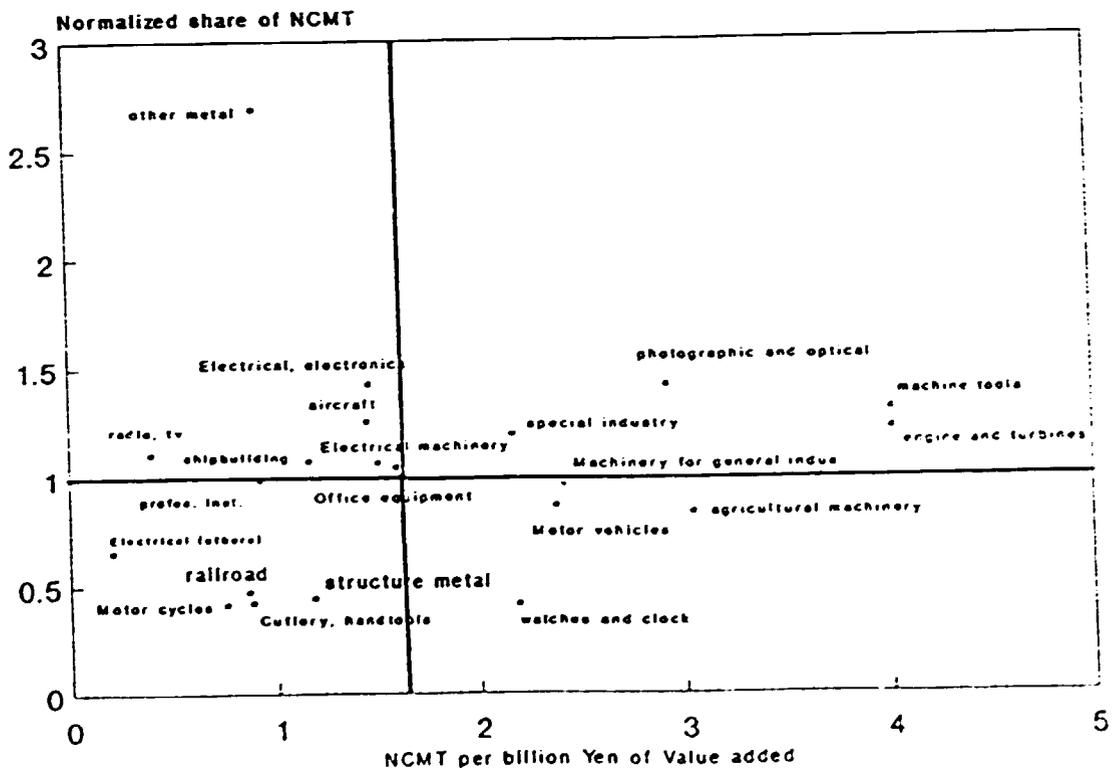


Figura 30: Difusión de las máquinas herramientas de control numérico en el Japón



- Los tres subsectores del cuadrante nororiental son la industria de máquinas herramientas, productos de metal, aviación, maquinaria para industria general.
- en el noroccidental, se encuentran la electrónica y el equipo para ferrocarriles.
- En el cuadrante sudoriental, instrumentos y maquinaria agrícola.
- En el sudoccidental, fundiciones, equipo eléctrico, vehículos de motor y construcción naval.

En el Japón, que marca el ritmo de la competitividad industrial, las tendencias de la difusión sectorial de las MHCN son de gran interés para todos los países.

El mayor número de MHCN (cuadro 35) se encuentra en la industria de vehículos de motor (el 29 por ciento en 1987), seguida por maquinaria para industrias generales (como bombas, máquinas transportadoras, aparatos para acondicionamiento de aire, ascensores) y maquinaria para trabajar el metal y la madera (que incluye la industria de máquinas herramientas). En el sector de otros productos metálicos (tornillos, pernos y tuercas), seguido por la industria de máquinas herramientas y las industrias fotográfica y óptica, se encuentra la mayor proporción de MHCN del total de máquinas herramientas instaladas. Entre los subsectores en los que las máquinas de CN son relativamente numerosas figuran, entre otros, aviación, máquinas y turbinas, equipo industrial especializado, electrónica de consumo, equipo de oficina y de cálculo.

Mediante la figura 30 se ilustra el efecto de las MHCN en los distintos subsectores:

- Los subsectores del cuadrante nororiental son la maquinaria para el metal y la madera (máquinas herramientas incluidas), máquinas y turbinas, equipo fotográfico y óptico, maquinaria especializada para industria y maquinaria para equipamiento general.
- En el noroccidental se encuentran subsectores con un uso muy intenso de MHCN pero en los que el maquinado desempeña una función relativamente menor, como es el caso de otros productos metálicos, electrónica de consumo, aparatos eléctricos y electrónicos y construcción naval.
- En el sudoriental aparecen maquinaria agrícola, vehículos de motor, relojes de pulsera y de pared.
- En el sudoccidental figuran subsectores a los que la automatización no ha afectado apenas: cubertería y herramientas manuales, productos estructurales de metal, motocicletas, equipo para ferrocarriles, material eléctrico.

Cuadro 35: Datos sobre la difusión de MHCN en el Japón

Fabricación de	Número de MHCN	% en existencias totales de MHCN	Número total de MH	% en existencias totales de MH	Valor añadido 1986	(6)	(7)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(1)/(5)	(2)/(4)
Cubtería, herramientas manuales, ferretería en general	361	0,53	7745	1,26	408	0,88	0,42
Muebles y accesorios		0		0			
Productos de estructura metálica	258	0,38	5223	0,85	219	1,18	0,44
Otros productos de metal	2846	4,15	9437	1,54	3108	0,92	2,69
Motores y turbinas	1607	2,34	11897	1,94	401	4,01	1,21
Maquinaria agrícola	1114	1,62	11935	1,95	366	3,04	0,83
Maquinaria para trabajar metal y madera	7093	10,32	48635	7,94	1766	4,01	1,30
Maquinaria industrial especial	4875	7,10	36437	5,95	2245	2,17	1,19
Maquinaria de oficina y cálculo	5135	7,45	44067	7,19	3222	1,59	1,04
Maquinaria para industrias generales	10872	15,84	100948	16,47	4490	2,42	0,96
Maquinaria eléctrica	3712	5,41	31333	5,11	2479	1,50	1,05
Radio, televisión, comunicaciones	3355	4,89	27174	4,43	8592	0,39	1,10
Aparatos eléctricos y electrónicos	2332	3,45	14700	2,40	1597	1,46	1,42
Otro material eléctrico	407	0,59	5621	0,92	2073	0,20	0,65
Construcción naval y reparaciones	809	1,19	6764	1,10	699	1,16	1,07
Ferrocarriles	100	0,15	1882	0,31	116	0,85	0,47
Vehículos de motor	20123	29,31	210090	34,28	8455	2,38	0,86
Motocicletas	195	0,15	2322	0,38	141	0,75	0,41
Aviones	399	0,58	2845	0,45	276	1,45	1,25
Profesional y científica	595	0,87	5439	0,89	648	0,92	0,98
Fotográfica y óptica	1775	2,59	11261	1,84	607	2,92	1,41
Relojes de pulsera y de pared	790	1,15	17115	2,79	351	2,19	0,41
TOTAL*	63554	100	612571	100	42269	1,62	1

Calculado a partir del inventario del MITI

* Diferente número total de MHCN y MH debido a problemas de conversión entre el código industrial de la CIIU y el japonés

Cuadro 36: Evolución de las existencias de máquinas herramientas de CH/CNC (en miles)

	EE.UU.	URSS	JAPÓN	ITALIA	RFA	REINO UNIDO	FRANCIA
alrededor de 1970	20	11	5	1	2	3	
alrededor de 1975	40		14	3			4
alrededor de 1980				11	25		10
alrededor de 1985	103			55	64		35
estimación 1990	240		100	100	100	80	60

Se debe proceder con cautela a la hora de extraer conclusiones de estos tres ejemplos. La posición de cada subsector es relativa al país: el grado de automatización del Japón es mayor que el del Reino Unido. Surgen, sin embargo, algunas conclusiones similares, relativas a las industrias menos afectadas por la automatización; tal es el caso, por ejemplo, de herramientas manuales, material eléctrico y productos estructurales de metal, que se hallan entre los sectores más corrientes de tecnología de los países en desarrollo.

La industria de máquinas herramientas es uno de los sectores tecnológicos en los que la difusión del CN tendrá efectos más pronunciados (recuadro 14).

2.4 Previsiones para el decenio de 1990

En el cuadro 36 se ofrece una estimación del número total de MHCN en 1990. Como puede verse, en Europa las tasas de aumento de las máquinas de CNC han variado entre el 10 y el 20 por ciento anual. Si bien el mayor número de máquinas herramientas de CN se encuentra en los Estados Unidos, Italia es, al parecer, el país con mayor participación en el número total de máquinas herramientas (el 15 por ciento), seguido de Francia y del Japón (el 10,7 por ciento y el 13,4 por ciento entre las máquinas herramientas de cortar metales). Según el último inventario japonés (1987), el ritmo de instalación de las máquinas herramientas más recientes ha empezado a disminuir⁴⁹.

La difusión del CN, como la de cualquier otra innovación tecnológica, puede describirse mediante una curva con forma de S en la que se distinguen tres partes diferenciadas: expansión inicial (curva ascendente), zona de transición (punto de inflexión) y saturación (curva descendente)⁵⁰. Este modelo puede

⁴⁹ En 1988 y 1989, las ventas nacionales de máquinas herramientas de CN han alcanzado las 70.000 unidades, al mismo tiempo que la tasa de sustitución era del 78 por ciento.

⁵⁰ Se pueden utilizar varias ecuaciones para representar este modelo, entre ellas la ecuación Pearl donde $D(t) = 1/(1 + Ae^{-kt})$ y von Bertalanffy $D(t) = (1 + Ae^{-kt})^3$. En cada una de esas expresiones A puede interpretarse como el valor de $D(0)$ mientras k mide el dinamismo a lo largo del tiempo.

Recuadro 14: Difusión del CN en la industria de máquinas herramientas

Si bien, en general, la automatización flexible mejora la competitividad de las empresas pequeñas, los cambios en la distribución por tamaños de industrias especializadas, como las de máquinas herramientas, tal vez tiendan a desviarse hacia las clases de mayor tamaño en razón de la indivisibilidad de I y D y de las economías de alcance basadas en sistemas electrónicos de fabricación flexible.

El inventario japonés ha ilustrado la introducción de las MHCN en la industria de máquinas herramientas. La productividad se ha visto muy reforzada y los lotes de producción son grandes si se los compara con los occidentales. Se considera a las empresas japonesas como iniciadoras de las técnicas de fabricación en serie de la industria de máquinas herramientas. En 1984, por ejemplo, Star Micronics construía al mes 50 tornos de contrapunto de CNC con una fuerza de trabajo de 230; en 1988, una nueva planta equipada con 100 máquinas herramientas (el 80 por ciento de CN) fabricaba 100 máquinas con 63 empleados y se proponía alcanzar 130 unidades mensuales: una productividad diez veces superior.

Entre los cambios en la organización destaca la introducción de la construcción modular, reforzada por la necesidad de la industria metalúrgica de maquinar una gama muy amplia de piezas en partidas pequeñas y grandes, con la habilidad para cambiar rápidamente de una familia de piezas a otra. La mejor manera de hacer esto último es disponer de un sistema que permita diversas configuraciones de sistemas de maquinado que se elaboran a partir de una gama de módulos normalizados y no mediante la utilización de piezas de máquina sin flexibilidad. Se han logrado éxitos notables utilizando unidades modulares en la construcción de rectificadoras para la producción en gran volumen, pero todavía está pendiente una aplicación más amplia del concepto, que abarque tornos, fresadoras y taladradoras. A medida que sea mayor el número de industrias que elijan la tecnología de grupo, los fabricantes de máquinas herramientas adoptarán cada vez más los conceptos de construcción modular que permiten tiempos de espera más breves, flexibilidad en la configuración final de máquina, inventarios reducidos y mayor número de lotes.

utilizarse con el fin de prever⁵¹ el rendimiento máximo de la tecnología y su punto de saturación, medido como porcentaje del número total de máquinas herramientas instaladas.

Las previsiones basadas en las estadísticas de los inventarios produjeron resultados poco fiables⁵² y, para evitar esta dificultad, se han utilizado métodos basados en los datos de consumo: así se ha podido comprobar⁵³ que la evolución de la participación del CN en el consumo se puede considerar como índice destacado de la evolución de la participación del CN en la capacidad instalada, y que el nivel de saturación del CN en la capacidad instalada era igual al del consumo con algunos desfases temporales.

- Basándose en la participación del CN en la producción de máquinas herramientas⁵⁴ desde 1970 a 1988, se ha previsto⁵⁵ que el nivel de saturación será del 34 por ciento para las MH de cortar metales; después, al hacer estimaciones para los años de reposición, se ha visto que la participación del CN en la instalación logrará su mayor aumento de 1985 a 1995 y se acercará al nivel de saturación después del año 2000 (figura 31), con el 34 por ciento de CN entre las máquinas herramientas instaladas. En el caso de empresas con más de 50 empleados la participación del CN en la instalación podrá alcanzar alrededor del 40 por ciento.

- Si se aplica la misma metodología a los datos de consumo de los EE.UU., se encuentra la misma pauta de difusión, con

⁵¹ P.F. Gonod: Technological forecasting: principles and analysis of methods, IPCT(107) SPEC, ONUDI, febrero de 1990.

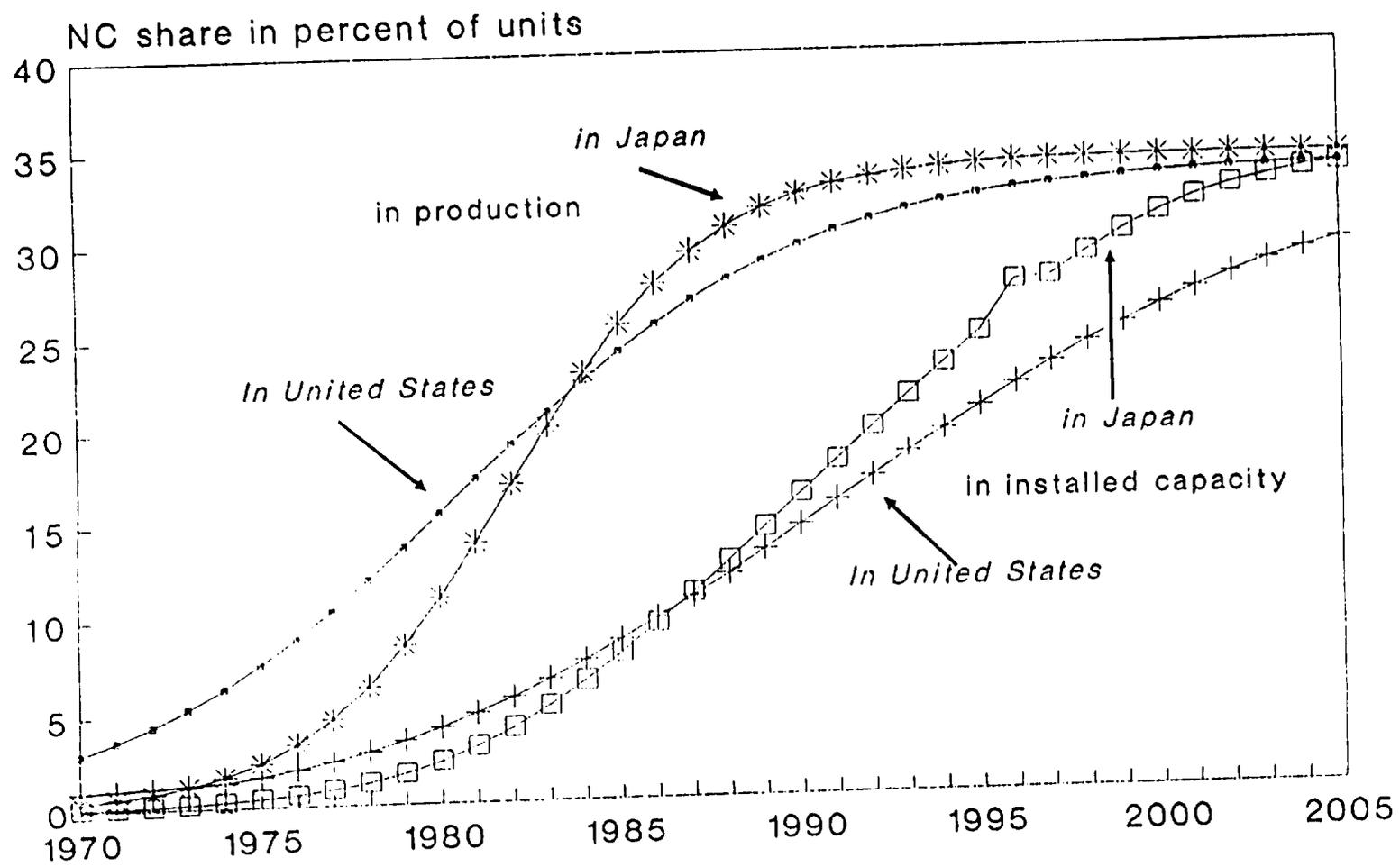
⁵² Tchijov, I., CTM diffusion, the case of NC machine in the US metalworking industries, IIAAS WP-87-77, septiembre de 1987.

⁵³ A. Tani: "Saturation level of NC machine-tool diffusion", en J.P. Ranta, editor: Trends and impacts of computer integrated manufacturing, Actas del segundo taller anual de IIASA sobre fabricación integrada mediante computadora: tendencias futuras y consecuencias. IIAAS, Laxenburg, 1989.

⁵⁴ Que tiene una estrecha semejanza con la participación del CN en el consumo.

⁵⁵ A. Tani: "Saturation level of NC machine-tool diffusion", en J.P. Ranta, editor: Trends and impacts of Computer integrated manufacturing, Actas del segundo taller anual de IIASA sobre fabricación integrada mediante computadora: tendencias futuras y consecuencias, IIASA, Laxenburg, 1989.

Figura 31: Previsión de la participación del CN en la producción e instalación (de máquinas herramientas de cortar metales)



For Japan: IIASA; for USA Computed

algún desfase temporal en relación con el Japón. Parece que, para el 2005, el CN podría alcanzar el 30 por ciento de la capacidad instalada.

Estas previsiones indican que la mayor difusión de las máquinas herramientas de CN se producirá durante el próximo decenio y que esa difusión tendrá importantes consecuencias en los próximos años sobre la competitividad de las industrias de maquinaria.

3 Integración de sistemas

Si bien una máquina herramienta de CN es una innovación sustitutoria, un sistema de fabricación flexible se presenta como una innovación radical, como una manera de hacer cosas distintas. Los beneficios alcanzables por medio de la integración sistémica de máquinas de CN son considerablemente superiores a los obtenidos mediante la adición de equipos independientes, por lo que un sistema de fabricación flexible (FMS) se ha descrito como una fábrica en miniatura⁵⁶.

3.1 Células y sistemas de fabricación flexible

La mayoría de las definiciones (recuadros 15 y 16) distinguen entre sistemas a tenor del número de máquinas enlazadas mediante sistemas de manipulación de materiales y de su capacidad para responder a las múltiples necesidades de elaboración de piezas de diferentes formas y dimensiones.

No cabe, sin embargo, considerar el número de máquinas utilizadas en un sistema como línea divisoria entre una célula de fabricación flexible (FMC) y un sistema de fabricación flexible (FMS), dado que ambas entidades trabajan de acuerdo con principios muy distintos (figura 32).

- La FMC está basada en un principio de sincronización: en cualquier momento dado, varias máquinas están fabricando la pieza que se trabaja.
- El FMS se basa en un principio de coordinación: cada una de las máquinas fabrica la pieza que se trabaja en un momento dado. La transferencia entre las distintas máquinas se puede organizar de acuerdo con dos principios:
 - "flow shop": la pieza que se trabaja va de una máquina

⁵⁶ Bessant, en la reunión de expertos internacionales para estudiar un programa de automatización industrial del sector de bienes de capital en América Latina.

a otra como en una línea de transferencia
-"job shop": en este caso es posible combinar de maneras
distintas la utilización de las máquinas.

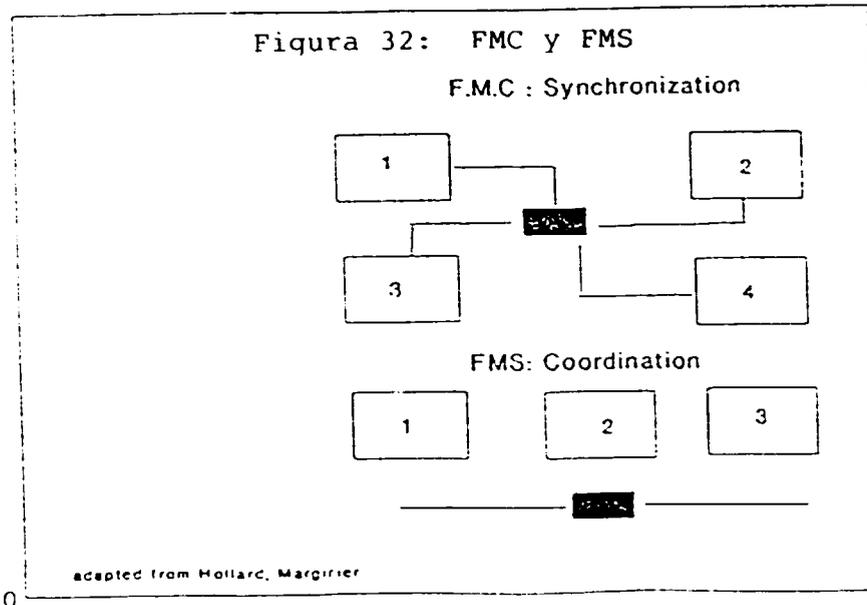
Recuadro 15: Definiciones de FMS y FMC

Los módulos de fabricación flexible (FMM) constan de una MHCN independiente, de equipo para manipulación de materiales, como robots o un cargador de bandejas, y de algún tipo de sistema de vigilancia. Los FMM se pueden incorporar dentro de un módulo a un sistema más amplio.

La célula de fabricación flexible (FMC) consiste, como mínimo, en dos máquinas herramientas convencionales, o de CN, o ambas cosas, e incluye un dispositivo para manipulación de materiales, como un robot, que sirve a varias máquinas herramientas colocadas en línea o en círculo, o cambiadores automáticos de bandejas, junto con transporte automático entre las MHCN.

Los sistemas de fabricación flexible (FMS) cuentan con varias máquinas herramientas automatizadas de tipo universal o especializado, o células de fabricación flexible, o ambas cosas y, en caso necesario, otros puestos de trabajo manuales o automatizados, enlazados por un sistema automático de flujo de piezas, de manera que permite el maquinado simultáneo de varias piezas que pasan por el sistema siguiendo rutas diferentes.

La línea flexible de transferencia cuenta con varias máquinas herramientas automatizadas universales o especializadas y otros puestos de trabajo automatizados, según las necesidades, enlazados por un sistema automatizado de flujo de piezas de conformidad con el principio de línea. Una línea flexible de transferencia es capaz de maquinar simultánea o secuencialmente diferentes piezas que recorren el sistema por el mismo camino.



3.1.1 Células de fabricación flexible (FMC)

La tendencia hacia la FMC está alimentada por la potencia cada vez mayor de que se dispone con las máquinas de "un golpe". Los centros de torneado son los mejores ejemplos, con capacidad para una segunda operación, como mortajar, fresar y taladrar; los centros de fresado/maquinado han desarrollado capacidades de torneado.

El número de centros de maquinado es una indicación de la difusión de las FMC. En los Estados Unidos esa cifra pasó de 17.000 en 1978 a 24.000 en 1983 y aumentó espectacularmente a 53.585 en 1988⁵⁷; una expansión similar se registró en el Reino Unido (de 5.900 a 10.500), mientras que en 1987 el número total en el Japón era de 14.000 (cuadro 37).

⁵⁷ Se espera que para el periodo 1988-1993 el mercado de centros de maquinado aumente el 5,3 por ciento anual, alcanzando los 700 millones de dólares de los EE.UU. en 1993.

Recuadro 16: Descripción de un FMS

En la mayoría de las instalaciones con FMS, las piezas en bruto que se incorporan llegan a un puesto de trabajo donde se las coloca en dispositivos o bandejas. Cuando se recibe la información, el supervisor del FMS (computadora) toma la dirección, realizando todas las operaciones necesarias hasta terminar.

El supervisor envía primero un transportador a la estación de carga/descarga para recoger una bandeja. La bandeja cargada permanece en movimiento sobre una correa sin fin hasta que queda disponible una máquina para realizar la primera operación. Cuando un recipiente (un sitio en la cola) queda disponible, el transportador se detiene y un mecanismo de transferencia recoge la bandeja.

Las piezas que recibe una máquina han de estar colocadas con precisión respecto al husillo de la máquina herramienta. La inspección para comprobarlo puede hacerse manualmente, utilizando instrumentos normalizados o mediante máquinas coordinadas de medición. A partir de las mediciones se calculan los desplazamientos adecuados para el maquinado, y se comunican al supervisor.

Mientras tanto el supervisor decide si en la bolsa de herramientas están presentes todas las que se necesitan para las operaciones de maquinado y pide las que faltan a un almacén de herramientas fuera de línea o a un pañol/cadena de herramientas dentro del sistema. Cuando se han cargado todas las herramientas necesarias, el supervisor pasa al controlador de la máquina el programa de CN de la pieza desde la computadora de control del FMS.

El proceso de asegurarse de que la pieza es, de hecho, lo que la computadora piensa que es, se denomina "calificar" la pieza: incluye asegurarse de que todas las operaciones anteriores se han llevado a cabo, de que, por sus dimensiones, la pieza se halla dentro de los límites de tolerancia, y que está ubicada con exactitud.

Una vez terminadas las actividades de instalación, comienza el maquinado. El FMS controla la herramienta durante el contacto. Si la herramienta se rompe, se recurre a un procedimiento eventual. Las correcciones compensadoras para cualquier desviación se realizan durante el maquinado. El control por adaptación en el FMS es todavía muy rudimentario y técnicamente muy difícil con la tecnología actual.

La pieza terminada, o maquinada, es llevada al recipiente para esperar un transportador. Después de ser cargada en el transportador, la bandeja se traslada hasta la siguiente operación o, de lo contrario, circula por el sistema, o se la descarga en algún lugar intermedio de almacenamiento hasta que quede disponible la máquina requerida para la siguiente operación.

La computadora controla los ciclos y recibe, de cada uno de los puestos de trabajo, y con destino a los sistemas de notificación, información estadística, y de otro tipo, sobre fabricación.

Adaptado de Jaikumar: "Japanese flexible manufacturing systems, impact on the United States, Japan and the world economy", en International Journal of Theory and Policy, vol. 1, nº 2, 1989.

Cuadro 37: Difusión de centros de maquinado
en unidades

	1983	1987	1988
Japón		14610	
Estados Unidos	24000		53585
Reino Unido	4902	10354	

Fuentes: Informes sobre inventarios nacionales

3.1.2 Sistemas de fabricación flexible (FMS)

Debido a las diferencias en las definiciones y a las deficiencias en el acopio internacional de datos, las estimaciones sobre las existencias de FMS instalados varían mucho, y la pauta que sigue su difusión no está bien documentada. El número total de sistemas instalados ha pasado de 80 (1980) a 1.200 en 1989 y, según las previsiones de IIAAS⁵⁸, se podrían alcanzar los 3.000 en el año 2000. Aunque la mayoría de los sistemas instalados constan por lo menos de dos máquinas de CNC, puede calcularse que las existencias totales representan menos del 1 por ciento de las instalaciones de CNC en todo el mundo.

⁵⁸ En CEPE, Seminar on CIM, Sofía, septiembre de 1989.

El primer FMS se construyó en los Estados Unidos en 1970; después hubo una tasa de aumento de la capacidad instalada constante pero no espectacular hasta 1982, momento en que el número de sistemas en uso se dobló, para alcanzar los 200 en 1984⁵⁹. Las ventas de FMS en 1984 ascendieron a 120 millones de dólares de los EE.UU. (la mitad en Europa) y, en 1988, la industria europea gastaba, según Frost y Sullivan, 620 millones en FMS, por lo que las ventas totales pueden alcanzar los 1.000 millones para 1991⁶⁰.

Según el IIAAS, en 1989 se estimó el número total de FMS en 1.200 (cuadro 38). Los dos usuarios principales eran el Japón (167) y los Estados Unidos (137); les seguían Alemania (RFA), el Reino Unido y Francia.

La difusión de los FMS ha tendido a quedar reducida a determinadas industrias (cuadro 39) donde se los utiliza en una reducida gama de operaciones para la fabricación de componentes especiales (por ejemplo, fabricación de motores y transmisiones en el caso de los automóviles). Esas industrias siguen siendo su principal mercado: según el IIAAS, aproximadamente la mitad de los sistemas instalados se utilizan en el sector de equipo de transporte (automóviles, tractores y aeroespacial); el segundo usuario en importancia es maquinaria, exceptuando la eléctrica (sobre todo maquinaria de construcción) y el tercero maquinaria eléctrica. En la URSS, la mitad de los FMS soviéticos se utilizaban en la misma industria de máquinas herramientas, el 25 por ciento en la industria del automóvil y el 10 por ciento en la de maquinaria eléctrica⁶¹.

La industria de vehículos de motor domina las previsiones de ventas, basadas en las solicitudes actuales. Entre las familias de piezas fabricadas figuran culatas del cilindro, cajas del tambor del freno y componentes de motores. Se ha ampliado algo la utilización de los FMS incorporándolos al montaje en Italia, el Japón y los Estados Unidos, con lo que han empezado a funcionar en

⁵⁹ J. Bessant, B. Haywood, H. Rush, Integrated automation in batch manufacturing. Documento preparado para la OCDE, Dirección general para la ciencia, la tecnología y la industria, París, 1987.

⁶⁰ Metalworking Production: "Europe to treble FMS by 1991", febrero de 1988.

⁶¹ S. Sipos y H. Sitarska: "Technological and organizational change: a challenge to Eastern Europe", IDS Bulletin, 1989, vol. 20, nº 4.

Cuadro 38: Distribución de sistemas de fabricación flexibles totalmente integrados (FMS)
estimaciones (unidades)

	1980	1983	1985	1987	1988	1989	2000 proyección
Japón	28	135		254		167	
EE.UU.	6-14	15-31				137	
Reino Unido	3	4				93	
Alemania (RFA)	10	13				74	
Francia	2	13				67	
URSS						56	
Italia		12			25	37	
Suecia						36	
RDA			11			28	
Checoslovaquia						23	
Estimaciones mundiales	80	>100				1200	3000

Fuentes:

1980-1983: Bessant

Cifras del Japón: 7º inventario (1987)

Italia: Technovation, 9 (1989), pág. 497

IIASA FMS World Data Bank (1989)

Cuadro 39: Distribución sectorial de FMS

En el Japón

Maquinaria general	169	67%
Maquinaria eléctrica	42	17%
Equipo de transporte	39	16%
Otros	1	0%
	251	

En Europa

	Reino Unido	S	RFA
Construcción de máquinas	26%	38%	69%
Vehículos de motor y motores	30%	16%	4%
Aeroespacial	12%		4%
Eléctrica electrónica	8%	8%	
Subcontratación	24%	38%	6%
	100%	100%	83%

Fuente: Haywood y Bessant 1987
MITI 1987

el sector donde es mayor la actividad⁶². También están surgiendo nuevos grupos de usuarios en sectores como bombas, componentes para equipos marinos, válvulas y herramientas manuales. Las adquisiciones de FMS estuvieron restringidas a grandes empresas, si bien en países industrializados ha comenzado la difusión entre entidades subcontratantes.

Quando se aplican con éxito, los FMS pueden reducir de forma espectacular los costos de fabricación como resultado del aumento de utilización de las máquinas, reducción del tiempo de colocación y del tiempo de espera (tiempo de maquinado necesario para completar una operación de corte), ahorros de existencias, de productos en proceso de fabricación, de capital invertido y de costos de mano de obra.

Jaikumar, en su pormenorizado estudio sobre 95 sistemas de fabricación flexible instalados en los Estados Unidos y en el Japón⁶³, compara el rendimiento de una fábrica japonesa antes y después de la introducción de la automatización flexible total (cuadro 40):

- el promedio de tiempo de fabricación por parte disminuye en un factor de 3
- el espacio necesario en 2,5
- las necesidades de personal, en tres turnos, descienden espectacularmente de 195 a 39

En el cuadro 41 se documentan las necesidades de mano de obra de varios sistemas para operaciones de cortar metales en una fábrica estadounidense y en otra japonesa. En una fábrica japonesa convencional se necesitaron 100 personas para hacer un determinado número de piezas que requerirían 143 empleados si se tratara de una fábrica convencional estadounidense; esta misma tarea, sin embargo, sólo necesitaría 43 operarios en una fábrica japonesa equipada con FMS. La mayor reducción de fuerza de trabajo se produce en procesos generales de fabricación, pasando de 64 a 5, mientras que en concepción tecnológica el número de trabajadores desceinde de 34 a 16. Una consecuencia de esta reducción es el cambio en la composición de la fuerza de trabajo: los técnicos exceden a los obreros manuales en una proporción de 3 a 1 en una fábrica equipada con FMS. Esto indica un cambio fundamental en el

⁶² Hoffman: "Technological Advance and Organizational innovation in the engineering industries", Industry Series Paper, nº 4, marzo de 1989, Banco Mundial.

⁶³ R. Jaikumar: "Post-industrial manufacturing", Harvard Business Review, noviembre-diciembre de 1986.

entorno fabril: "la automatización flexible cambia el escenario de la competición: ya no se trata de hacer funcionar la fábrica sino de planificar la producción"⁶⁴.

Los FMS instalados se pueden dividir en dos grandes grupos: sistemas baratos que cuestan menos de 5 millones de dólares de los EE.UU. y que son los más usados, y los caros, que cuestan más.

La inversión en FMS es a menudo un proceso difícil y previsiones anteriores relativas a su difusión han demostrado ser demasiado optimistas por haber subestimado los siguientes puntos:

-problemas técnicos en razón de los programas informáticos interactivos y en razón de la organización de la red

-problemas organizativos: los FMS no se pueden considerar como una solución tecnológica para una fábrica poco eficiente. Grandes empresas que han invertido mucho en automatización de fábricas han tropezado con dificultades para lograr que esos sistemas fuesen rentables y técnicamente fiables. En un estudio comparativo⁶⁵ (cuadro 42), se encontró que un típico FMS japonés era capaz de fabricar casi diez veces más piezas distintas que el sistema estadounidense equivalente y que su tasa de utilización (tiempo de cortar metales frente a tiempo total) era 84 por ciento en lugar de 52 por ciento en los EE.UU. La razón de esta diferencia descansaba en el diseño y funcionamiento del sistema. El tiempo de elaboración del sistema de los Estados Unidos que se estudió fue, como promedio, de 2,5 a 3 años y se necesitaron alrededor de 25.000 horas-hombre para concebirlo, perfeccionarlo, instalarlo y ponerlo en marcha, mientras que en el Japón tareas similares exigieron de 1,5 a 1,75 años y 6.000 horas-hombre. En contra de la experiencia japonesa, en las empresas de los EE.UU. el diseño se separó de la ejecución; los operadores especializados que instalaron los sistemas fueron reemplazados por otros sin suficiente adiestramiento que no lograron utilizar las grandes posibilidades del FMS⁶⁶.

64 Jaikumar, *ibidem*.

65 Jaikumar, *Harvard Business School Review*, 1985.

66 Una encuesta sobre los FMS instalados en el Reino Unido puso de manifiesto que 18 de un total de 27 instalaciones podían describirse como sistemas especializados, *Machinery and Production*, número del 75 aniversario.

Cuadro 40: Rendimiento de una fábrica japonesa antes y después de la introducción de FMS

	antes	después
Tipos de piezas	543	543
Número de unidades	1120	1120
Espacio en la fábrica (m ²)	16500	6600
Equipo por sistema	90	43
Personal por sistema	195	39
(3 turnos)		
Tiempo medio de proceso de fabricación, en días	91	30

Cuadro 41: Comparación entre necesidades de fuerza de trabajo en operaciones de corte de metales para fabricar el mismo número de piezas en los Estados Unidos y en el Japón

	Sistema convencional		FMS
	EE.UU.	Japón	Japón
Concepción tecnológica	34	18	16
Generales	64	22	5
Fabricación	52	28	6
Montaje	44	32	16
Número total	194	100	43

Cuadro 42: Comparación entre FMS estudiados en los Estados Unidos y en el Japón en 1984

	EE.UU.	Japón
Tiempo de desarrollo del sistema (en años)	2,5 a 3	1,25 a 1,75
Número de máquinas por FMS	7	6
Tipos de piezas producidas	10	93
Volumen anual por pieza	1727	258
Número de unidades producidas por día	88	120
Número de nuevas piezas introducidas por año	1	22
Número de sistemas con operaciones no vigiladas	0	18
Tasa de utilización (dos turnos)	52%	84%
Tiempo medio diario de corte de metales (en horas)	8,3	20,2

Fuente: R. Jaikumar, "Post-industrial manufacturing". Harvard Business Review, nov./dic. 1986.

-dificultades por problemas de diagnóstico: un FMS tiene todos los problemas comunes a las máquinas de CN, pero, al mismo tiempo, le falta la atención constante que recibe la máquina independiente de CN por parte del operador de máquina, y que puede compensar en el caso de errores pequeños. Determinar el origen de un problema de "salida de tolerancia" en un FMS integrado puede ser muy difícil⁶⁷.

Debido a todas esas dificultades ha habido un cambio en la actitud de las empresas que favorece el método del paso a paso, empezando por las células de fabricación flexible (FMC), islas de automatización que se unen progresivamente con el transporte de las piezas y la gestión de las herramientas para formar FMS como parte de una operación general de fabricación integrada mediante computadora (CIM).

3.1.3 Fabricación integrada mediante computadora

Las tendencias tecnológicas como las MKN y los FMS se limitaban a la esfera de la fabricación, pero esta etapa de automatización puede ir seguida de otra que afecte a la integración entre diseño, producción y gestión. A finales del decenio de 1970, Boeing y General Motors, entre otras empresas, iniciaron en los Estados Unidos la fabricación integrada mediante computadora.

En la CIM existen redes que conectan todos los microprocesadores, robots y controladores programables de una fábrica, transmitiendo a una computadora información sobre todas las fases de producción⁶⁸. En el departamento de diseño, la difusión del sistema de diseño auxiliado por computadora (CAD), utilizado primero para la preparación de planos, permite la conversión de ideas y modificaciones en un conjunto completo de planos de construcción. Estos sistemas pueden generar los datos necesarios para equipo de producción controlado por computadora, vía diferentes postcompiladores de diseño auxiliado por

⁶⁷ Jaikumar: From filling and fitting to flexible manufacturing: a study in the evolution process control, documento de trabajo de la Harvard Business School, 1988-045.

⁶⁸ Nissan montó su versión propia de CIM para su nuevo automóvil de lujo, el Infiniti. IBAS (sistema inteligente de montaje de carrocerías) está en condiciones de detectar problemas y de dar instrucciones para realizar reparaciones. La empresa proyecta construir sistemas similares en sus fábricas del extranjero (Fortune: "Japan capital's spending spree", 9 de abril de 1990).

computadora y fabricación asistida por computadora (CAD/CAM). De manera similar, las distintas actividades discontinuas de la gestión de producción están ahora disponibles como módulos para conjuntos integrados o programas informáticos de gestión que se nutren de la misma base de datos central. La integración se extiende más allá del funcionamiento de la empresa misma hasta su entorno y puede incluir la cadena de aprovisionamiento y la red de distribución y comercialización.

El concepto de un entorno manufacturero globalizador integrado por computadora puede desarrollarse en el decenio de 1990 y en años ulteriores hasta alcanzar un único sistema comercial integrado⁶⁹. Según algunas estimaciones, el gasto total en automatización de las fábricas puede ascender a 30.000 millones de dólares de los EE. UU. en 1995, con el Japón y los Estados Unidos como adelantados. Una de las principales empresas de automatización de fábricas ha predicho que el 70 por ciento de las compañías japonesas tendrán "algún tipo" de CIM en un plazo de diez años, a partir del 30 por ciento, aproximadamente, en 1990⁷⁰.

Uno de los obstáculos más importantes para la difusión de CIM es la ausencia de una norma común a toda la industria para programas informáticos. GENERAL MOTORS, uno de los clientes más importantes, ha promovido el Protocolo de automatización de la fabricación (MAP), para la vinculación de equipos independientes, que es compatible con el Protocolo de oficina técnica utilizado por BOEING. La Organización Internacional de Normalización (ISO) promueve la Interconexión de sistemas abiertos (OSI). Por añadidura, buena parte de la información necesaria para el proceso de producción no es adecuada ni para la codificación, ni para el procesamiento por computadora ni para la transmisión⁷¹.

Los expertos no están de acuerdo sobre las consecuencias últimas de la automatización. En 1949, N. Wiener⁷² describió por

⁶⁹ El lanzamiento por parte de IBM de su arquitectura de CIM de uso múltiple es el más importante entre muchos signos que refuerzan el mensaje de que la integración puede lograrse gradualmente.

⁷⁰ Fortune: "Japan capital's spending spree", 9 de abril de 1990.

⁷¹ K.H. Ebel: Computer integrated manufacturing, the social dimension, OIT, Ginebra, 1990, págs. 30-33.

⁷² N. Wiener: The Human use of human beings: cybernetics and society.

Cuadro 43: Distribución estimada de inversiones en automatización industrial

Millones de dólares	1985	1990	1995
Computadoras y programas industriales	935	2500	6500
Sistemas de manipulación de materiales	2000	4500	8000
Máquinas herramientas y controles	3000	4800	7000
Controladores programables	50	550	3000
Robots y sensores	65	660	2800
Transferencia y equipo automáticos	800	2000	4000
Gastos totales de automatización	6850	15010	31300

Fuente: Dataquest.

vez primera la fábrica sin personal y por entonces se esperaba que se hiciera realidad para comienzos del decenio de 1970. Cuarenta años después, la fábrica sin obreros se halla todavía en el mundo de lo imaginario⁷³. Los directores que soñaron con reemplazar a los obreros por robots o máquinas de CNC descubren que, a medida que las máquinas se hacen más sofisticadas, no desaparece el problema de encontrar buenos trabajadores. La idea de que el oficio de mecánico está muriendo a causa de la automatización parece ya un mito: "la automatización está muy bien si se tiene a alguien para manejarla y hacer el trabajo intelectual"⁷⁴. Parece que la visión tecnocéntrica de la fábrica del futuro es un callejón sin salida⁷⁵; la automatización flexible sólo puede funcionar si la manejan técnicos altamente cualificados y únicamente la mezcla adecuada de personas y máquinas puede producir más valor añadido.

⁷³ K. H. Ebel: "L'usine automatisé a besoin de la main de l'homme", Revue Internationale du Travail, 5/1989, Ginebra.

⁷⁴ Informe especial sobre adiestramiento, American Machinist, junio de 1989.

⁷⁵ Cohen, Zysman: "US competitiveness suffers: the emergence of a manufacturing gap", en Transatlantic perspectives, Washington, otoño de 1988.

CAPITULO IV: CONSECUENCIAS PARA LOS PAISES EN DESARROLLO

La evolución de las máquinas herramientas --desde una máquina ruidosa manejada por hombres de mono azul hasta una "isla de automatización" dirigida por técnicos y programadores-- tiene unas consecuencias para los países en desarrollo que van mucho más allá de la cuestión de incorporarse a la industria de máquinas herramientas (y desarrollarla). Esta evolución debe considerarse en el contexto de los cambios que afectan a las reglas mundiales de competencia en las industrias de maquinaria y en un ámbito todavía más amplio¹.

Después de una valoración de las consecuencias de estas tendencias sobre los fabricantes de máquinas herramientas, en el presente capítulo se abordarán las cuestiones de los efectos sobre las industrias de maquinaria y la cuestión de la automatización industrial de los países en desarrollo.

1 Efectos sobre la producción de máquinas herramientas

1.1 Incorporación a la industria de máquinas herramientas

En algunos países la justificación racional para la incorporación a la industria de máquinas herramientas no se basó únicamente en factores económicos. Para medir el beneficio neto que proporciona una inversión de esas características, hay que tener en cuenta el provecho económico (valor añadido, beneficios en divisas, etc.) junto con factores externos como la posibilidad de adaptación y mejora de la tecnología y adiestramiento de la fuerza de trabajo (recuadro 17).

Una de las decisiones más importantes con que se enfrentan los países en desarrollo en el sector de bienes de capital es la "decisión de hacer o de comprar"², teniendo en cuenta la elección de un conjunto de productos y la adquisición de tecnología.

¹ Como, por ejemplo, los efectos de la automatización flexible sobre la industria de la confección.

² M. Fransman: Machinery and Economic Development, Mac Millan, 1986.

Recuadro 17: Medida de la eficacia económica de la industria de máquinas herramientas en el Pakistán

En el Pakistán se ha hecho una evaluación de la función económica de la industria de máquinas herramientas. La industria está constituida por 188 empresas con un máximo de 20 empleados, 10 empresas medianas (de 21 a 100 empleados) y dos grandes empresas con más de 100 empleados; en 1987, las ventas totales ascendieron a 3 millones de dólares de los EE.UU.

En el estudio se valoraron los beneficios ligados a empleo, ahorro de divisas y valor añadido, y se midieron los costos en recursos nacionales de algunos productos.

Empleo. El empleo directo en fábricas de máquinas herramientas era de 2.261, aunque muchas operaciones eran subcontratadas: la mayor, fundición de piezas, que generaba 445 puestos adicionales de trabajo; otras operaciones (planificación, fabricación de engranajes) proporcionaban 91 puestos más.

Ahorro de divisas. Se ha calculado el costo de las máquinas del Pakistán entre una tercera y una quinta parte de las importadas de países industrializados. La producción nacional de 77.000 máquinas herramientas durante un período de veinte años ha representado un beneficio importante para la economía nacional que se ha estimado en 165 millones de dólares de los EE.UU.

El valor añadido, como porcentaje de las ventas nacionales, ha sido muy importante: el 36 por ciento en el caso de empresas pequeñas, el 41 por ciento en las medianas y el 51 por ciento en las grandes.

Costo en recursos nacionales (DRC). Con el fin de valorar la eficiencia económica de la industria, se ha hallado el DRC, que mide los costos nacionales en los que se ha incurrido por unidad de moneda extranjera ahorrada o ganada. Para productos como tornos convencionales (0,83), fresadoras (0,72), taladradoras (0,75), el DRC, medido en términos del tipo de cambio vigente ha sido inferior a uno: este análisis sugiere que la industria es muy competitiva.

De Ghulam Kibria: A study of the machine-tool industry potential of indigenous capability in the engineering industry of Pakistan, National Development Finance Corporation, informe nº 21, marzo de 1988.

1.1.1 Dificultades técnicas

Con frecuencia, el principal obstáculo con que tropiezan los países en desarrollo deseosos de incorporarse a la industria de máquinas herramientas es menos tecnológico que económico: la ausencia de un mercado nacional adecuado y las dificultades para lograr la competitividad en la exportación hacen a menudo que su producción no sea comercialmente viable.

La complejidad tecnológica de las máquinas herramientas puede medirse gracias al método ATC elaborado por la ONUDI. Este método no se refiere al producto mismo sino a los requisitos tecnológicos de su fabricación³. La puntuación se lleva a cabo identificando y evaluando todas las tecnologías que intervienen en la cadena completa de procesos de fabricación que desembocan en el producto terminado.

El índice general de complejidad tecnológica tiene en cuenta 103 subtecnologías o factores de producción. La puntuación abarca desde 16 para una cocina primitiva hasta 434 para un reactor nuclear y 563 para un avión birreactor. Según el estudio que recoge más de 1.100 bienes de capital, las máquinas herramientas no figuran entre los más complejos que se fabrican.

- El torno paralelo de precisión obtiene la puntuación más elevada en máquinas herramientas, si bien pertenece al mismo grupo de complejidad (puntuaciones desde 100 a 120,9) que motocicletas, televisores y relojes despertadores.
- La mayoría de las máquinas herramientas queda incluida en los 213 grupos de productos de la lista con puntuaciones desde 40 a 69,9. En esa lista figuran radios, teléfonos y bicicletas. Dentro de las máquinas herramientas, y en orden descendente de complejidad, figuran perforadoras para roca, prensas mecánicas, sierras circulares, perforadoras de aire comprimido, máquinas curvadoras de tubos y cañerías, martinets de aire comprimido, cosedoras de grapas, afiladoras y tornos paralelos de tipo corriente.

Mientras que la complejidad tecnológica no aparece como un obstáculo grave, las dificultades técnicas más importantes para la incorporación son:

- disponibilidad de personal cualificado. La industria de máquinas herramientas requiere ingenieros y trabajadores especializados que hayan adquirido alguna experiencia en

³ Véase ONUDI: Industry and Development Global Report 1989/90, Viena, págs. 122-131.

industrias metalúrgicas. No es fácil encontrar trabajadores tan cualificados, y raras veces les atrae una industria cíclica donde pueden producirse despidos durante las fases de recesión. La aparición de las máquinas herramientas de CNC y del diseño auxiliado por computadora (CAD) ayuda a reducir este problema de cualificación. De todos modos, unos sólidos conocimientos de la tecnología de cortar metales es requisito previo para obtener el máximo de productividad con la utilización de la tecnología de CNC.

- existencia de industrias de apoyo para fundidos, talla de engranajes, tratamiento por el calor de materias primas, componentes y servicios técnicos. El establecimiento de unidades integradas es una manera muy costosa de superar esa limitación.

1.1.2 Dificultades económicas

Lo pequeño y limitado de los mercados nacionales entorpece la industrialización en todos sus aspectos, pero el fabricante potencial de bienes de capital se ve más gravemente afectado porque se encuentra a doble distancia del consumidor final: "Siempre es más fácil hallar 100 consumidores dispuestos a comprar bicicletas que encontrar 10 fabricantes de bicicletas que busquen un fabricante de máquinas herramientas"⁴.

Las dimensiones del mercado de máquinas herramientas están en relación directa con el desarrollo de las industrias de maquinaria (véase figura 17, capítulo 2). En la mayoría de los países en desarrollo de ingreso mediano, las ventas anuales de máquinas herramientas se sitúan por debajo de los 100 millones de dólares de los EE.UU., mientras que en países de menor desarrollo se colocan a menudo por debajo del millón. Este mercado se halla además muy segmentado:

- entre las industrias usuarias: en los países en desarrollo en los que existe industria de vehículos de motor, éste es de ordinario el principal usuario potencial, si bien sus necesidades se orientan sobre todo a máquinas herramientas especiales, como líneas de transferencia. En otros lugares, los fabricantes de bicicletas y de equipo de transporte rural, junto con los talleres de mantenimiento, son los usuarios más importantes.

- exigencias de precisión: no todos los usuarios necesitan el mismo nivel de precisión para su equipo. En el caso del

⁴ ONUDI, Industry and Development Global Report, 1988/89.

Pakistán⁵, se ha calculado que el 43 por ciento del mercado es para máquinas con límites de tolerancia hasta 0,015 pulgadas (0,375 mm), el 30 por ciento para máquinas con tolerancia entre 0,005 (0,125 mm) y 0,015 pulgadas, el 23 por ciento para máquinas con tolerancia entre 0,001 pulgadas (0,025 mm) y 0,005 pulgadas y tan sólo el 9 por ciento para máquinas de mayor precisión.

El carácter cíclico del mercado es otro rasgo que explica la resistencia de los empresarios a incorporarse a la industria.

El obstáculo del tamaño del mercado limita las oportunidades de incorporación a países caracterizados por un valor añadido mínimo de sus industrias de maquinaria que puede estimarse⁶ aproximadamente en 100 millones de dólares de los EE.UU. (1986). Sin embargo, si se hace demasiado hincapié en las dificultades del mercado nacional, quizá no se consideren adecuadamente las oportunidades que ofrecen los mercados regional e internacional.

- mercado regional: la cooperación regional es una manera de superar el límite del tamaño del mercado: se estima que el mercado de los países árabes es de 150 millones de dólares de los EE.UU. y el de los países de la ASEAN de 350 millones (recuadro 18). El acuerdo entre la Argentina y el Brasil en el sector de bienes de capital ha proporcionado ya un entorno favorable para la cooperación Sur-Sur en la industria de máquinas herramientas y puede desembocar en proyectos comunes mixtos⁷, como en el caso del acuerdo entre Marruecos y Túnez⁸.

- la tendencia hacia las máquinas herramientas de CN en los países industrializados ofrece a los países en desarrollo oportunidades adicionales de exportación para determinados huecos del mercado (máquinas herramientas convencionales), abriendo así nuevas posibilidades para el comercio Sur-Sur y Sur-Norte.

⁵ Véase G. Kibria, recuadro 17.

⁶ Este límite debe entenderse sólo como aproximación, ya que se basa únicamente en datos estadísticos.

⁷ J.R. Tauile, F.S. Erber: Las máquinas-herramientas en América Latina, ONUDI, octubre de 1990.

⁸ A. Chelbi y A. Belhadj: L'industrie de la Machine outil en Algerie et en Tunisie, ONUDI, 1991. Existe un acuerdo tripartito entre los dos países y C-3M de Francia para la producción conjunta de máquinas herramientas para trabajar la madera y el metal.

Recuadro 18: De Sur-Sur a la demanda mundial

En el decenio de 1960, Taiwán, provincia de China, aprovechó la exportación para compensar la pequeñez de su mercado nacional. La mayoría de las exportaciones fueron a Asia Sudoriental. Al ampliarse el mercado aumentaron las oportunidades para conseguir nuevos capitales y lograr la normalización y una calidad alta. El paso de atender un mercado de ingresos bajos a otro de ingresos altos fue menos difícil de lo previsto y el dinamismo del comercio Sur-Sur proporcionó a los fabricantes de máquinas herramientas de Taiwán la experiencia técnica y el capital suficientes para satisfacer la demanda mundial: las exportaciones a los Estados Unidos comenzaron en 1974 y en 1986 representaban el 54 por ciento de las exportaciones de máquinas herramientas. Después del acuerdo voluntario de exportación impuesto en 1987, la participación de las exportaciones a los Estados Unidos se ha reducido (el 26 por ciento) pero se han encontrado nuevos mercados en Europa (el 24 por ciento); en 1988 las exportaciones a países en desarrollo representaron el 28 por ciento.

De A. Amsden: "The division of labour is limited by the rate of growth of the market: the Taiwan machine tool industry", Cambridge Journal of Economics, 1985, págs. 271-286.

Incluso cuando se pueden obviar los obstáculos provocados por el tamaño del mercado, no se debe olvidar que la incorporación sólo es factible para los países en donde existen industrias de maquinaria suficientemente desarrolladas, capaces de suministrar materias primas (como piezas fundidas) y ofrecer posibilidades de subcontratación.

Sin embargo, como se ha señalado antes⁹, un gran mercado nacional sólo ofrece eficiencia estática. En algunos países un mercado grande puede acarrear desventajas al minar el dinamismo de la industria. La calidad de la demanda interior de máquinas herramientas parece ser igualmente importante, ya que contribuye a crear eficiencia dinámica cuando los usuarios nacionales sofisticados presionan a los fabricantes para que mejoren sus líneas de productos.

⁹ Véase capítulo 1, párrafo 3.5.

1.1.3 Conjunto de productos e integración

Los países que se incorporan a la industria tienden a fabricar máquinas herramientas universales. Entre las máquinas más fabricadas figuran taladradoras y tornos. Tan sólo un número muy reducido de países en desarrollo fabrican máquinas herramientas especializadas y de control numérico.

En general¹⁰, el conjunto de productos tiende a ser menos especializado y esto hace más difícil la tarea de gestión de la producción. Además, en muchos casos, la falta inicial de industrias de apoyo (para piezas fundidas, forjados) ha justificado la instalación de fábricas integradas de máquinas herramientas y en muchos países en desarrollo el nivel de integración es muy superior al de los países industrializados. Esta elección, que estaba justificada en el momento de iniciación de la industria, ha llevado a costos elevados de algunos de los insumos debido al bajo nivel de utilización de las unidades de apoyo dentro de la empresa.

En la mayoría de los países en desarrollo las máquinas herramientas convencionales seguirán siendo las más solicitadas en un futuro previsible. En el caso de los países árabes se ha calculado que la demanda de máquinas herramientas de CN mantendrá, como promedio, una tasa de crecimiento del 10 por ciento anual entre 1990 y 2000, más de dos veces la tasa esperada (el 4 por ciento) para máquinas herramientas convencionales: sin embargo, para el año 2000, se ha estimado que las máquinas herramientas de CN representarán sólo el 7,5 por ciento de la capacidad instalada¹¹. En los países industrializados (donde todavía nueve de cada diez máquinas son convencionales), los fabricantes se están pasando a la producción de máquinas herramientas de CN. Por ello la incorporación a la producción de máquinas herramientas convencionales está justificada desde un punto de vista económico y es además el único camino tecnológico hacia la fabricación de equipo más avanzado.

Las decisiones relativas al conjunto de productos y al grado de integración debe hacerse teniendo en cuenta lo siguiente:

¹⁰ Véase M.M. Hug y C.C. Prendergast, Machine tool production in developing countries, Edinburgh Scottish Academic Press, 1983.

¹¹ Procedente de la Organización Árabe para el Desarrollo Industrial: The development of machine-tool industry in Arab countries, 1987, citado en: Le secteur de la machine outil en Algerie et Tunisie, por A. Chelbi, ONUDI, 1991.

- La autosuficiencia no es ni aconsejable ni posible. Los países deben centrarse en una determinada clase o tipo de máquina que asegure la utilización más elevada posible de las instalaciones, teniendo en cuenta las dimensiones de su mercado y posibilidades de exportación. De ordinario los países en desarrollo han empezado con máquinas sencillas como tornos universales, pequeñas taladradoras y rectificadoras, utilizadas en pequeños talleres generales y talleres de reparación nacionales, y cuya fabricación es relativamente fácil. En un estudio de la ONUDI de 1974 se clasificaba la capacidad de los fabricantes de acuerdo con cuatro niveles de desarrollo industrial: limitado, moderado, notable y alto. También se identificaban, para cada nivel, los diferentes tipos de máquinas que habían de producir los países en desarrollo que se incorporasen a la industria (cuadro 44).

- Con el fin de evitar las deficiencias de los servicios subcontratados, los países en desarrollo han optado a menudo por un nivel muy alto de integración que se ha traducido muchas veces en niveles muy bajos de utilización de instalaciones. La dificultad para alcanzar un equilibrio adecuado entre integración y subcontratación proviene del hecho de que lo que la industria de máquinas herramientas pide en materia de fundición, forjados, talla de engranajes, etc. es muy poco comparado con demandas similares de otras actividades industriales como las de la industria de vehículos de motor: de manera que no es factible promover una industria de subcontratación orientada exclusivamente a las necesidades del sector de máquinas herramientas.

- En esta industria, que no se puede considerar de gran intensidad de capital, el nivel de integración es una de las razones de las grandes diferencias entre países en cuanto a la intensidad en el uso de capital. En el Pakistán, sobre la base de los datos de 188 fábricas, la inversión por trabajador se estimó en 1.500 dólares de los EE.UU., mientras que era de 13.000 en las dos empresas estatales integradas¹². En la República de Corea, donde la industria es más sofisticada y está más concentrada, el activo fijo por trabajador ascendía a 47.000 dólares de los EE.UU. en 1986, en comparación con un promedio de 38.000 (1986) para la industria manufacturera¹³. En la India, la inversión de capital en la Hindustan Machine Tool Plant se ha calculado en

¹² En A study of the machine-tool industry, 1988.

¹³ ONUDI: Industry and Development Global Report 1989/90, Viena, pág. 104.

Cuadro 44: Capacidad del fabricante de máquinas herramientas y gama de la producción

limitada	moderada	notable	alta
Taladradora de banco	Tornos mecánicos	Tornos revólver	Rectificadoras de engranajes
Rectificadora de banco	Fresadora sencilla	Tornos automáticos	Máquinas para aplicaciones especiales
Máquinas conformadoras de chapa	Taladradoras de banco y columna	Tornos copiadores del tipo de varal y plato	Máquinas de transferencia
	Rectificadoras de superficie	Rectificadoras de precisión	Taladradoras de CN
	Taladradoras de herramientas y de cabezales cortadores	Mandrinadoras horizontales	Mandrinadoras de CN
	Prensas de embutir	Máquinas de apuntar	Fresadoras electroquímicas
	Prensas y plegadoras mecánicas pequeñas	Talla de engranajes	
		Brochadoras	
		Taladradoras radiales	
		Máquinas atornilladoras	
		Prensas hidráulicas y mecánicas	

Fuente: Naciones Unidas, The Machine-tool Industry, 1974 pág. 21.

350 millones de dólares (27.000 trabajadores)¹⁴, mientras que en Argelia, la inversión fija en PMO, una fábrica muy integrada con 500 trabajadores, fue de 600 millones (1976)¹⁵.

Puede que la integración dentro de la empresa sea una buena alternativa a la integración en fábrica. Se considera que el mercado de máquinas herramientas es un negocio donde los empresarios no ganan dinero todos los años y para reducir esa dificultad, la producción de máquinas herramientas se ha iniciado con frecuencia como diversificación de otra actividad metalúrgica como la maquinaria agrícola.

1.1.4 Adquisición de tecnología

Si se vuelve la vista hacia la historia de la industria de máquinas herramientas, el canal principal de transferencia de tecnología ha sido la "ingeniería a la inversa", que es el término respetable para copiar, mientras que la transferencia de tecnología mediante licencias ha desempeñado un papel mucho menos importante.

La ingeniería a la inversa tiene los siguientes méritos: bajo costo, nueva elaboración de producto sin dependencia tecnológica, capacidad nacional acumulada y la posibilidad de crear la tecnología adecuada. La industria estadounidense de máquinas herramientas adquirió su tecnología en el siglo XIX copiando; en el Japón, después de la revolución Meiji, las tres fuentes de producción eran el arsenal, los talleres de reparaciones y los artesanos que copiaban máquinas importadas tardando varios meses en reproducirlas¹⁶. Este canal oficioso se ha usado mucho en otros países de Asia Sudoriental (recuadro 19).

En un estudio¹⁷ acerca de nueve fabricantes de máquinas herramientas de Taiwán, provincia de China, se ha puesto de manifiesto que casi todas las empresas de máquinas herramientas, grandes o pequeñas, adquirieron su experiencia tecnológica inicial copiando o mediante ingeniería a la inversa. Los productos de empresas competidoras (fabricante nacional o extranjero)

¹⁴ Hyung Sup Choi: Hybrid of man and technology, Asian Productivity Organization, Tokyo, 1989, pág. 147.

¹⁵ A. Chelbi y A. Belhadj: L'industrie de la machine outil en Algerie et en Tunisie, ONUDI, 1991.

¹⁶ Toshiaki Chokki: A History of the Machine-tool industry in Japan, citado en Fransman.

¹⁷ Véase A.H. Amsden, 1985.

Recuadro 19: Ejemplo de ingeniería a la inversa

La empresa A empezó a construir un torno del tipo accionado por correa después de buscar un ingeniero con experiencia que imitase el torno de fabricación japonesa disponible nacionalmente. El torno se copió con éxito mediante ingeniería a la inversa sin planos. El ingeniero desempeñó una función clave en la correcta duplicación del torno accionado por correa. El intercambio de personal técnico dio como resultado la transferencia de tecnología humana. Aunque el torno fabricado por la empresa A no era muy preciso, mantuvo su posición destacada hasta mediados del decenio de 1970.

La empresa A empezó a utilizar planos para el desarrollo del proceso de producción en 1964, cuando construyó un torno del tipo accionado por engranajes mediante planos adquiridos oficiosamente, así como a partir de un modelo japonés. Más adelante la empresa A utilizó planos para la construcción del torno de CN; en esta tarea alcanzó el éxito al cabo de un año mediante la investigación encargada a un instituto nacional de tecnología.

Pauta del desarrollo tecnológico de la empresa A

	Producto	Año de fabricación	Periodo de elaboración (meses)	Método utilizado
	copia sin plano torno tipo correa	1960	3	Localizar ingeniero nacional y copiar torno bien conocido
	imitación con plano torno tipo engranaje	1964	12	Conseguir plano e imitarlo
	torno con motor	1967	6	Comprar torno e imitarlo
	alta velocidad	1976	6	Copia
	fresadora tipo engranaje	1976	6	Imitar máquina japonesa

Creación de nuevo producto	torno de CN*	1977	20	Elaboración conjunta con instituto nacional
	rectificadora	1980	6	Contrato para introducir plano
	fresadora CN	1983	12	Elaboración nacional
	Centro de Maquinado	1983	12	Elaboración a partir diseño básico

* Piezas electrónicas importadas del Japón

Fuente: Zong-Tae Bae y Jinjo-Lee: "Technology development pattern of small and medium sized companies in the Korean Machinery industry", en Technovation, 4 (1986), págs. 279-296.

proporcionaban un importante insumo de diseño y parecen ser las fuentes más importantes de mejoras. Las empresas nacionales aplicaron la interacción "aprender usando" entre fabricante y usuario. Copiar tiene sus limitaciones. Sin acceso a los planos es más difícil introducir modificaciones de diseño tanto en la máquina herramienta (mediante la reducción del número de engranajes en un diseño) o en su utilización (simplificando la preparación). De todos modos, las pruebas procedentes de Taiwán, provincia de China, ponen de manifiesto que las mejores empresas no se han limitado a copiar modelos extranjeros, sino que los han modificado y mejorado a lo largo de los años. Entre las mejoras del producto figuran mejor control, relés magnéticos y modificaciones en el sistema de enfriado por aire; y también han servido para aumentar la productividad en el taller.

La manera habitual de incorporarse a la industria de máquinas herramientas es progresar a la inversa pasando de las ventas al mantenimiento y después a la licencia para montar conjuntos de piezas, hasta llegar por fin a la fabricación completa¹⁸.

Existen varias formas de acuerdos de licencia:

- licencia para el montaje de juegos de piezas de modelos existentes y con frecuencia anticuados. En este caso la transferencia de tecnología es muy limitada;

¹⁸ Technological requirements for the machine-tool industry in developing countries, UNIDO IS.462, junio de 1986.

- licencia para la fabricación y montaje, en el país del concesionario o para ventas en mercados de exportación, de máquinas herramientas de diseños ya existentes;
- acuerdo de empresa mixta con plena transferencia de tecnología y contenido de elaboración del diseño.

Para la instalación de fábricas de máquinas herramientas convencionales existe un amplio repertorio de posibles proveedores de tecnología, y varios países en desarrollo han practicado la explotación mutua de derechos de patente. También existen oportunidades de cooperación Sur-Sur¹⁹, al mismo tiempo que la tendencia a la internacionalización de los fabricantes de máquinas herramientas ofrece posibilidades adicionales.

1.1.5 Política industrial

Tal como se analizó en el capítulo I, la política gubernamental es importante para dar forma a los cuatro determinantes de las ventajas competitivas de una industria nacional. La política industrial ha desempeñado un papel destacado en el desarrollo de la industria de máquinas herramientas de varios países industrializados: incentivos fiscales, protección nacional frente a importaciones y política de adquisiciones figuran entre las principales medidas políticas.

Como cualquier otra industria incipiente, la industria de máquinas herramientas recién establecida es vulnerable y requiere alguna forma de protección durante el período de aprendizaje. Un ejemplo de lo contrario lo proporciona México, donde la escasa protección concedida a la industria de bienes de capital ha inhibido la producción nacional de máquinas herramientas. Es importante que la industria llegue a ser económicamente viable lo antes posible, porque la protección prolongada, que puede producir ineficacia en el seno de la industria, será perjudicial para el buen desarrollo del conjunto de industrias nacionales de maquinaria. Tal como se aprecia en el caso de la República de Corea (recuadro 20), es posible proteger a la industria de máquinas herramientas de la competencia extranjera sin que por ello deje de ser competitiva en los mercados internacionales.

Las necesidades de adquisición del Estado se refieren básicamente a la demanda de las empresas estatales y a la demanda de los institutos educacionales.

¹⁹ Oportunidades que se presentaron a la atención del Grupo de trabajo de la ONUDI sobre cooperación entre determinados países en desarrollo para la producción y aplicación de máquinas herramientas, Shanghai, mayo de 1989.

El gobierno puede además desempeñar una función como mediador entre los intereses a menudo conflictivos de los usuarios, que buscan el mejor equipo disponible, y los de los fabricantes, que se esfuerzan por mejorar su producción. Al hacerlo, el Gobierno debe asegurar una estrecha colaboración tecnológica entre usuarios y fabricantes en el desarrollo del producto con el fin de lograr que los fabricantes de máquinas herramientas satisfagan los requisitos tecnológicos de los usuarios. El establecimiento de institutos de investigación y desarrollo con fondos estatales para ayudar a fabricantes y usuarios ha sido un incentivo importante para el desarrollo de la industria de máquinas herramientas en varios países.

Recuadro 20: Protección y competitividad

En la República de Corea el Gobierno introdujo varios planes específicamente relacionados con las máquinas herramientas. Se utilizaron dos instrumentos principales:

- Prohibición total de importaciones cuando se dispusiera de herramientas similares de producción nacional. La Asociación coreana de fabricantes de máquinas herramientas tenía poder para decidir si se disponía de mercancías nacionales similares y si se debían limitar las importaciones, disposición que provocó críticas en el interior del país.
- Concesión de créditos subvencionados a las empresas productoras de máquinas herramientas.

Un rasgo importante de estos instrumentos fue que los beneficios que proporcionaban se hicieron depender del rendimiento en la exportación. Ello obligó a las empresas a enfrentarse con el problema de la competitividad internacional al mismo tiempo que disfrutaban de créditos subvencionados y de condiciones de protección en el mercado nacional.

De Fransman: Machinery and economic development y P. Judet: L'industrie de la machine outil en Corée, ONUDI, 1990.

Cuadro 45: Producción de máquinas herramientas de control numérico en países recientemente industrializados

	1985		1987		1988		1989		Participación MHCN en valor producción MH
	mill. dól. EE.UU.	uni- dades	mill. dól. EE.UU.	uni- dades	mill. dól. EE.UU.	uni- dades	mill. dól. EE.UU.	uni- dades	
Argentina	1,20	16	10	100	12	96			20%
Brasil		413	223	1018	226	742	1052		43%
India		93		330	71	312			26%
China						1000*			
Rep. de Corea	38		134	2039	155	2119	250		27%
Taiwán (China)	42	1118	114		166	3600	4900		24%

Fuentes: CECIMO

Brasil, Boletim Sobracon, 1989

Electronics Korea, febrero de 1990

* Producción de la parte mecánica de las máquinas herramientas de CNC

1.2 Incorporación a la producción de máquinas herramientas de control numérico

Algunos países en desarrollo se han incorporado a la producción de máquinas herramientas de CN (MHCN) y su experiencia indica que la tecnología electrónica, per se, no es el principal obstáculo.

1.2.1 Evolución en los países recientemente industrializados

En el cuadro 45 se recogen las estadísticas disponibles sobre la producción de MHCN en algunos países de reciente industrialización. La participación de las MHCN en el valor total de producción de máquinas herramientas en esos países queda por detrás del de la mayoría de países industrializados (entre el 60 y el 70 por ciento). El paso a la fabricación de máquinas herramientas de CN, sin embargo, se está llevando a cabo rápidamente en esos países, donde corresponde a las MHCN, como promedio, el 25 por ciento de la producción en valor (el 30 por ciento en el caso de las máquinas herramientas de cortar metales). El volumen de producción de MHCN es comparable, en unidades, al de

algunos países europeos²⁰, pero queda muy por detrás de la del Japón (que fabricó 48.000 en 1988). La proporción de las MHCN en la producción está a veces muy influida por el elevado precio de estas máquinas; así sucede de manera especial en el Brasil, donde a las MHCN correspondió tan sólo el 3 por ciento de la producción en volumen (frente al 30 por ciento de los países industrializados).

La producción de MHCN se ha centrado en tornos y centros de maquinado, que representan el 74 y el 78 por ciento, respectivamente, del número total de máquinas herramientas de CN fabricadas en el Brasil y en la Argentina. En Taiwán, provincia de China, existe una tendencia a la diversificación mediante taladradoras y mandrinadoras de CN, EDM y células de fabricación flexible (FMC)²¹.

1.2.2 Dominio de la tecnología

La experiencia de los países recientemente industrializados sugiere que los fabricantes competentes de máquinas herramientas no han tropezado con demasiadas dificultades para asimilar la nueva tecnología de fabricación.

En un estudio sobre varios fabricantes de máquinas herramientas de Taiwán, provincia de China, se llegó a la conclusión²² de que "ninguna de las empresas de la muestra informó sobre graves dificultades para la introducción de los productos de CNC... y ninguna de ellas previó dificultades especiales para mejorar la calidad del producto a lo largo del tiempo y mantenerse así a la altura de los progresos japoneses". Sólo las empresas más potentes pudieron realizar el cambio al CNC de forma completamente interna, mientras que las demás recibieron asistencia técnica del proveedor de controles numéricos mediante computadora. En otro estudio hecho en la República de Corea (recuadro 21) se señaló que la dificultad principal en ese país está más ligada a las piezas mecánicas (servomotor, dispositivos de medición, herramientas

²⁰ Producción de CN en Francia: 2.900 unidades en 1987; 2.700 en el Reino Unido.

²¹ En 1984 una empresa de Taiwán exportó el primer FMS, American Machinist, febrero de 1984.

²² M. Fransman: "International competitiveness, technical change and the State: the machine-tool industry in Taiwan and Japan", en World Development, vol. 14, nº 12, págs. 1375-1396, 1986.

ortantes, husillo y componentes hidráulicos) que al sector de la electrónica y de los programas informáticos.

Estos ejemplos subrayan la consideración obvia, pero con frecuencia ignorada, de que: "las aspiraciones a la exportación de los países en desarrollo en los sectores de maquinaria se ven obstaculizados en el aspecto técnico no por su falta de información sobre conocimientos prácticos de tecnología sino en razón de la insuficiencia generalizada de su capacidad básica en materia de tecnología mecánica y diseño y construcción de máquinas"²³. Si esos países superan estos obstáculos hasta el punto de que la exportación de máquinas convencionales se convierte en una propuesta viable, la experiencia sugiere que el paso a la era de la microelectrónica no será un problema tan insoluble para muchos países en desarrollo dispuestos a invertir en integración de sistemas y en el desarrollo de conocimientos prácticos de programación.

1.2.3 Integración nacional

El elevado contenido de elementos comprados hace que la fabricación de MHCN difiera de la fabricación de máquinas convencionales (cuadro 46). Mientras el costo de los materiales supone el 40 por ciento del costo total de un torno de motor, a los materiales comprados corresponde el 75% del costo de fabricación de un torno de CNC. Existe también una diferencia en el tipo de material comprado: las materias primas (piezas fundidas) representa el 25% en la fabricación convencional, pero sólo el 12% en el CNC. La participación del sistema de control puede representar entre el 25 y el 40 por ciento del costo total de una máquina de CNC.

La integración a nivel nacional de las piezas centrales de las máquinas de CN es una tarea difícil. El estancamiento de la tasa de localización de máquinas herramientas de CN en la República de Corea desde 1985 ilustra esos problemas (cuadro 47).

La producción nacional de unidades de control numérico ha empezado en el Brasil y en la República de Corea, donde los mercados interiores son, respectivamente, de 20 y 55 millones de dólares de los EE.UU.²⁴. En el Brasil la producción está segmentada entre tres proveedores para sus propias necesidades

²³ K. Hoffman: "Technological advance and organizational innovation in the engineering industry", Industry and Energy Department working paper, Industry series paper nº 4, Banco Mundial, marzo de 1989.

²⁴ Electronics Korea, septiembre de 1989.

Recuadro 21: Identificación de los principales obstáculos técnicos encontrados por los fabricantes de MHCN

	Retraso frente a países industrializados (en años)	Adquisición tecnología
Equipo físico		
<u>equipo electrónico</u>		
Unidad central de procesamiento	3 a 5	elaboración nacional
Monitor y teclado	3 a 5	importada
Controlador programable	1 a 3	nacional
<u>eléctrico y mecánico</u>		
Transformador	5 a 10	e. nacional
Servomotor	más de 10	importada
Dispositivo medición	más de 10	importada
Programas informáticos		
<u>para herramientas</u>		
Motor	1 a 3	e. nacional
Controlador de ejes múltiples	1 a 3	e. nacional
<u>para elementos periféricos</u>		
Control de secuencias	1 a 3	e. nacional
Interacción	3 a 5	e. nacional
Gráficos específicos	1 a 3	e. nacional
Control numérico	3 a 5	e. nacional
Concepción técnica		
<u>principales tipos de máquinas</u>		
Centros de maquinado	1 a 3	e. nacional
Tornos	1 a 3	e. nacional
Taladradoras	3 a 5	e. nacional
EDM	5 a 10	importada
<u>componentes mecánicos</u>		
Herramientas cortantes	más de 10	e. nacional
Husillo	más de 10	importada
Sistema transferencia	3 a 5	e. nacional
Componentes hidráulicos	más de 10	importada
Tecnología de fabricación y montaje		
<u>operaciones principales</u>		
Fundido de troqueles	5 a 10	importada
Tratamiento térmico	5 a 10	importada
Acabado	1 a 3	e. nacional

Control de calidad automatización	1 a 3	e. nacional
Concepción y diseño	5 a 10	importada
Producción	1 a 3	e. nacional

Fuente: Instituto coreano de economía y tecnología, 1988, citado en Judet P.: L'industrie de la Machine Outil en Corée, ONUDI, 1990.

Cuadro 46: Características básicas de fabricación de las máquinas herramientas convencionales y de CNC

Rasgo	Máquina herramienta convencional	Máquina herramienta de CNC
Materiales y mano de obra	Predominantemente intensivos - estructuras de hierro fundido - dependencia de transmisión por engranajes - motores de arrastre de velocidad constante	Contenido especializado supone 50% de costo de mano de obra y comprende electricidad, arrastre, computadora, que se compran de ordinario a varios proveedores
Estructura	Comprende 80% costo mano de obra	Arrastre por corriente continua o alterna. Caja de cambios inexistente o casi. La estructura supone el 50% del costo de mano de obra
Contenido fabricado	Grande. Todas las piezas de fabricación interna incluidas fundiciones y todo el maquinado incluidos muchos engranajes	Pequeño. Todos los componentes pueden ser subcontratados excepto el maquinado final
Estructura de gestión	Clásica. Orientada a las personas. Director taller totalmente responsable producción	Orientada a estructuras y equipo gestión de proyectos: encargado compras electricidad tiene similar responsabilidad producción que director taller

Fuente: Technological requirements for the machine-tool industry in developing countries, UNIDO IS/642, 1986.

Cuadro 47: Tasa de fabricación nacional en la República de Corea

en porcentajes

	1980	1985	1989
Torno convencional	85	95	95
Taladradora	80	88	
Rectificadora	70	90	
Máquinas herramientas de CN			
Tornos de CN	20	44	47
Centros de maquinado		52	52,50
EDM			10,80

Fuente: Instituto coreano de economía y tecnología

Cuadro 48: Comparación de precios de máquinas herramientas

	Japón (1)	Rep. de Corea (1)	Taiwán, China (1)	India	Brasil (3)	México (4)
Torno convencional	7,50	5,80	5,10			
Torno de CN	69	53	46			10 a 30
Centro de maquinado (1250x400 mm)	74	59	52			12 a 50
Precio nacional medio de MHCN (2):	102	79	47	164	300	

Fuentes: (1) Asociación coreana de fabricantes de máquinas herramientas en mayo de 1989
 (2) CECIMO
 (3) Boletim Sobraçon, 1989
 (4) Gama de precios de importación en 1990

Cuadro 49: Insumos para el sector de máquinas herramientas del Brasil
(proporción entre precios nacionales e internacionales)

Acero y chapas	0,94
Piezas fundidas ferrosas	1,32
Materiales no ferrosos	0,30
Motores eléctricos	0,52
Componentes eléctricos	1,71
Componentes electrónicos	2,77
Componentes hidráulicos	1,81
Cojinetes	2,95
Piezas forjadas	1,22

Recuadro 22: Elección de una ruta de transferencia para elaborar tecnología de CNC

Son tres las rutas posibles que se pueden seguir para la transferencia, elaboración, o ambas cosas, de las tecnologías de CNC:

- i) adquisición de todo el conjunto por medio de una operación "llave en mano" a un propietario proveedor internacionalmente reconocido
- ii) reducir el conjunto tecnológico a sus elementos componentes y elaborarlo todo nacionalmente desde cero
- iii) recurrir a una mezcla de i) y ii), es decir, al mismo tiempo que se subcontratan algunas piezas del conjunto tecnológico a empresas extranjeras con experiencia en los respectivos sectores, elaborar las restantes nacionalmente.

La selección de la ruta adecuada está en función, entre otras cosas, de: disponibilidad de la tecnología, costos que lleva consigo, tiempo necesario para asimilarla, requisitos de fuerza de trabajo, riesgos para alcanzar los objetivos propuestos y profundidad de asimilación.

Si bien los sistemas de CNC basados en microprocesadores de punta se dirigen a los 32 bitios de complejidad, está disponible la tecnología para los sistemas de CNC de 16 bitios: todavía los fabrican y comercializan todas las grandes empresas. La operación "llave en mano" es el método más rápido de transferencia tecnológica, y la elaboración nacional, que requiere un gran número de conocimientos técnicos, es el más lento. Sin embargo, cuando se comparan estas dos rutas desde el punto de vista de la profundidad en la asimilación de la tecnología, resulta preferible la elaboración nacional.

Ruta transferencia tecnología

Parámetros	Llave en mano	Nacional	Mezcla
Dificultad obtención tecnología	*	****	***
Costos	****	*	**
Necesidad fuerza de trabajo	*	****	***
Posibilidad de <u>no</u> alcanzar metas propuestas	*	***	**
Tiempo para asimilar tecnología	**	****	***
Posibilidad de <u>no</u> asimilar tecnología	****	*	**

- **** muy grande
- *** grande
- ** media(o)
- * poca(o)

Adaptado de CNC system development, proyecto de documento DP/CPR/89/017/A/01/37.

(fabricantes de máquinas herramientas) y cuatro "proveedores comerciales" que abastecen a diferentes mercados (80 por ciento del mercado). La competencia es mínima, aunque frente a este monopolio ha surgido la oposición de una empresa electrónica que ha elaborado un modelo sencillo de CN. En el recuadro 22 se analizan posibles rutas tecnológicas desde la fabricación de máquinas herramientas convencionales hasta la incorporación a la producción de máquinas herramientas de CN en las que se hace hincapié en los programas informáticos.

1.2.4 Competitividad en precios

El éxito de las exportaciones de máquinas herramientas de CN independientes de bajo costo, y de centros de maquinado, por parte de fabricantes de Asia Oriental²⁵ es la primera prueba de la competitividad de las industrias de máquinas herramientas de esos países. La comparación entre los precios de las máquinas herramientas de CN de Asia Oriental y de América Latina pone de manifiesto elevadas diferencias. Si bien la comparación de precios por unidades para máquinas similares (y promedio de precios) entre el Japón, Corea y Taiwán, provincia de China, muestra diferencias pequeñas, en el cuadro 48 se recogen las grandes diferencias de precio entre Asia Oriental, la India y el Brasil, donde el promedio de precio nacional de una máquina herramienta de CN es cinco veces superior al promedio del precio coreano. Los centros de maquinado sudcoreanos se sitúan también entre la mitad y la tercera parte de los precios argentinos²⁶.

El elevado precio de estas máquinas está retrasando la modernización de la industria de América Latina. Durante un período de inestabilidad económica las autoridades no son

²⁵ Sirva de ejemplo el acuerdo voluntario de limitación de las exportaciones impuesto a Taiwán, provincia de China.

²⁶ Chudnowski y Groisman, 1987.

partidarias de correr riesgos, y esto incluye la inversión en modernización. La mayoría de las empresas brasileñas de componentes de automóvil establecen un período de amortización de dos años para sus adquisiciones de equipo nuevo²⁷ y esto hace imposible la adquisición de máquinas de CN.

Una parte importante del elevado costo de las MHCN brasileñas puede atribuirse al costo de los insumos de los proveedores nacionales al compararlos con los precios de importación (cuadro 49); la política brasileña de restricción del mercado²⁸ ha contribuido a los precios más elevados en materia de equipo electrónico. Otra explicación es el bajo nivel de producción. Si bien la producción de tornos convencionales no requería gran precisión técnica en la esfera del diseño ni la existencia de economías de escala, con los tornos de CNC sucede precisamente lo contrario²⁹. La especialización no sólo es necesaria para dominar una técnica compleja y que evoluciona rápidamente, sino también para cosechar los beneficios de las economías dinámicas de escala bajo la forma de aprendizaje, y de las estáticas para la adquisición de componentes (debido a la elevada influencia sobre el precio de los componentes adquiridos) y en lo referente a la comercialización. En el Brasil, las entrevistas con fabricantes nacionales han confirmado esta situación³⁰.

Esto sugiere que la incorporación a la producción de máquinas herramientas de CN debe hacerse de manera muy selectiva, con aumento de la especialización y no de la diversificación. De ello se sigue que también la protección debe concebirse de manera muy selectiva, orientada a segmentos concretos de la industria e incluso a empresas concretas.

²⁷ R.R. Lima: "Implementing the Just-in-Time production system in the Brazilian car component industry", *IDS Bulletin*, 1989, vol. 20, nº 4, págs. 14-18.

²⁸ Como resultado de esa política los precios de equipo fabricado en Brasil son de tres a cinco veces superiores a los del mercado internacional y, al cabo de cuatro años de protección del mercado, esta diferencia parece ir en aumento en lugar de disminuir.

²⁹ S. Jacobson: "Intraindustry specialization and development models for the capital goods sector", *Weltwirtschaftliches Archiv*, vol. CXXIV, 1987.

³⁰ En F.S. Erber, ONUDI, 1989.

2 Consecuencia de los cambios tecnológicos para las industrias de maquinaria de países en desarrollo

Abundan las pruebas de que las reglas de competencia están cambiando rápidamente en el mercado manufacturero mundial, y esta evolución tendrá consecuencias importantes para los países en desarrollo. Las características de los productos y la innovación del producto se han convertido en determinantes básicos de la competitividad. Esto es particularmente cierto en las industrias de maquinaria donde los ciclos de vida más breves y la mayor flexibilidad en respuesta a las necesidades del cliente desempeña un papel más destacado. La práctica de la fabricación flexible se está convirtiendo en el mejor sistema de producción en las industrias de fabricación en serie como la del automóvil o en actividades de artesanía como las máquinas herramientas. Las MHCN en el taller y los puestos de trabajo de diseño auxiliado por computadora (CAD) en el departamento de diseño, son ejemplos de tecnologías individuales de automatización sobre base independiente que se están integrando lentamente en islas de automatización y sistemas de fabricación flexible. Existe una tendencia muy fuerte hacia la mayor diversificación del producto y mayor competencia de diseño, distribución y servicio, además de en la producción propiamente tal.

¿Cuáles serán las consecuencias para los países en desarrollo? En varios análisis se ha afirmado que las tecnologías de automatización flexible reforzarán las ventajas comparativas de los países industrializados. Desde ese punto de vista, la aplicación de computadoras a la producción puede servir para devolver la fabricación al Norte. Se ha afirmado³¹ que: "Las industrias en las que los Estados Unidos pueden retener un margen de competitividad no estarán basadas ni en grandes volúmenes ni en normalización, sino en la producción de partidas relativamente pequeñas de productos más especializados y de mayor valor. Esos productos se encontrarán en segmentos de valor elevado de industrias más tradicionales (en particular acero y productos químicos, máquinas herramientas controladas por computadora, componentes avanzados de automóvil), así como en nuevas industrias de alta tecnología (semiconductores, óptica de fibras fotoconductoras, láseres, biotecnología y robótica)".

Si bien la mayoría de los observadores están de acuerdo en que la estrategia que se ha de adoptar en el mercado internacional no puede basarse ya en salarios bajos y alto contenido de trabajo, existen opiniones discrepantes sobre las consecuencias de esos cambios. ¿Ofrecerán nuevas oportunidades de producción para los

³¹ R. Reich: The next American Frontier, New York Times Books, 1983, pág. 130.

países cuyos mercados interiores son demasiado pequeños? ¿Retrasarán la marcha hacia la internacionalización de la producción?

2.1 Valoración general

Existe la creencia generalizada de que la actual revolución tecnológica colocará a la mayoría de los países en desarrollo en una situación hasta cierto punto peor que la anterior: la automatización flexible permitirá a los países industrializados aumentar su competitividad en la manufacturación.

2.1.1 Peligros

Mientras que los países en desarrollo en conjunto lograron seguir atrayendo inversiones internacionales directas durante el período 1975-1979, desde el comienzo del decenio de 1980 la corriente de recursos privados hacia esos países se ha reducido bruscamente pese a que habían adoptado una actitud más favorable ante la inversión extranjera. Se ha producido un descenso de la inversión extranjera en América Latina y una retirada de inversiones en el caso de África, mientras que en Asia Sudoriental la inversión ha crecido con fuerza desde 1986.

El cambio tecnológico es un factor, entre muchos³², que explica esta evolución reciente. En el futuro, a medida que se reduzca el componente directo de manufactura en el costo total, las grandes empresas tenderán cada vez menos a fragmentar su funcionamiento, con las consiguientes penalizaciones que provocan una logística más complicada, controles de inventarios, etc. La lógica de la situación parecería indicar una tendencia futura hacia la co-ubicación de la producción en los mercados más importantes. La automatización flexible parece reducir los beneficios de instalaciones para producción de escala extraordinariamente grande, y esto, a su vez, sugiere un sistema de producción descentralizada más dispersa con muchas más fábricas

³² En el caso de América Latina, el descenso de la inversión internacional directa es atribuible a la fuerte deuda exterior, que ha tenido graves consecuencias para la situación económica de conjunto. En el caso de África hay que achacarlo al volumen reducido de los mercados nacionales, la escasez de personal adiestrado, la falta de infraestructuras la escasa demanda de productos comerciales y el creciente endeudamiento. Véase OCDE: Recent trends in international direct investment. Second round table on foreign direct investment, Tokyo, 1989.

pequeñas ubicadas cerca de mercados, en países industrializados o en países en desarrollo³³.

La ventaja competitiva de los países de salarios bajos puede también disminuir hasta el punto de que por depender más de la fuerza de trabajo que los países industrializados quizá se descubra la incapacidad de esas economías para fabricar mercancías con las necesarias normas internacionales de calidad.

En el capítulo II se mostró que la difusión de las técnicas de automatización flexible en los países industrializados tiene importantes consecuencias sobre subsectores de maquinaria como máquinas herramientas (Japón, Francia), motores y turbinas (Japón), maquinaria industrial especial (Japón, Francia), instrumentos y material de guerra (Reino Unido). En los países en desarrollo³⁴, estos grupos de productos se fabrican sobre todo de acuerdo con planes para sustituir las importaciones, y su rendimiento para la exportación ha sido relativamente malo debido a su complejidad técnica³⁵. En el futuro, por consiguiente, esos países pueden tropezarse con nuevos obstáculos.

Las consecuencias son menos importantes para industrias como las de herramientas manuales, productos estructurales metálicos y piezas de vehículos de motor: esos grupos de productos forman una gran parte del valor de la producción industrial de los países en desarrollo. Se trata en conjunto de mercancías tecnológicamente sencillas, y algunos países en desarrollo han obtenido un buen rendimiento con la exportación. En esas industrias, por consiguiente, no constituye una amenaza importante la desigual difusión mundial de las técnicas de automatización flexible.

Al valorar las consecuencias negativas de la automatización flexible sobre la competitividad se debe subrayar que la reducción de costos afectará sobre todo a los de maquinado, que, en la mayoría de los casos, representan el 15 por ciento de los gastos industriales. Las consecuencias, para el ahorro de costos, de la adopción de nuevos planes organizativos por parte de las empresas de países industrializados puede ser mucho más importante.

³³ R.U. Ayres: "Future Trends in Factory Automation", en Manufacturing Review, vol. 1, nº 2, junio de 1988.

³⁴ Cuestión analizada en el caso de la República de Corea.

³⁵ Sin embargo, tal como mencionan Edquist y Jacobson, existe la posibilidad de que las técnicas de automatización flexible ya hayan tenido consecuencias sobre la competitividad internacional de los países industrializados a expensas de los países en desarrollo.

2.1.2 Oportunidades³⁶

Las consecuencias de las técnicas de automatización flexible parecen distintas según cuál sea la alternativa a la automatización flexible. Si la alternativa son máquinas independientes de funcionamiento manual, como los tornos de motor, las consecuencias para los países en desarrollo parecen ser negativas. Sin embargo, si la alternativa tradicional a la automatización flexible es la automatización fija en la forma de líneas de transferencia, el cuadro se modifica de manera notable. Las líneas de transferencia se utilizan normalmente para la fabricación de grandes series de productos homogéneos y se emplean con frecuencia en la industria del automóvil. La inversión fija es elevada y se necesita producción en gran escala para justificarla. En términos generales, las inversiones de este tipo están menos justificadas en los países en desarrollo que en los países desarrollados, habida cuenta de los mercados mucho más reducidos de los primeros.

La marcha hacia la automatización flexible observada en los países desarrollados abre alternativas muy interesantes para los países en desarrollo con un mercado nacional más pequeño. En el momento actual esos países tienen la oportunidad de empezar a fabricar productos, como motores diesel, con automatización flexible, y competir con productos importados mediante volúmenes de producción mucho menores de los que serían posibles si la técnica utilizada fuese la línea de transferencia.

2.2 El caso de los componentes de automóvil

La industria mundial del automóvil inicia un decenio de intensa competencia y rivalidad a escala mundial, y está en marcha una nueva fase de reestructuración centrada en Europa. Este reto mundial está llevando a la consolidación de un grupo exclusivo de, según se los denomina, proveedores de componentes de primera fila, que se están haciendo imprescindibles para que los fabricantes de vehículos se mantengan tecnológicamente a la cabeza. La marcha hacia la universalización no significa que los componentes vayan a proceder de todos los rincones del mundo³⁷: la marcha hacia la tecnología de Justo-a-tiempo sugiere que eso es poco probable; sucederá más bien que los fabricantes multinacionales de

³⁶ Este párrafo está sacado de Edquist y Jacobson. Flexible automation, 1986.

³⁷ Financial Times: "World automotive components survey; fewer and bigger groups", 16 de mayo de 1990.

componentes tendrán representación mundial en materia de instalaciones manufactureras.

A la industria del automóvil se la ha considerado tradicionalmente uno de los sectores industriales más estratégicos y favorecidos, elegido como meta de crecimiento en muchos países en desarrollo. Algunos de éstos (por ejemplo Indonesia) procuraron activamente la fabricación nacional de vehículos de motor como parte de una amplia política industrial para promover el crecimiento de las industrias del metal y de las máquinas herramientas. Esta política está basada en la premisa de que la producción nacional de numerosas piezas y componentes estimulará el desarrollo de esas industrias. Las tendencias de la producción mundial de componentes de automóvil tendrá consecuencias importantes para los países en desarrollo en los que las perspectivas de fabricar automóviles propios pueden parecer escasas. Con muchos componentes se comercia a escala mundial y ese sector ofrece oportunidades para un plan complementario Sur-Sur³⁸.

Para evaluar la evolución de la política de las empresas sobre adquisición y manufactura de componentes, un estudio reciente³⁹ distinguía entre cinco categorías de componentes sujetos a procesos de cambio tecnológico, con el fin de contribuir a determinar cuáles tienen más probabilidades de ser comprados y cuáles es más probable que se fabriquen en la empresa, dadas las políticas generales de cada montador sobre la mezcla adecuada de componentes comprados y fabricados que ha de adoptar. Esta clasificación proporciona algunas pistas sobre el papel que podrían desempeñar los países en desarrollo incorporados a la producción.

2.2.1 Tecnología y tendencias en el aprovisionamiento mundial

Componentes genéricos: Se trata de componentes comunes a muchas industrias, como, por ejemplo, tuercas, pernos, tornillos, pasadores, etc., y que se utilizan en gran número en vehículos, pero representan menos del cinco por ciento del costo total de componentes. En general este tipo de componentes tiende a ser de tamaño pequeño, de manera que la proporción entre costo de transporte y valor, en la producción y distribución, es baja. Además, debido a que su fabricación en serie permite la

³⁸ Véase ONUDI, Industry and Development Global Report 1989/1990, págs. 100-105.

³⁹ Esta parte está tomada de Hoffman y Kaplinsky: The driving force. The global restructuring of technology, labour and investment in the automobile and components industries, Westview Press, 1988.

utilización de maquinaria especializada, las economías de escala en fábrica son altas, la producción es especializada y a menudo está geográficamente concentrada, con un producto que se distribuye de manera muy amplia, a menudo mundial.

Sólo existen pruebas limitadas⁴⁰ de que esta categoría de componentes esté experimentando cambios importantes en tecnología del producto o del proceso (como la automatización flexible de la producción de tornillos), pero a medio plazo es probable que se vean grandemente alteradas por los cambios en la tecnología de los materiales utilizados para fabricar automóviles. Lo más importante es la tendencia al uso de plásticos (evidente por sí sola), cuya capacidad para ser moldeados en formas complejas significa que es posible sustituir productos únicos por grupos de componentes que en la actualidad se unen a menudo por medio de remaches industriales genéricos.

Partes voluminosas, no mecánicas. Entre éstas figuran silenciadores, cristales, piezas estampadas, asientos, depósitos de combustible y radiadores. Esas partes tienen un bajo contenido de tecnología de producto y de proceso. Por su naturaleza se adaptan a las características concretas del producto y, debido a que además la proporción entre costo de transporte y valor tiende a ser relativamente alta, es frecuente encontrar al fabricante de estas piezas cerca del mercado final.

Distintos componentes dentro de este grupo están siendo sometidos a importantes cambios tecnológicos que, en algunos casos, suceden debido a cambios en los procesos de producción, como, por ejemplo, los depósitos de combustible y los silenciadores, dado que la incorporación de controles electrónicos permite el rápido reajuste de la preparación de la máquina, lo que facilita la automatización flexible de la producción.

En otros casos se dan importantes cambios en diseño y en tecnología de materiales, como con la introducción de los depósitos de plástico y los radiadores de aluminio y cobre, o el perfeccionamiento de asientos moldeados.

Diferentes elementos de acabado y cableado. Estos componentes se caracterizan tradicionalmente por baja tecnología y bajos costos de transporte, y figuran entre ellos cableado preformado, tiradores de ventanillas, interruptores, acabado exterior, material para tapizado interior así como bujías, indicadores, y limpiaparabrisas. Dado que tanto su contenido tecnológico como sus costos de transporte por unidad tienden a ser bajos, la producción

⁴⁰ Véase la sección 2 del capítulo III, consecuencias de la difusión de las MHCN en el Japón.

de estos componentes se ha considerado históricamente como una forma adecuada de especialización internacional para economías de bajos salarios.

Es probable que el cambio tecnológico influya sobre esta categoría de componentes. En el caso del cableado preformado, la tendencia al control centralizado mediante computadora y al cableado multiplex en automóviles hará probablemente innecesaria la utilización de este producto que requiere gran intensidad de mano de obra. De manera semejante, la tendencia a los sistemas de control de ventanillas —con consolas centralizadas y ventanillas de funcionamiento eléctrico— evitará probablemente la necesidad de tiradores de forja. Los indicadores han quedado anticuados con la aparición de los controles electrónicos del motor y los interruptores se están haciendo mucho más complicados. Además, la introducción de sistemas de producción flexible electrónicamente controlados está proporcionando economías de escala a la fabricación de pequeñas partidas y haciéndola considerablemente más compleja y caracterizada por la intensidad en el capital. Es posible que a muchos de estos tipos de componentes les afecte de manera notable la introducción de sistemas electrónicamente controlados de tecnología de productos.

Componentes electromecánicos y de sistemas. En este apartado se incluyen artículos tales como carburadores, embragues, motores de arranque, sistemas de encendido, frenos, amortiguadores y mecanismos de dirección. Tradicionalmente, su relativa complejidad tecnológica y baja proporción entre costo de transporte y valor ha determinado que estos componentes se fabricaran en países industrialmente avanzados. Sin embargo, al aumentar la capacidad tecnológica de algunos países no industrializados, ha empezado también a trasladarse la producción a esas zonas.

Es aquí donde el cambio tecnológico puede tener consecuencias particularmente graves para la aportación industrial de los países en desarrollo, dados los tres factores relacionados que están modificando rápidamente la organización de la producción.

- En primer lugar, la introducción de los sistemas de fabricación flexible, junto con las mejoras en la automatización del montaje, están transformando una industria con acento en la mano de obra en otra con acento en el capital.

- El segundo tipo de cambio tecnológico con consecuencias para este tipo de componente es la modularización de la producción mediante el perfeccionamiento de subsistemas, generalmente controlados electrónicamente. De esa manera, al facilitar la mecanización, al exigir un montaje sistémico y debido a su mayor complejidad tecnológica, es probable que la amplitud de la aportación

industrial de los países en desarrollo quede notablemente reducida por los avances tecnológicos.

- En tercer lugar, la relación entre proveedores de componentes y montadores se modificará y se hará más estrecha, especialmente en la etapa de diseño. En la medida en que esto suceda, es probable que la importancia de ese fenómeno sea mayor en elementos como éstos, de mayor complejidad tecnológica.

2.2.2 La automatización y la difusión de la producción en el extranjero

La fabricación de automóviles quizá requiera una considerable cantidad de trabajadores no especializados y semiespecializados, pero también requiere una importante aplicación de tecnología, planificación de la producción y coordinación que no se encuentra con demasiada frecuencia en los países en desarrollo y que no es fácil de transplantar. Por sí solos los bajos salarios no tienen atractivo suficiente para trasladar al extranjero una industria sofisticada. Son esenciales tanto los costos bajos por unidad— combinación de salarios y productividad— como la excelente calidad. Sin embargo, si una producción sofisticada pudiera ubicarse con éxito en el extranjero, los salarios bajos significarían unidades de bajo costo.

Los resultados de un análisis comparativo⁴¹ sobre fábricas similares de motores situadas en México y en los Estados Unidos ofrecen algunas interesantes aportaciones. En las dos fábricas se produce el mismo motor de 4 cilindros, se trabaja con volúmenes de producción comparables, se utilizan tecnologías parecidas en departamentos clave y la gestión corre a cargo de una sola sección de la misma empresa. Mientras que la fábrica mexicana es nueva y produce sólo un tipo de motor, la estadounidense cuenta con una nueva línea de motores en unas instalaciones con 27 años de existencia, y fabrica cuatro tipos de motores. El análisis se centró en dos de las líneas de transferencia más cruciales: las del bloque del motor y del cigüeñal. Las líneas de maquinado incluyen operaciones que requieren mayor precisión y sufren muchos más retrasos que las líneas de montaje. La complejidad tecnológica y el costo del equipo inactivo revalorizan la experiencia y la pericia de la fuerza de trabajo.

⁴¹ H. Shaiken y S. Herzenberg: Automation and global production, automobile engine production in Mexico, the United States and Canada, Centre for US-Mexican Studies, Universidad de California, San Diego, Monograph Series, 1987.

Uno de los hallazgos fundamentales del estudio es que la fábrica mexicana logró eficiencia en las máquinas, productividad laboral y calidad comparables a las de la fábrica estadounidense en sus dos primeros años y medio de funcionamiento. La fábrica mexicana contaba con una fuerza de trabajo joven e inexperta, mientras que los obreros de la fábrica estadounidense eran veteranos curtidos. La empresa seleccionó una fuerza laboral muy motivada y bien formada y le proporcionó adiestramiento intensivo. En el éxito de la fábrica tuvo importancia decisiva la forma de organización que se fue imponiendo. Se necesita un nivel elevado de conocimientos y de experiencia para hacer funcionar una fábrica automatizada y esas cualidades sólo se obtienen con los años. Como se puso de manifiesto en la fábrica mexicana, esa pericia no necesita estar uniformemente distribuida por toda la organización. En el momento inicial la fábrica contó con un buen número de gestores experimentados, procedentes de las actividades de la empresa en todo el mundo, que tomaron las decisiones diagnósticas que de ordinario tomarían obreros especializados en una fábrica de Norteamérica, mientras que la fuerza de trabajo mexicana seguía aquellas directrices. La fábrica ha proporcionado a México alta tecnología y adiestramiento, y quizá se mantenga durante mucho tiempo como una isla de alta tecnología o, si crea fuentes nacionales de abastecimiento, podrá servir como catalizador para difundir con más amplitud técnicas avanzadas.

Las conclusiones de este estudio van más allá de la industria del automóvil. La capacidad de fabricar motores de automóvil en el extranjero prueba la capacidad de fabricar también otros productos. Mientras los países industrializados prosiguen su automatización, puede que la producción en el extranjero aumente en lugar de disminuir.

3 La automatización industrial en países en desarrollo

El proceso de difusión de la automatización flexible entre los países industrializados progresó de manera desigual a comienzos del decenio de 1980. En la actualidad, sin embargo, esta tecnología está ampliamente difundida y tendrá considerables efectos sobre la competitividad y el empleo en años venideros. Algunos de los factores que han contribuido a esta evolución carecen de importancia en la mayoría de los países en desarrollo (por ejemplo, la reducción de los costos de mano de obra⁴² o la

⁴² Con la señalada excepción de los países de Asia Oriental (sobre todo Singapur, la República de Corea y Taiwán, provincia de China) donde la escasez de mano de obra, el aumento de los salarios, o ambas cosas han acelerado la marcha hacia la automatización industrial.

Recuadro 23: Dificultades para importar tecnología de CN

En un estudio de la Asian Productivity Organization realizado entre fabricantes de máquinas herramientas en Taiwán, provincia de China, se identificaron las siguientes dificultades para la importación de máquinas herramientas de CN:

- A los directores les falta conocimiento de las nuevas tecnologías: en su mayor parte aprendieron tecnologías como aprendices y no entienden muy bien las nuevas, por lo que no les interesa introducirlas a no ser que esté amenazada la supervivencia de la empresa.
- Resistencia de los trabajadores debido a los cambios introducidos en la estructura organizativa
- Riesgo elevado puesto que los beneficios de la gran inversión realizada pueden ser inciertos y a largo plazo

Con frecuencia los resultados quedan por debajo de lo esperado:

- Los directores no preparan todo lo cuidadosamente que hace falta la introducción de nuevas tecnologías.
- Los trabajadores poco cualificados no se adaptan a la nueva tecnología ni siquiera mediante adiestramiento y un ambiente laboral y un salario deficientes no atraen personal técnico avanzado.
- Una gestión de tipo familiar no satisface los requisitos de las nuevas tecnologías.

De: Hyung Sup Choi (editor): Hibrid of Man and Technology, Asian Productivity Organization, Tokyo, 1989.

presión para fabricar productos más personalizados⁴³). Sin embargo, el aumento de la competitividad de los países industrializados quizá fuerce inevitablemente a los países en desarrollo a hacer lo mismo con el fin de penetrar en los mercados de exportación o competir con las importaciones⁴⁴. La inversión en automatización flexible puede contribuir a lograr ventajas dinámicas comparativas.

Después de una evaluación de la tasa de difusión de la automatización industrial en los países en desarrollo, se analizarán las directrices relativas a la elección de tecnología junto con los requisitos previos en materia de organización.

3.1 Difusión de las máquinas herramientas de control numérico en los países en desarrollo

La difusión de las MHCN entre los países en desarrollo se ha concentrado, en general, en los que ya son fabricantes destacados de máquinas herramientas, y apenas existen pruebas de su difusión en otros países. Raras veces existen inventarios de máquinas herramientas y no se dispone de datos relativos a la difusión de las MHCN en los subsectores de las industrias de maquinaria. En algunos casos la introducción de equipo automatizado obedece a la iniciativa de empresas extranjeras que han convencido a sus subcontratistas para que adopten la automatización flexible con el fin de exportar productos de calidad⁴⁵.

⁴³ Se da por sentado con frecuencia que a medida que aumentan los ingresos los consumidores pueden manifestar en el mercado deseos más refinados que les llevan a elegir mercancías más especializadas; desde ese punto de vista los mercados masivos son una consecuencia del bajo nivel de vida. Sin embargo, como han señalado Piore y Sabel (1983), esta distinción entre las necesidades de los pobres y los deseos de los ricos está en flagrante contradicción con pruebas etnográficas generalizadas que ponen de manifiesto cómo, a cada nivel de consumo, el deseo de unas mercancías determinadas se forma con ideas culturales colectivas sobre lo que está bien y lo que es hermoso.

⁴⁴ Debido a las medidas de liberalización de las importaciones adoptadas por un número cada vez mayor de países, las empresas nacionales de maquinaria están expuestas en la actualidad a la competencia extranjera.

⁴⁵ Se cuenta con algunos ejemplos en el caso de componentes para la industria del automóvil en América Latina y en Asia Sudoriental (Malasia y Tailandia).

3.1.1 Países recientemente industrializados (cuadro 50)

La difusión de las MHCN ha aumentado muy rápidamente en los países de Asia recientemente industrializados, donde las empresas han invertido en ellas con el fin de mantener la competitividad en la exportación. Un mercado muy ajustado de mano de obra, el aumento de los salarios (el 100 por cien de 1986 a 1989, utilizando el dólar de los EE.UU. como valor de referencia) y la revalorización de las monedas han acelerado la marcha hacia la automatización.

- En 1985 la República de Corea había instalado 2.680 unidades; esta cifra aumentó en más del doble en los tres años siguientes, hasta alcanzar las 6.000 en 1988.
- En Taiwán, provincia de China, el número de unidades de CN en 1988 se estimaba en 2.200.
- En Singapur, la automatización es prioritaria⁴⁶ y se ha iniciado un Plan maestro nacional: en 1989 se utilizaban 1.800 máquinas de CN y 380 robots⁴⁷.

Cuadro 50: Existencias de MHCN en determinados países en desarrollo

En unidades	1981	1985	1987	1989
Rep. de Corea		2680	5000	7500
Taiwán (China)		1220	2800	6250
Brasil	986	1995	4176	5800
Singapur	60	700		1800
México				1300
Argentina	350	500		800
Colombia			61	
India			1182	

Fuentes: Case studies, por F. Erber y M. Humbert.
y estimaciones a partir de cifras de producción y comercio
Singapur: EDB Economic Survey, 1989.

⁴⁶ Ministerio de comercio e industria: Economic Survey of Singapore, 1989, pág. 25.

⁴⁷ En su mayor parte utilizados para operaciones de montaje y en el 57 por ciento en las industrias electrónica y eléctrica.

- En la India, el censo de máquinas herramientas de 1982 mostró que había 1.182 MHCN instaladas, de las que más del 70 por ciento correspondía a tres sectores: maquinaria y piezas, transporte y maquinaria eléctrica. Aunque para 1986 y años ulteriores no se dispone de datos documentados, una encuesta por muestreo entre veinticinco grandes empresas indicó que el porcentaje de automatización flexible en la inversión en máquinas herramientas ha aumentado de manera muy pronunciada, pasando del 25 por ciento en 1985 al 41,7 por ciento en 1989⁴⁸.

- El número de máquinas de CN por millar de empleados se sitúa alrededor de 6,5 en la República de Corea, de 15 en Taiwán, provincia de China, y de 27 en Singapur, en comparación con 20 por millar de empleados en las industrias de maquinaria de los Estados Unidos.

La recesión económica ha hecho disminuir el ritmo de la modernización industrial de América Latina. En la Argentina había 350 MHCN en 1981 y 800 en 1988; la ola inicial de adquisiciones se produjo cuando los sueldos eran relativamente altos y la importación de capital relativamente barata debido a la sobrevaloración del peso; prosiguió en una situación de salarios relativamente bajos y la introducción de las MHCN estuvo ligada a un proceso de expansión para fabricar productos más complejos. La utilización de la automatización flexible se asocia a veces con un esfuerzo sistemático para introducirse en mercados extranjeros: tal es el caso de la Argentina⁴⁹ y del Brasil⁵⁰, aunque en Colombia las empresas que presentaban los mayores volúmenes de exportaciones no eran las usuarias de MHCN⁵¹. A las industrias de máquinas herramientas, automóviles y aviación les corresponde el

⁴⁸ H.C. Gandhi: Regional study on machine-tool industry in Asia, the case of India, ONUDI, 1991.

⁴⁹ D. Chudnovski: "The diffusion and production of numerically controlled machine tools with special reference to Argentina", World Development, vol. 16, nº 6, págs. 723-732, 1988.

⁵⁰ En un estudio sobre fabricantes de piezas de automóvil realizado en 1984 se puso de manifiesto que los fabricantes que utilizaban MHCN eran quienes presentaban la proporción más elevada de exportaciones; R. Tauile: Automação e competitividade, uma avaliação das tendências no Brasil, Instituto de Economia Industrial, Río de Janeiro, 1987.

⁵¹ Fedemetal: Las nuevas tecnologías de base microelectrónica: análisis global e impactos de su incorporación al sector metalmeccánico de Colombia, Bogotá, 1988.

mayor número de MHCN en el Brasil: las consideraciones de calidad, la complejidad de las piezas fabricadas y el estricto margen de tolerancia parecen ser las razones más importantes para la introducción de las MHCN en la Argentina y en el Brasil⁵².

- En el Brasil, la capacidad instalada de máquinas de CN aumentó de 986 en 1981 a 1.995 en 1985 y a 5.970 en 1989; las MHCN están concentradas en un número bastante reducido de empresas: 420 en 1987, tanto grandes corporaciones (más de 500 empleados) como filiales de empresas extranjeras. Según un estudio del Instituto de investigación y tecnología de la Universidad de Sao Paulo, aunque algunos fabricantes de máquinas herramientas muy conocidos producen equipo avanzado, la edad media de la maquinaria es de 15 años⁵³

- En la Argentina, las existencias de MHCN pasaron de 350 (1981) a 800 unidades (1989). Las MHCN se han difundido también desde un principio entre las empresas medianas y pequeñas, probablemente porque tanto los modelos nacionalmente producidos como los importados eran más sencillos y menos caros⁵⁴

- En México había 409 máquinas herramientas de CN en 1986 y más de la mitad de las importaciones de máquinas herramientas son de CN y la capacidad instalada se ha calculado entre 1.200 y 1.400 en 1989; las fábricas de vehículos de motor y las maquiladoras cuentan, aproximadamente, con 50 máquinas de CN instaladas.

3.1.2 Otros países en desarrollo

Es difícil medir la difusión del CN en otros países en desarrollo en razón de algunas deficiencias: i) las cifras de comercio exterior publicadas por organizaciones internacionales (GATT, OCDE, CEPE) no distinguen entre máquinas herramientas convencionales y de CN; y ii) las estadísticas de los países en desarrollo tampoco establecen esta distinción.

Con el fin de superar ese obstáculo, y sacrificando la homogeneidad en aras de una mayor precisión, se han utilizado

⁵² J.R. Tauile y F.S. Erber: Las máquinas-herramientas en América Latina, ONUDI, 1990.

⁵³ "Market reserve policies provoke growing conflicts as Brazil's technology lags", Business Latin America, 3 de abril de 1989.

⁵⁴ F.S. Erber: Cooperación, entre la Argentina y el Brasil, en materia de automatización industrial, ONUDI, 1990.

Cuadro 51: Importación de tornos del Japón y de Europa en 1987
(en miles de dólares EE.UU.)

	CN	Automáticas	Otras	Total	% CN	% automáticas
Rep. de Corea	36013	0	5417	41431	87%	0
India	21071	3561	3935	28568	74%	0,12
Taiwán (China)	16193	4380	1166	21739	74%	0,20
China	12834	2407	4605	19846	65%	0,12
Indonesia	11749	648	10348	22745	52%	0,03
Irán	9799	1434	6538	19770	50%	0,07
Zimbabwe	7836	6916	3351	18103	43%	0,38
Singapur	7112	3903	2202	14217	50%	0,27
Malasia	4267	0	81	4348	98%	0
Tailandia	3603	1838	2385	7826	46%	0,23
Venezuela	3528	0	1738	5266	67%	0
Brasil	3365	121	3057	6544	51%	0,02
Hong Kong	3304	2931	534	6769	49%	0,43
Chile	1847	0	0	1847	100%	0
México	1779	1229	40	3048	58%	0,40
Iraq	1572	1416	2594	5582	28%	0,25
Pakistán	1231	0	1769	3000	41%	0
Libia	1045	316	917	2277	46%	0,14
Yugoslavia	478	0	0	478	100%	0
Filipinas	429	291	405	1126	38%	0,26
Argentina	138	1418	11	1567	9%	0,90
Egipto	81	89	1132	1302	6%	0,07
Argelia	0	7223	2688	9911	0%	0,73
Arabia Saudita	0	0	921	921	0%	0
Bangladesh	0	0	413	413	0%	0
Myanmar	0	40	502	543	0%	0,07
Burundi	0	0	63	63	0%	0
Colombia	0	0	6	6	0%	0
Etiopia	0	0	1098	1098	0%	0
Gabón	0	0	0	0		
Kenya	0	0	40	40	0%	0
Marruecos	0	0	40	40	0%	0
Nigeria	0	0	1027	1027	0%	0
Perú	0	0	851	851	0%	0
Senegal	0	0	0	0		
Túnez	0	0	902	902	0%	0
Zaire	0	0	618	618	0%	0

Fuentes: Preparado a partir de NIMEX y estadísticas japonesas de comercio.

Cuadro 52: Importación de centros de maquinado, mandrinadoras y fresadoras
(de Europa y el Japón en 1987)
(en miles de dólares EE.UU.)

	Centro de maquinado	Mandrinadoras CN	Fresadoras CN	Sin CN	TOTAL	Centros de maquinado	CN
Argelia	0	0	0	1709	1709	0%	0%
Arabia Saudita	0	0	81	1763	1844	0%	4%
Argentina	374	0	867	1184	2425	15%	36%
Bangladesh	0	0	211	2204	2415	0%	9%
Brasil	6079	0	5344	3062	14485	42%	37%
Myanmar	0	0	0	0	0		
Burundi	0	0	0	0	0		
Chile	0	0	10500	5247	15747	0%	67%
China	14131	3285	11035	4494	32945	43%	43%
Colombia	589	0	29575	10988	41152	1%	72%
Rep. de Corea	12682	21089	1649	11041	46461	27%	49%
Egipto	685	0	0	1350	2035	34%	0%
Etiopia	0	0	0	1661	1661	0%	0%
Gabón	0	0	3470	2374	5844	0%	59%
Hong Kong	3748	0	3104	10578	17430	22%	18%
India	9635	1203	9217	8453	28508	34%	37%
Indonesia	11447	1171	0	6488	19106	60%	6%
Irán	1426	0	6084	5279	12789	11%	48%
Iraq	0	0	2974	24	2998	0%	99%
Kenya	0	0	1008	98	1106	0%	91%
Libia	707	0	260	187	1154	61%	23%
Malasia	805	0	423	32	1260	64%	34%
México	740	0	1007	0	1747	42%	58%
Marruecos	0	0	0	33	33	0%	0%
Nigeria	0	575	0	0	575	0%	100%
Pakistán	1325	0	0	1149	2474	54%	0%
Perú	0	0	33	187	220	0%	15%
Filipinas	1902	0	852	74	2828	67%	30%
Senegal	0	0	1813	2463	4276	0%	42%
Singapur	7463	0	10033	20085	37581	20%	27%
Taiwán (China)	21878	1780	2869	4531	31058	70%	15%
Tailandia	2049	0	0	1856	3905	52%	0%
Túnez	0	0	666	0	666	0%	100%
Venezuela	1057	0	668	2317	4042	26%	17%
Zaire	0	0	0	0	0		
Yugoslavia	7222	0	6661	1997	15880	45%	42%

Fuentes: Preparado a partir de NIMEX y estadísticas japonesas de comercio.

estadísticas nacionales de destacados países exportadores. Los cuadros 47 y 48 se han preparado a partir de las estadísticas japonesas de comercio y, en el caso de importación de tornos, así como de fresadoras, mandrinadoras y centros de maquinado por países en desarrollo, de las tablas analíticas NIMEXE⁵⁵.

Tornos. Basándose en cifras de exportaciones (cuadro 51) parece que 20 países en desarrollo importaron tornos de CN en 1985 y que en 1987 lo hicieron 22; tan escasas pruebas, sin embargo, no permiten apreciar ninguna tendencia de difusión, dado que algunos países adquirieron tornos de CN en 1985 o en 1987 y 29 países en desarrollo los importaron durante 1985 y 1987:

En Asia: China, Filipinas, Hong Kong, India, Indonesia, Malasia, Pakistán, República de Corea, Singapur, Tailandia y Taiwán, provincia de China.

En América Latina: Brasil, México, Argentina, Perú, Venezuela, Colombia y Chile.

En Africa y en Oriente Medio: Irán, Iraq, Egipto, Arabia Saudita (1985), Zimbabue (1985), Etiopía (1985), Túnez (1985), Senegal (1985), Nigeria (1985), Libia (1987).

En quince países esas importaciones ascendieron a más de 1 millón de dólares de los EE.UU.

Centros de maquinado. Las exportaciones de centros de maquinado del Japón y de la CEE tuvieron como destinatarios a 20 países en desarrollo en 1987, 14 de entre ellos con importaciones de más de 1 millón de dólares de los EE.UU. (cuadro 52).

3.1.3 Perspectivas

Los estudios disponibles predicen un desarrollo rápido del mercado de máquinas herramientas de CN en los países en desarrollo de ingreso mediano:

- En la República de Corea se espera que la demanda interior de MHCN aumente de 3.700 unidades en 1990 a 7.000 en 1995 y a

⁵⁵ Publicadas por la Oficina de Estadística de las Comunidades Europeas.

14.000 en el año 2000⁵⁶: la industria de vehículos de motor será el mercado más importante, con el 55 por ciento de la demanda, seguido de la industria de máquinas herramientas.

- En un estudio de la Organización Árabe para el Desarrollo Industrial (AIDO) sobre la industria de máquinas herramientas en los países árabes se calcula que la demanda de máquinas herramientas de CN aumentará, como promedio, el 10 por ciento entre 1990 y el año 2000⁵⁷, mientras que la demanda de máquinas convencionales lo hará en un 4 por ciento anual.

- En China se ha estimado que la demanda de sistemas de CNC pasará de 2.000 unidades en 1989 a 5.000 en 1995 y a 7.000 en 1997⁵⁸.

- En el caso del Perú se ha estimado que la demanda de máquinas herramientas de CN puede representar, en un futuro próximo, cerca del 40 por ciento de la demanda total de máquinas herramientas.

3.2 Elección de tecnología

Máquinas herramientas de distintos niveles de sofisticación están al alcance de los países en desarrollo, y todas ellas se pueden utilizar de manera económica. Pero sólo en un número muy reducido de casos es indispensable disponer de equipo avanzado (recuadro 23).

Para un país en desarrollo, la primera opción en la selección de tecnología de maquinado son las máquinas convencionales sencillas como tornos centrales, limadoras, fresadoras⁵⁹. Sin embargo, cuando se trata de componentes mayores y más pesados, o se necesita un gran volumen de producción, se requiere una elevada fuerza de trabajo y gran esfuerzo manual para utilizar máquinas sencillas. Entre las opciones de las que se puede disponer figuran máquinas especializadas, líneas de transferencia, máquinas de CN, células de fabricación flexible (FMC) y sistemas de fabricación flexible (FMS). En la mayoría de los países en desarrollo hay que importar el equipo avanzado, por lo que resulta caro, y su

⁵⁶ Korea Institute for Economics and Technology: Mecatronics, 1989, citado en Judet: L'industrie de la machine outil en Corée, ONUDI, 1990.

⁵⁷ AIDO: The development of machine-tool industry in Arab countries, 1987.

⁵⁸ Datos del proyecto de la ONUDI LP/CPR/89/017/A/01/37.

⁵⁹ Véase: "Selection of appropriate machining technology", en A study of the machine-tool industry, NDFC Pakistan, 1988.

utilización sólo está justificada con volúmenes muy grandes de producción.

Entre las tecnologías de automatización flexible, las MHCN parecen ser la tecnología más apropiada desde el punto de vista de los países en desarrollo, debido a la relativa madurez de su tecnología. Su característica de ahorro de especialización⁶⁰ es también un sólido argumento en favor de las MHCN. Las pruebas disponibles sugieren que si bien los países en desarrollo son ya usuarios eficientes de máquinas herramientas convencionales, apenas encuentran problemas graves de especialización a la hora de utilizar las MHCN, aunque costos de capital, requisitos de escala, personal disponible, mercados protegidos y la disponibilidad de apoyo por parte de los proveedores pueden suponer obstáculos para una aplicación más amplia de esta tecnología.

Una de las principales ventajas de las MHCN es la flexibilidad. Sin embargo la flexibilidad no se consigue de manera automática⁶¹. Es cierto que las MHCN ofrecen economías de alcance, pero la experiencia de empresas medianas de países industrializados pone de manifiesto que, en muchos casos, se ha utilizado equipo flexible para producir un grupo de componentes similares. Una fábrica está organizada para producir componentes específicos y, para recoger los beneficios de la flexibilidad de las MHCN, se ha llevado a cabo una evaluación tecnológica de las instalaciones y modificar la organización. Estos cambios de organización pueden ser a menudo costosos.

La falta de preparación de la empresa con anterioridad a la introducción de unas máquinas de CN cuyos rendimientos teóricos no se han comprobado, la falta de adiestramiento y la falta de conocimiento a fondo de la tecnología se ha saldado en muchos casos con experiencias amargas en países industrializados. En el cuadro 49 se recogen los resultados financieros de varios tipos de inversión en tecnología: diseño auxiliado por computadora (CAD), células flexibles y máquinas herramientas de CN. En muchos casos la introducción de estas tecnologías no ha proporcionado recompensas financieras a muchas empresas francesas; un estudio hecho en el Reino Unido entre 250 empresas llevó a conclusiones parecidas (cuadro 53).

⁶⁰ Que debería valorarse teniendo en cuenta el contenido más alto de especialización del personal de reparación y mantenimiento.

⁶¹ p. Padilla: "Amélioration de la productivité d'exploitation des centres d'usinage et de tournage", CETIM informations, nº 108, diciembre de 1988.

Recuadro 24: Cambios organizativos en países en desarrollo

Los ejemplos de cambios de este tipo son todavía anecdóticos:

- En Singapur, una filial japonesa que fabricaba máquinas herramientas aplicó los principios de Justo-a-tiempo desde comienzos del decenio de 1980 y, como resultado, la productividad de los trabajadores aumentó el 70 por ciento.

- En Venezuela, en una empresa de maquinaria que introdujo cambios organizativos a comienzos del decenio de 1980 la productividad aumentó el 25 por ciento, junto con mejoras importantes como disminución de devoluciones de los clientes y de piezas desechadas.

- En el Brasil, un estudio entre proveedores de componentes y montadores de vehículos de motor ha mostrado que la industria nacional del automóvil insiste en entregas más frecuentes: está aplicando JIT "externo" y su fuerza le permite traspasar sus inventarios a los proveedores, cuya única alternativa es aplicar JIT. La industria del automóvil no ha entablado relaciones de mayor colaboración con sus proveedores, una situación que refleja la dificultad para adoptar nuevas técnicas organizativas en todo el conjunto del sistema industrial.

Los proveedores que han reorganizado sus líneas de producción antes de aplicar sistemas Kan Ban han obtenido mejores resultados que los demás.

Adaptado de Hoffman: Technological Advance and organizational innovation, Industry and Energy working papers, Banco Mundial, 1990.

Bessant y Rush: Integrated Manufacturing, ONUDI, 1987.

Roberto Rocha Lima: "Implementing the Just-in-Time production system in the Brazilian car component industry", en IDS Bulletin, 1989, vol. 20, nº 4.

La inversión en MHCN debe analizarse con mucha cautela, siguiendo directrices comprobadas (figura 33). Con el fin de aconsejar a las empresas de maquinaria de los países en desarrollo, deben promoverse servicios de consulta por medio de asociaciones comerciales o centros técnicos.

3.3 Cambios organizativos

Uno de los principales retos con que se enfrentarán los países en desarrollo en el decenio de 1990 será el de cómo mejorar su competitividad industrial en respuesta a los adelantos tecnológicos conseguidos en países industrializados. La introducción de equipo avanzado parece ser una solución si se cumplen cierto requisitos previos mediante mejoras en la gestión y organización de la producción: "uno no adquiere un sistema de fabricación flexible, sino que se convierte en un sistema de fabricación flexible"⁶². Una parte considerable de los beneficios de la inversión en automatización flexible procede de los cambios de organización y, como han destacado con insistencia algunos autores⁶³, eso sugiere que esas innovaciones organizativas son de hecho un programa informático separable del cambio técnico, y quizá elimine la necesidad de adquirir equipo físico. Entre los cambios organizativos más destacados se deben mencionar Justo-a-tiempo y el sistema Kan Ban (recuadro 24).

3.3.1 Diseño y fabricación

En algunos casos⁶⁴, la automatización puede no ser necesaria y es posible ganar más en eficiencia mediante la adopción de nuevos procedimientos de gestión con el fin de mejorar la coordinación entre las diferentes actividades en el seno de una empresa.

⁶² Bessant: Integrated Manufacturing, ONUDI, 1987.

⁶³ Final Report of the Meeting of International Experts on a Programme for Industrial Automation in the Capital Goods Industry of Latin America, Viena, 27-28 de noviembre de 1989, ONUDI; y también K. Hoffman: Technological advance and organizational innovation in the engineering industry, Industry and Energy Department Working Paper, Industries Series nº 4, Banco Mundial.

⁶⁴ Véase Made in America, regaining the productive edge, que hace hincapié en este punto.

Tal es el caso, de manera especial, del diseño y la fabricación. Si bien los gastos per se de diseño ascienden tan sólo a una pequeña parte del costo total del producto, el diseño determina una proporción importante de los costos de producción, control y mantenimiento, ya que hasta el 90 por ciento de los costos de producción dependen en realidad de decisiones de diseño tomadas mucho antes de que los planos lleguen a pie de máquina⁶⁵. En muchas empresas el personal responsable de esas dos actividades se comunica poco, y un producto se diseña para una determinada función y luego se entrega ("se tira por encima de la valla") al departamento de manufactura. A veces los diseñadores no tienen en cuenta problemas de fabricación y esto lleva a retrasos en la producción. La colaboración estrecha, denominada "ingeniería concurrente"⁶⁶, entre diseño, producción y comercialización permitirá evitar esos peligros. La disponibilidad de herramientas computarizadas estimula la cooperación entre departamentos. En lugar de pasar información de un nivel a otro, con aprobación de la dirección en cada paso, los equipos se pueden comunicar electrónicamente y tomar decisiones ellos mismos. En este cambio están empezando también a participar los proveedores.

El análisis de la función del producto se puede hacer con ayuda de conjuntos de programas informáticos con el fin de reducir el número de piezas de un producto y el diseño puede hacer innecesaria la automatización al hacer más seguro el montaje manual⁶⁷.

3.3.2 Acercamiento paso a paso a la automatización

En un elevado número de estudios de casos realizados en países industrializados se llega a la conclusión de que una decisión de invertir en equipo de automatización flexible no es probable que produzca el máximo de beneficios si no ha ido acompañada o precedida de cambios paralelos en el seno de la organización: "todo lo que se consigue cuando se incorpora

⁶⁵ Gracias a un estudio de Ford se ha comprobado que el 70 por ciento de los costos queda congelado una vez que se decide el diseño (en un documento de trabajo de MIT sobre productividad industrial).

⁶⁶ Business Week: "A smarter way to manufacture, special report", 30 de abril de 1990.

⁶⁷ Daniel E. Whitney: "Manufacturing by design", Harvard Business Review, julio-agosto de 1988.

Cuadro 53: Beneficios de la tecnología avanzada de fabricación en porcentaje

Tecnología	<u>Francia</u>	
	Exito financiero	
	Sí	No
CAD	25	75
FMC	10	90
Robots	10	90
MHCN	55	45

Beneficio	<u>Reino Unido</u>	
	Cero a escaso	moderado a alto
CAD	46	54
CAM	46	54
FMS	67	33
Robots	76	24

Fuente:

Francia: CETIM

Reino Unido: entrevistas a 250 empresas, realizadas por el British Institute of Management, Cranfield, 1986 en Bessant, UNIDO/IPCT.70, 1988.

una computadora a una organización caótica es un caos computadorizado⁶⁸.

La estrategia para la automatización industrial debe seguir un criterio de acercamiento paso a paso⁶⁹, comenzando por una reorganización encaminada a mejorar la productividad y la flexibilidad; los cambios deben abarcar distribución en planta, perfeccionamiento de conocimientos técnicos, adopción de nueva distribución del trabajo, planificación y programación y control de producción. Otra posibilidad para pasar progresivamente de un método tradicional de manufactura a otro avanzado, a nivel de fábrica, es el establecimiento de una isla autónoma de fabricación⁷⁰ (AMI) para un determinado grupo de piezas. En este caso se puede combinar máquinas convencionales y máquinas de CN para realizar las distintas operaciones de maquinado mientras la planificación y el control de la producción, el flujo de materiales y la secuencia de operaciones se optimizan con ayuda de computadoras. También está incluida en esta concepción la gestión de herramientas y el mantenimiento de maquinaria y accesorios. La inversión inmediata para el establecimiento de una AMI es comparativamente pequeña y el concepto AMI puede repetirse para otros grupos de piezas dentro de la misma o de otras fábricas. De manera simultánea se pueden cambiar máquinas herramientas convencionales por máquinas de CNC a medida que se disponga de fondos para inversión, de fuerza de trabajo especializada y de posibilidades técnicas.

La reorganización debe trascender el nivel empresarial con el establecimiento de una adecuada política de subcontratación que aumente la flexibilidad, como se demuestra en ejemplos de Italia y el Japón⁷¹.

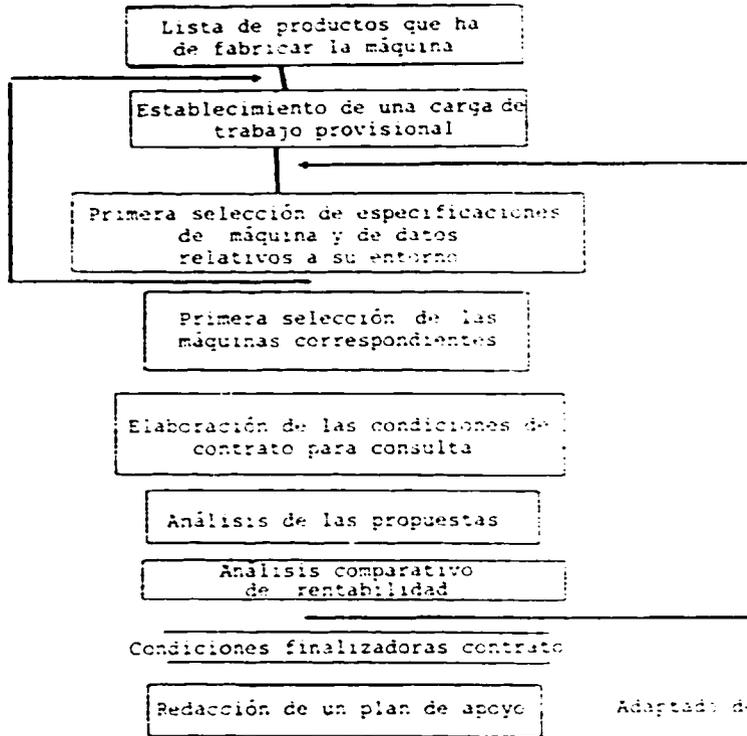
⁶⁸ En John Bessant y Howard Rush: Integrated manufacturing Technology Trends, serie nº 8 IPCT.70, ONUDI, octubre de 1988.

⁶⁹ Tal como defendieron los participantes en la Reunión del Grupo de expertos sobre automatización industrial (ONUDI, noviembre de 1989).

⁷⁰ Una solución propuesta por ONUDI/DIO/ENG en un importante proyecto de máquinas herramientas que se está realizando en China.

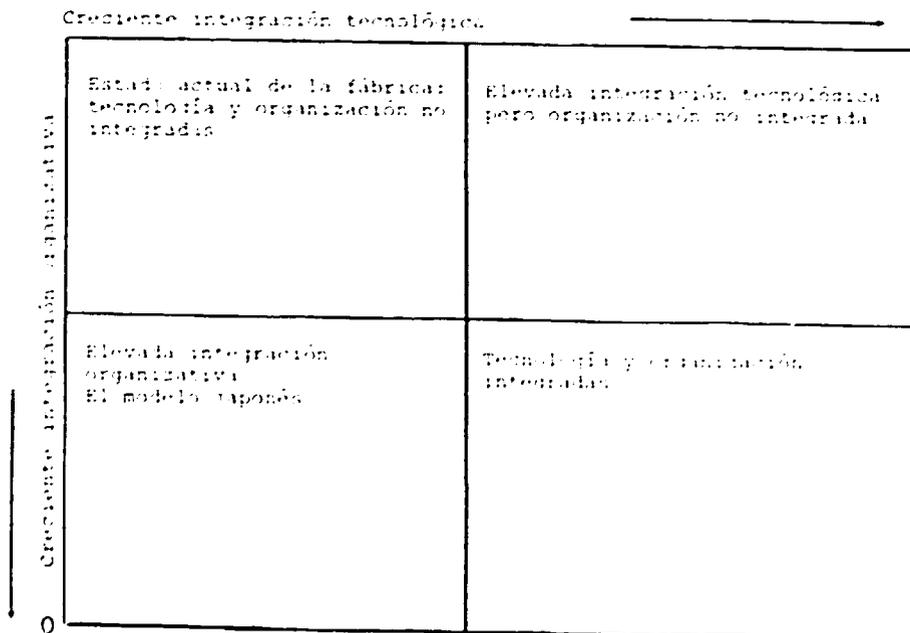
⁷¹ En estos dos países la existencia de una red amplia y flexible de empresas subcontratantes parece estar en correlación con el elevado nivel de difusión de las MHCN (véase capítulo II).

Figura 33: Directrices para la adquisición de una máquina herramienta de CN



Adaptado de Padilla/CETIM

Figura 34: Planteamiento paso a paso de la fabricación integrada



Fuente: John Bessant, ONUDI Technology Trend Series, nº 6.