

AUTOMATIZACIÓN FLEXIBLE Y ECONOMÍAS DE ESCALA EN PAÍSES EN DESARROLLO

Ludovico Alcorta

RESUMEN

Este artículo presenta los resultados preliminares de un proyecto de investigación internacional llevado a cabo en Brasil, India, México, Tailandia, Turquía y Venezuela, acerca del grado de difusión de la automatización flexible (AF) en los países en desarrollo y de su impacto en la escala y alcance de producción a nivel de producto, planta y firma. Muestra que, si bien la difusión ha sido rápida en los países en estudio, especialmente en el caso de las máquinas herramientas de control numérico computarizado (CNC), ésta fue mucho menor que en los países desarrollados. El artículo analiza datos a nivel de firma sobre escala de producto y concluye que la automatización flexible no lleva necesariamente a reducciones en la escala de producto ni a aumentos en la variedad o alcance de la producción. Si bien ha habido un aumento de la 'variedad' de bienes producidos, éste ha sido muchas veces el resultado de un mayor rango de tamaños y de la integración vertical hacia la producción de componentes, y no tanto de manufactura de productos diferentes. El artículo concluye que, en comparación con tecnologías anteriores, la producción o capacidad de la mayoría de las plantas y firmas aumentó, lo cual vino acompañado de menores costos unitarios en el caso de algunas empresas, sugiriendo por tanto aumentos en la escala óptima. Las principales razones que explican estos aumentos en la escala óptima son la reducción en los tiempos de espera, una mejor organización de la planta y del trabajo, mayor eficiencia de la maquinaria y mayores costos 'fijos' de capital y mercado. Tales hallazgos implican que la escala ya a seguir constituyendo una barrera de entrada a la producción industrial.

ABSTRACT

The paper presents the preliminary results of an international research project undertaken in Brazil, India, Mexico, Turkey, Thailand and Venezuela on whether and to what extent flexible automation (FA) has diffused to developing countries, and what its impact has been on product, plant and firm scale and scope. It shows that while diffusion has been rapid in the countries under study, particularly in the case of computer-numerically-controlled (CNC) machine tools, it was far slower than in developed countries. The paper analyses firm data on product scale and concludes that flexible automation does not necessarily lead to reductions in product scale and increases in product variety or scope. While there has been an increase in the 'variety' of goods produced this has often been the result of the availability of a wider range of sizes in goods and due to vertical integration into the production of components, not so much as a result of the manufacturing of different products. The paper concludes that, as compared with previous technologies, the output or capacity of most plants and firms increased, which was accompanied in some firms by lower unit costs, thus suggesting increasing optimal scale. The main reasons for increasing optimal scale are the reduction in waiting times, better factory and labour organisation, higher machine efficiency and larger capital and marketing 'fixed' costs. Such findings imply that scale will continue to be a barrier to entry into industry production.

Introducción

Desde las famosas palabras de Adam Smith de que "la división del trabajo está limitada por el tamaño del mercado", la cuestión de escala y economías de escala ha ocupado un lugar prominente en la discusión económica. Smith señaló que cuanto más grandes los mer-

cados se permite mayor especialización del trabajo y la maquinaria, lo que lleva a importantes reducciones de los costos unitarios. Otros factores considerados como fuentes de economías de escala incluyen las relaciones tecnológicas, que permiten un incremento en la capacidad del equipo mayor que el aumento proporcional en el costo de la inversión, y las

indivisibilidades, que hacen rentable repartir los costos de una "masa" de equipo, los costos iniciales de desarrollo del producto y los costos de poner a punto las máquinas entre el mayor número posible de unidades de producto.

La industrialización de los países en desarrollo siempre se ha visto limitada por escalas de producción crecientes. El reducido tamaño de sus mercados domésticos ha ocasionado que no se puedan establecer ciertas industrias o que, cuando establecidas, las empresas produzcan a volúmenes menores y costos unitarios mucho mayores que en plantas eficientes. A su vez, producir a niveles subóptimos requiere de alta protección doméstica, con el consiguiente efecto en el bienestar económico. Cambios en las preferencias de los consumidores, los niveles de ingreso, las condiciones macroeconómicas, el grado de competencia extranjera y/o el abastecimiento de insumos llevan a capacidad ociosa y, por tanto, a costos unitarios aún mayores y a mayor protección o al cierre de la empresa. Si bien exportar podría ser una alternativa para salvar la barrera de escala, por lo general, es necesario un mínimo de eficiencia antes de ingresar a los mercados internacionales.

Se sostiene que las nuevas tecnologías basadas en la microelectrónica, o más precisamente en la automatización flexible (AF), están llevando a cambios fundamentales en las economías de escala y alcance. Se dice que la creciente sustitución de equipo de capital especializado, unipropósito y de producción en masa por nuevas tecnologías controladas por computadora, está determinando caídas en las escalas óptimas de producción; mientras que, a la vez, aumenta la flexibilidad de las unidades de producción para dedicarse a la manufactura de una mayor variedad o alcance de productos. Una caída de escalas óptimas de planta y firma tendría como consecuencia importante posibilitar la entrada de productores de pequeña escala que utilicen nuevas tecnologías.

El objetivo principal de este artículo es presentar los resultados preliminares de una investigación internacional, destinada a examinar en qué medida se ha difundido la automa-

tización flexible a los países en desarrollo y cuál ha sido su efecto sobre el alcance y escalas óptimas a nivel de producto, planta y firma. Teniendo en cuenta las dificultades para calibrar el impacto global de la AF en escala, puesto que la difusión parece ser lenta en los países en desarrollo y se necesitaría una muestra mucho mayor para extraer conclusiones definitivas, el artículo sustenta que, si bien la AF ha hecho posible la producción de una variedad de productos relativamente mayor, y tienen el potencial para reducir la escala de producto -el tamaño de lote-, no ha llevado a una reducción en las escalas de planta y firma -el volumen total de producción o capacidad de una planta o firma. De hecho, ha llevado a un aumento, en vez de a una disminución, de las escalas debido a la mayor eficiencia de las nuevas formas de automatización y los mayores costos fijos de capital y otros.

El artículo está estructurado en cinco secciones. Luego de la introducción se presenta una discusión conceptual de cómo el cambio técnico podría afectar las economías de alcance y la escala óptima producción. En una segunda sección se muestra el debate en la literatura especializada sobre la naturaleza del cambio técnico y su posible impacto sobre escala y alcance. Las siguientes dos secciones responden las preguntas centrales del trabajo. En la quinta se presentan los resultados sobre la difusión de la automatización flexible en la industria metalmeccánica de una muestra seleccionada de países en desarrollo, mientras que en la quinta se examina los datos referentes a los cambios en alcance y escala óptima a nivel de producto, planta y firma. El trabajo termina con algunos comentarios sobre el impacto de la AF sobre las posibilidades de industrialización de los países en desarrollo.

1. Conceptos básicos: cambio técnico, alcance y escala óptima

El impacto del cambio técnico se discute con frecuencia en términos de desplazamientos de la función de producción, pero también puede verse desde el lado de los cos-

tos. En este caso, dado un conjunto de precios de factores y/o insumos, el cambio tecnológico puede permitirle a la firma un mayor nivel de producción al mismo costo o el mismo nivel de producción a un costo menor.

En firmas multiproducto, el cambio técnico puede llevar a niveles menores de costos debido a ahorros de costos no sólo en la producción de bienes individuales, sino también en la producción conjunta de bienes. Baumol, Panzar y Willig (1988) y Bailey y Friedlaender (1982) argumentan que, hasta que no se desarrolló la refrigeración y el transporte rápido, no fue posible la explotación conjunta de lana y carne de ovino. Ellos añaden que el desarrollo de tecnologías que permiten cambiar de tareas y variar el orden de trabajo de las piezas, es uno de los factores principales que explican el logro de economías de alcance¹.

El Gráfico No. 1 muestra las superficies de costo total de producción de los mismos dos bienes Y_1 e Y_2 , antes y después de la introducción de una nueva tecnología. Ambas superficies de costos reflejan el costo total de producir diferentes combinaciones de Y_1 e Y_2 . Si sólo se produce Y_1 o Y_2 , entonces tenemos una curva de costos convencional, monoproducción, sobre cada eje horizontal OY_1 u OY_2 . La superficie de costos, C_2EF , es el resultado de usar el "antiguo" equipo especializado. La producción de una combinación de los bienes Y_1 e Y_2 implica un castigo en términos de costos, debido a los costos de puesta a punto y ajuste y al desperdicio de insumos en que se incurre. Hay "deseconomías de alcance", tal como se refleja en la forma del corte transversal que conecta los puntos E y F. Es decir, los costos de producir Y_1 e Y_2 por separado son menores que los de producir dichos bienes conjuntamente (concavidad de la curva transrayo).

La introducción de una nueva tecnología ahorradora de costos genera una nueva superficie de costos, C_1CD , más baja. Los costos totales caen debido a la reducción en costos de factores y/o insumos para cada bien individual, como lo muestra el desplazamiento

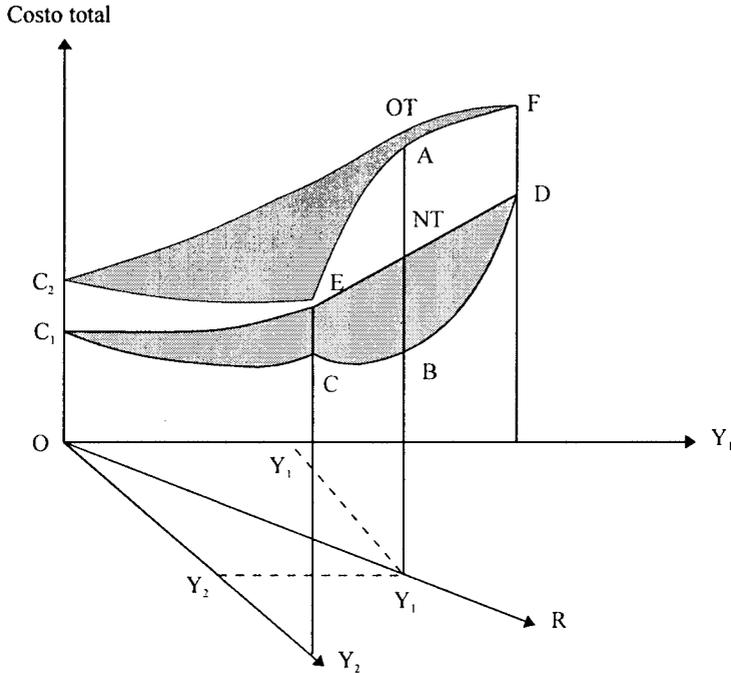
hacia abajo de la curva de costos de cada bien. Hay también una ganancia de economías de alcance. La producción conjunta de ambos bienes resulta ahora más barata que la producción separada de los mismos, como lo muestra la forma del corte transversal que une los puntos C y D (convexidad de la curva transrayo).

Hasta el momento, la discusión no considera el impacto del cambio técnico sobre escala. Stevenson (1980) y más recientemente, Stiglitz (1987) y Markowski y Jubb (1989), mencionaron la posibilidad de que el cambio técnico pudiera tener un "sesgo" en términos de escala. Según Stevenson (1980): "Tal sesgo podría alterar el rango en el cual se obtengan retornos a escala de un determinado grado -y en consecuencia, posiblemente alterar el nivel de producción al que se obtengan costos promedio mínimos"². Markowski y Jubb (1989) han hecho extensiva esta discusión a la situación multiproducto y han explorado algunas de las relaciones entre costos y escala resultantes.

Para ejemplificar cómo el cambio técnico puede afectar escala, seleccionemos una combinación fija Y^* de productos Y_1 e Y_2 , tal como la representada a lo largo del rayo OR en el Gráfico 1, y consideremos el comportamiento de los costos a medida que varía la escala de producción del bien compuesto Y^* -esto es, un "corte" de la superficie de costos perpendicular al plano Y_1, Y_2 y a lo largo del rayo OR. En la medida que no se cambian las proporciones de producto de ningún rayo en particular, por el hecho de trabajar con un bien "compuesto" Y^* , uno salva algunos de los problemas que presenta la agregación de dos bienes diferentes. Los cambios en el volumen de producción del bien compuesto ocurren en la misma proporción que los de sus componentes individuales. Podemos entonces calcular el costo unitario promedio para el bien compuesto Y^* , seleccionado para cada uno de los puntos a lo largo de este rayo o "corte", en la misma forma que en el caso de un solo producto (costo promedio del rayo).

Gráfico No. 1

ECONOMÍAS Y DESECONOMÍAS DE ALCANCE

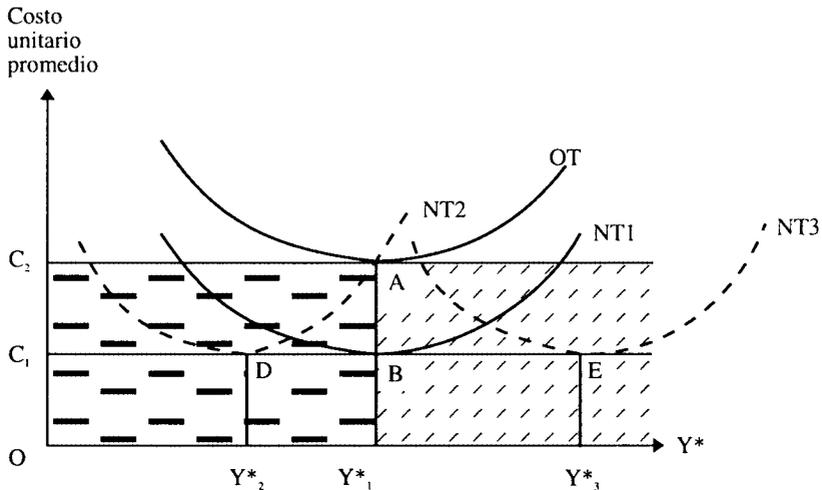


El Gráfico No. 2 muestra las curvas de costo unitario promedio OT y NT_1 , que corresponden a la producción del bien compuesto Y^* con la antigua tecnología y la nueva, cuyas escalas óptimas están indicadas por los puntos A y B, respectivamente. Como hemos dicho líneas arriba, se ha producido una reducción en los costos pero la escala de producción no ha sido afectada, puesto que la escala óptima sigue estando sobre la línea Ay_1^* . Sólo cuando la escala "óptima" se desplaza hacia algún punto dentro del área sombreada $OC_2Ay_1^*$, a la izquierda de la línea Ay_1^* , es decir, a un nivel de costo unitario menor o igual que con la antigua tecnología pero con menores volúmenes, se produce una caída en la escala óptima. Uno de tales casos está representado por el punto D en la curva NT_2 . Un ejemplo frecuentemente mencionado es el desarrollo del horno de arco

eléctrico, que permitió el establecimiento de un gran número de miniaceras que producían eficientemente 100,000 toneladas de acero por año, en contraposición a las aceras integradas convencionales que necesitaban producir varios millones de toneladas para ser eficientes (Acs *et al.*, 1990; Auty, 1992). Puede darse el caso inverso, que la introducción de una nueva tecnología lleve a un aumento en la escala óptima. En este caso, se logran costos unitarios promedio menores a niveles de producción mayores que con la antigua tecnología -el área sombreada a la derecha de la línea Ay_1^* . El punto E en la curva NT_3 ilustra esta situación. Stiglitz (1987) menciona el ejemplo de la industria química, donde las nuevas plantas, más eficientes, han tenido siempre mayor capacidad (que las que reemplazaban).

Gráfico No. 2

ESCALA ÓPTIMA DE PRODUCCIÓN DEL BIEN COMPUESTO Y*
BAJO TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS



En resumen, el cambio técnico tiene un triple impacto sobre costos y escalas óptimas. Puede alterar el peso de los factores y/o insumos en los costos unitarios para cualquier nivel de producción, para cualquier bien individual. Puede también afectar el costo de la producción conjunta de bienes y posiblemente, permita economías de alcance. Finalmente, puede variar la combinación técnica de factores o insumos, llevando a niveles óptimos de producción mayores o menores³. Los factores técnicos y de costos van a determinar, conjuntamente, si el cambio tecnológico tiene un impacto neutral o si lleva a una caída o un alza de las escalas óptimas. Por ejemplo, podría darse el caso de que se consigan escalas óptimas menores pese a la existencia de deseconomías de alcance, debido a la introducción de tecnologías que posibiliten reducciones drásticas en el costo unitario del capital y/o del trabajo. Alternativamente, costos totales de capital crecientes podrían llevar a situaciones donde las escalas óptimas sólo pueden ser alcanzadas con mayores volúmenes de producción.

Antes de concluir esta sección, hay dos puntos que mencionar respecto de las relaciones entre cambio tecnológico, costos y escala. Primero, dado que la variable costos puede referirse a costos de cambiar de un lote a otro, costos de producción, inversiones intangibles, como investigación y desarrollo y/o mercadeo, o una combinación de los mismos, y la variable producto aludir a uno o dos bienes producidos en una planta multiproducto, o el mismo bien producido en dos plantas distintas, el marco (teórico) desarrollado hasta ahora parecería ser de utilidad para analizar las tres dimensiones de escala planteadas por Scherer y Ross (1990): de producto (tamaño de lote), de planta (producción total de la planta) o de firma (producción total de la firma). El segundo punto tiene que ver con la aparente naturaleza del cambio tecnológico actual. Es muy posible que éste lleve no solamente al reemplazo de unidades de producción que producen un determinado rango de productos por otras que producen lo mismo. Las nuevas unidades de producción pueden ser capaces de producir

una variedad de productos mucho mayor que antes. Por ello, en realidad, podría haber interacciones y dilemas mucho más complejos entre costos, escala y tecnología.

2. El impacto de la automatización flexible sobre escala y alcance: la literatura sobre la 'tecnología moderna'

En la década de los ochenta, varios autores comenzaron a investigar acerca del efecto 'revolucionario' que la AF está teniendo sobre los procesos de producción en la industria manufacturera. La AF más difundida incluye máquinas herramientas de control numérico computarizado (MHCNC), tales como tornos y centros de maquinado -que integran en una sola máquina las operaciones de fresadora, taladradora, rectificadora, madrinadora y alisadora- para operaciones de corte de metales; *robots* industriales, es decir, manipuladores multifuncionales automáticos reprogramables; diseño/manufactura asistido por computadora (DAC/MAC), que posibilitan el dibujo y diseño electrónico interactivo y generan los parámetros ingenieriles y de producción necesarios para manufacturar los productos, y los sistemas de manufactura flexibles (SMF), esto es, la combinación de tornos CNC o centros de maquinado, un sistema de transporte entre unidades y una computadora central para controlar el proceso.

Esta literatura también sostiene que la AF tiene un impacto significativo sobre el alcance y la escala óptima de producción. A nivel de producto se argumenta que, a diferencia de las viejas tecnologías 'especializadas', la capacidad de la AF de integrar equipos y funciones y de ser programable ayuda a reducir el tamaño mínimo de lote, debido a que reduce el tiempo y los costos de puesta a punto de la máquina. Al reducirse los costos de puesta a punto, se vuelve económicamente factible producir una diversidad de bienes. Además, al posibilitar que las unidades de producción varíen con facilidad su rango de productos y empleen su equipo al máximo, la AF lleva a economías de alcance. A nivel de planta se afirma que la AF está contrayendo sustancial-

mente el tamaño de las máquinas y plantas, a la vez que hace posible que mucho equipo de capital se encuentre disponible en una mayor variedad de capacidades, lo cual, juntamente con las caídas en los precios de los semiconductores, está recortando drásticamente los costos del equipo de capital y posibilitando la aparición de unidades de producción eficientes más pequeñas. Ayres (1991) y Ayres y Miller (1983) sostienen que hay potencial para mayores reducciones de costos mediante la estandarización de máquinas herramientas y *robots* programables. Así pues, plantas y equipo de capital más pequeños, más divisibles y más baratos darán como resultado volúmenes óptimos de producto menores que con las viejas tecnologías.

Sin embargo, los críticos sostienen que no hay razón para que la AF conduzca a reducciones en las escalas de planta⁵. Se dice que no debe confundirse el tamaño físico de equipos y plantas con su tamaño económico. Si bien es cierto que los semiconductores, las computadoras y algunos productos electrónicos están experimentando un proceso de 'miniaturización' y que, al integrarse, las máquinas ocupan menos espacio y por tanto se vuelven más 'pequeñas', no se deduce de ello que la capacidad de dichas máquinas también caiga. Asimismo, mediante la reducción de los tiempos de puesta a punto y el aumento de la variedad, la AF puede estar permitiendo un incremento aún mayor de la capacidad total de la planta, de modo que las economías de escala y alcance a nivel producto estarían reforzando las economías de escala a nivel planta. Tampoco es necesariamente cierto que un equipo cueste menos porque sea físicamente más pequeño. Pese a la caída en el costo de los microprocesadores y las computadoras y a su mayor potencia, el costo del equipo de producción que hace uso de ellos todavía puede ser mayor que el de las tecnologías que reemplazan. Esto podría deberse a la mayor sofisticación, complejidad e integración de las nuevas tecnologías (NT), aún después de haberse logrado cierto grado de estandarización. Además, la disponibilidad de equipo con menores capacidades reduciría la escala óptima de planta, sólo si el costo del equipo hubiera

caído a la par que la capacidad. De lo contrario, sólo implica que las pequeñas empresas podrían tener acceso a estas tecnologías. En cualquier caso, dado que la 'mayor divisibilidad' está básicamente restringida a computadoras y productos electrónicos y que el impacto en el equipo de producción ha sido casi nulo, no hay razón *a priori* para esperar una tendencia significativa hacia la caída de escalas de producción.

Más aún, a nivel de empresa, la AF podría aumentar los costos "fijos" de investigación y desarrollo (I y D) y de mercadeo. Los costos de I y D aumentarían por la necesidad de un considerable cúmulo de conocimientos y la integración de antiguas disciplinas, como ingeniería mecánica, y nuevas, como ciencia de la computación y electrónica, para el diseño y el desarrollo de nuevos productos y procesos. La creciente complejidad técnica de muchos productos, la naturaleza original de algunos nuevos productos, los mayores esfuerzos de diseño que se requieren para obtener el máximo provecho de las capacidades manufactureras más flexibles y más rápidas, y las importantes inversiones en *software* y especialistas de cómputo que se requieren para combinar las funciones de diseño, manufactura y otras funciones de la firma, podrían estar presionando los costos de I y D hacia arriba. Los costos de mercadeo también podrían aumentar, debido a las mayores necesidades de información para vender y los mayores gastos de propaganda para hacer saber la disponibilidad de nuevos productos.

3. La difusión de la automatización flexible

3.1 La difusión de las máquinas herramientas de control numérico a nivel mundial

La difusión de las nuevas tecnologías ha sido muy rápida desde la aparición de máquinas herramientas de control numérico en los años sesenta, pero cobró mayor fuerza a partir de la llegada de las máquinas herramientas de control numérico computarizado a mediados de los setenta⁶. El consumo mundial de

máquinas herramientas creció a una tasa acumulada anual de 6.9% entre 1973 y 1993. La tasa de crecimiento del consumo de máquinas herramientas de los países desarrollados y los países en desarrollo fue superior al promedio, compensado por las tasas relativamente bajas de los países de Europa oriental, especialmente desde la caída del comunismo (ver Cuadro No. 1). El alto crecimiento del consumo en los países desarrollados se puede atribuir a la expansión del mercado japonés hasta 1990 y a partir de entonces, del mercado estadounidense. En el caso de los países en desarrollo, el crecimiento se explica por la demanda de las industrias coreana en los años setenta y china, a partir de mediados de los ochenta. El crecimiento del consumo habría sido mayor si no fuera por la fuerte caída de la demanda en Europa occidental y Japón, a comienzos de los años noventa.

En cuanto a la estructura de la demanda (ver Cuadro No. 1), la participación de los países desarrollados y la de los países en desarrollo en el consumo total aumentó a expensas de la industria de Europa oriental. La demanda en la antigua U.R.S.S. cayó de 19.6% de la demanda mundial en 1973 a 4.6% (Rusia y Ucrania) en 1993, en tanto que la demanda de Alemania Oriental prácticamente desapareció con el cierre de las industrias o con la adquisición de empresas por inversionistas extranjeros. Dentro de los países desarrollados, también se ha producido un cambio importante en la composición de la producción. La participación de Japón en el consumo aumentó de 13.9% en 1973 a 18% en 1990, mientras que la de los EE.UU. cayó de 14.3% a 11.1% en el mismo período. En cuanto a los países en desarrollo, entre 1976 y 1993, la participación de Corea y Taiwán en el consumo de máquinas herramientas aumentó de 0.8% a 4.7% y de 0.3% a 3.2% respectivamente, si bien el primero es importador neto y el segundo es exportador neto. Más importante aún, la participación de China en el consumo total de máquinas herramientas aumentó ocho veces, de 1.5% a 12%, entre 1973 y 1993. En 1993, China ocupó el quinto lugar en la producción mundial de máquinas herramientas y el segundo lugar en el consumo.

Cuadro No. 1

CONSUMO MUNDIAL DE MÁQUINAS HERRAMIENTA^a, 1973-93

	Consumo de máquinas herramienta (millones de US\$)					Tasa de crecimiento del consumo de máquinas herramienta (% promedio anual)					
	1973	1980	1985	1990	1993	1973-81	1982-86	1987-90	1991-93	1973-90	1973-93
Mundo	9920	24971	20180	42422	25651	9.8	0.2	6.0	-10.4	7.5	6.9
Países Desarrollados	6365	16111	12736	30271	17516	8.8	0.8	8.1	-10.7	7.4	7.0
Europa Occidental	3323	7539	4961	17025	8129	7.1	1.8	8.8	-13.6	6.7	6.5
América del Norte	1581	5867	4285	5537	5398	14.4	-3.2	2.8	-3.7	8.4	7.4
Asia	1461	2705	3490	7708	3988	3.9	4.7	13.1	-11.6	7.2	7.0
Europa del Este	3058	6271	5464	7320	1771	8.9	-1.0	1.1	-33.3	6.0	3.6
Países en Desarrollo	497	2590	1980	4832	6365	21.0	-0.6	4.3	7.3	12.9	13.4
Asia	197	1595	1556	3905	5736	25.8	5.6	7.7	9.3	18.4	17.7
América Latina	256	865	344	795	583	16.0	-11.7	-3.7	-4.6	7.1	6.4
África	44	230	81	132	46	18.1	-24.9	-7.7	-14.0	7.6	6.4

a. Incluye máquinas herramienta por deformación de metal.

Fuente: Nuestra propia elaboración sobre la base de datos del *American Machinist*, varios años.

A primera vista, el desempeño de los países en desarrollo en términos de producción y consumo parece impresionante. Sin embargo, un examen más detallado revela muchas disparidades entre ellos. Para comenzar, las muy altas tasas de crecimiento del consumo son principalmente resultado del crecimiento en Corea del Sur, China y Taiwán. Si excluimos los primeros dos países, la tasa de crecimiento del consumo de máquinas herramientas de los países en desarrollo sería similar a la de los países desarrollados entre 1973 y 1993, es decir 7%, pero sólo alcanzaría 0.7% entre 1982 y 1993. En segundo lugar, y quizás más importante, la calidad de las máquinas herramientas adquiridas por los países desarrollados y en desarrollo puede ser muy diferente. El ratio entre las MHCNC y el total de máquinas herramientas fue de 61% en promedio en los países desarrollados, si bien en países como

Japón y Alemania excedió el 70% (Alcorta, 1994; CEE, 1994). Entre los países en desarrollo, el ratio equivalente en Corea del Sur e India fue de 52.5% en 1992 y 26.4% en 1993 (Asociación de Fabricantes de Máquinas Herramientas de Corea, 1993; Rao y Deskmukh, 1994). Esto sugiere que la diferencia en el nivel de difusión de equipo automatizado entre países desarrollados y países en desarrollo, puede ser mucho mayor que lo que indican las estadísticas agregadas.

3.2 La difusión de la automatización flexible en países en desarrollo seleccionados

Resultados agregados

Nuestra investigación muestra que el uso de la AF comenzó a ser importante en los

países en desarrollo en la segunda mitad de los años 80. Si bien antes se habían realizado algunas importaciones de MHCNC, éstas fueron esporádicas y, según algunos proveedores, no está claro que dichas máquinas hayan sido usadas realmente. Hacia mediados de los años 80, algunas empresas de nuestra muestra habían comprado un torno CNC o un centro de maquinado, pero su uso dentro de las empresas no era generalizado. Es recién en la segunda mitad de los años 80, y especialmente hacia finales de la década, que la adopción de la AF se comenzó a extender a toda la industria y dentro de las empresas⁷. La producción de MHCNC en India aumentó de 65 unidades en 1985 a 683 unidades en 1991, cayendo a 425 unidades en 1993. Las importaciones aumentaron de 109 MHCNC en 1985 a 252 en 1990, y cayeron a 73 en 1992. En Turquía, las importaciones de MHCNC crecieron de 334 unidades en 1989 a 3,332 unidades en 1993. En Venezuela, el uso de MHCNC se duplicó entre 1988 y 1993. Si tomamos nuestra muestra de empresas como un todo, hallamos que el uso de MHCNC aumentó entre 200% y 400% entre 1988 y 1993, lo que representa una tasa anual de crecimiento de 20%-40%⁸.

Pese a la rápida expansión del uso de MHCNC en los países en desarrollo seleccionados desde finales de los años 80, el *stock* de MHCNC todavía permanece bajo en comparación con los países desarrollados. En el período 1992-1994 había 8,641 unidades en Brasil, 5,000 unidades en India, 22,471 en México, 10,000 en Tailandia, 8,565 en Turquía y 400 en Venezuela. El *stock* de MHCNC ascendía a 103,000 unidades en EE.UU. en 1983, 118,000 en Japón en 1984, 47,000 en el Reino Unido en 1987 y 20,000 en Suecia en 1989 (CEE, 1992; Edquist y Jacobsson, 1988).

Resultados de la muestra

El Cuadro No. 2 muestra la difusión de la AF por tipo de equipo en las empresas de la muestra⁹. El equipo de uso más generalizado eran las MHCNC cortadoras de metal y, dentro de ellas, los tornos CNC. En todos los países

se utilizaba DAC y MAC, aunque su uso estaba altamente concentrado en empresas de Brasil y México, las cuales tenían, en su mayoría, más de un 'asiento' cada una. En muchos casos las empresas de la muestra usaban DAC/MAC para diseñar y manufacturar soportes y plantillas, si bien algunas empresas lo usaban también para la adaptación de productos. Los *robots* se empleaban en México y Tailandia, básicamente como accesorios para la alimentación automática de las MHCNC. En Tailandia, los *robots* se usaban también para la manipulación de materiales, para transferir piezas entre estaciones y para trabajos de soldadura de arco. Cuatro empresas en Brasil y México usaban SMF, combinando centros de maquinado. Según la empresa brasileña que tenía el SMF, éste era uno de los pocos de su tipo en el país. Finalmente, empresas brasileñas, mexicanas y venezolanas utilizaban el control computarizado de producción para el planeamiento, programación y secuencia de producción.

Si tomamos el número de trabajadores por MHCNC como indicador del grado de automatización, observamos que las más automatizadas son las empresas mexicanas, sin distinción de tamaño, industria o tipo de propiedad (ver Cuadro No. 3). Sin embargo, el número de trabajadores por MHCNC promedio para toda la industria metal-mecánica es mayor en el caso de México que en los casos de Tailandia y Turquía. Las empresas venezolanas ocupan el segundo lugar, con casi el doble del número de trabajadores por MHCNC que las empresas mexicanas, aunque la muestra venezolana es menos 'representativa' que la mexicana porque el número de trabajadores por MHCNC promedio para toda la industria metal-mecánica es mayor. El relativamente alto nivel de automatización de las pequeñas empresas venezolanas de propiedad nacional, fabricantes de maquinaria y productos a pedido, parece explicar este resultado. Las empresas tailandesas y turcas tienen un alto nivel de difusión de MHCNC y la muestra parece ser también más 'representativa' de la población. A diferencia de otros países de la muestra, la difusión de MHCNC en estos países

Cuadro No. 2

DIFUSIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN FLEXIBLE POR TIPO DE EQUIPO
(Número de máquinas)

	Brasil	India	México	Tailandia	Turquía	Venezuela	Total
Total de Automatización Flexible	<u>349</u>	<u>93</u>	<u>555</u>	<u>323</u>	<u>133</u>	<u>66</u>	<u>1519</u>
Máquinas CNC para cortar metales (por corte de viruta)	<u>285</u>	<u>86</u>	<u>495</u>	<u>293</u>	<u>129</u>	<u>60</u>	<u>1348</u>
Tornos	n.d.	59	363	219	81	40	762
Centros de maquinado	18	19	132	56	22	12	259
Otros	n.d.	8	-	18	26	8	60
SMF	1	-	3	-	-	-	4
Robots	-	-	26	15	-	-	41
DAC/MAC	60	5	18	6	1	2	87
Instrumental electrónico	-	-	12	-	-	-	17
Control computarizado de la producción	3	-	1	-	-	4	8
Otros	-	2	-	9	3	-	14

Fuente: Entrevistas.

es relativamente más alta en la industria de autopartes. Las empresas brasileñas e hindúes son las menos automatizadas, si bien el ratio de trabajadores por MHCNC en India es más del doble que en Brasil. Mientras en el caso de Brasil, el relativamente bajo grado de automatización parece ser el resultado de la existencia de grandes empresas de autopartes con un alto número de trabajadores; en el caso de las empresas hindúes, la baja automatización parece ser un fenómeno más generalizado¹⁰.

El Cuadro No. 4 muestra la densidad de automatización por tamaño de empresa, industria y tipo de propiedad. En este caso, la densidad de automatización se refiere a la proporción del proceso de maquinado que se realiza con MHCNC. El medir el grado de automatización de este manera tiene la ventaja de concentrarse exclusivamente, en la etapa de producción que es afectada por el uso de MHCNC. Por ello, es una medida más precisa del grado de automatización. Una proporción superior al 75% puede considerarse como automatización casi total, en tanto que una

proporción igual o menor al 25% puede considerarse como automatización mínima¹¹. Se consideran empresas pequeñas a las que tienen 100 trabajadores o menos; y empresas grandes, aquellas con más de 500 trabajadores. La industria de autopartes incluye la manufactura de productos tales como ejes delanteros y traseros, discos y sistemas de freno, amortiguadores, transmisiones, anillos de pistones y camisas de cilindros, sistemas de combustión y monoblocks. La industria de maquinaria, en general, incluye la fabricación de válvulas de aceite y agua, bombas y motores eléctricos. La fabricación de productos metalmecánicos a pedido incluye la producción de moldes, la prestación de servicios de maquinado y algunas empresas que no pudieron ser clasificadas en ninguna de las otras dos categorías. Las empresas de propiedad extranjera son las que tienen una participación extranjera mayoritaria. Las empresas con participación extranjera son aquellas en donde ésta es minoritaria. Las empresas de propiedad nacional son las que se encuentran totalmente en manos de residentes locales.

Cuadro No. 3

**NÚMERO DE TRABAJADORES POR MHCNC PARA CORTAR METALES (POR CORTE DE VIRUTA)
POR TAMAÑO DE EMPRESA, INDUSTRIA Y PROPIEDAD**

	Brasil			India			México		
	No. de Empresas	No. de MHCNC	Trabajadores/ MHCNC	No. de Empresas	No. de MHCNC	Trabajadores/ MHCNC	No. de Empresas	No. de MHCNC	Trabajadores/ MHCNC
1. Total MHCNC (Muestra)	10	285	31.7	11	86	66.7	10	551	8.8
Por tamaño de empresa									
Grandes	5	222	36.3	4	55	87.5	4	379	9.8
Medianas	3	53	16.8	2	5	143.2	4	148	7.1
Pequeñas	2	10	10.0	6	26	8.0	2	24	3.5
Por industria									
Autopartes	4	143	51.0	7	68	61.6	6	431	8.4
Maquinaria en general	2	74	12.9	4	18	85.9	1	12	5.2
Productos a pedido	4	68	11.7	-	-	-	3	108	10.5
Por propiedad									
De propiedad extranjera	4	132	34.6	-	-	-	-	-	-
Con participación extranjera	-	-	-	4	56	92.5	3	127	7.4
De propiedad local	6	153	29.3	7	30	18.6	7	424	9.2
2. Total MHCNC Metal mecánica ^a	-	8641 ^b	159.9 ^c	-	5000	347.8 ^c	-	8988	31 ^c

(Continúa)

(Continuación)

	Tailandia			Turquía			Venezuela			Total		
	No. de Empresas	No. de MHCNC	Trabajadores/ MHCNC	No. de Empresas	No. de MHCNC	Trabajadores/ MHCNC	No. de Empresas	No. de MHCNC	Trabajadores/ MHCNC	No. de Empresas	No. de MHCNC	Trabajadores/ MHCNC
1. Total MHCNC (Muestra)	11	302	20.0	10	132	20.0	8	60	17.3	60	1416	20.7
Por tamaño de empresa												
Grandes	5	190	23.4	1	22	30.9	-	-	-	19	868	25.0
Medianas	5	104	14.9	7	104	18.1	4	38	22.2	24	452	15.3
Pequeñas	1	8	5.0	2	6	12.0	4	22	8.7	17	96	7.2
Por industria												
Autopartes	5	198	10.8	7	108	19.4	3	31	20.3	32	979	20.4
Maquinaria en general	3	64	24.1	1	4	47.8	2	9	14.8	13	181	24.5
Productos a pedido	3	40	58.8	2	20	17.3	3	20	14.0	15	256	19.2
Por propiedad												
De propiedad extranjera	-	-	-	1	22	30.9	-	-	-	5	154	34.1
Con participación extranjera	5	80	45.6	-	-	-	2	28	21.6	14	291	35.6
De propiedad local	6	222	10.8	9	110	17.8	6	32	13.5	41	971	14.1
2. Total MHCNC Metal mecánica ^a	-	10000	27.5 ^c	-	8565 ^d	23.5 ^c	-	400	230.7 ^c	-	41594	95.4

a. Metal mecánica incluye los CIU: Fabricación de productos metálicos (381), Construcción de maquinaria excepto eléctrica (382), Construcción de maquinaria y aparatos eléctricos (383) y Construcción de material de transporte (384).

b. Incluye un estimado de 1,500 máquinas importadas entre 1988-1994.

c. Datos de empleo para Brasil y Tailandia son de 1991, para India y México son de 1992 y para Turquía y Venezuela de 1993. Datos de empleo fueron proporcionados por ONUDI.

d. Stock de máquinas herramienta CNC acumuladas entre 1989-1993.

Fuente: Entrevistas.

Cuadro No. 4

**DENSIDAD DE AUTOMATIZACIÓN POR TAMAÑO DE EMPRESA,
INDUSTRIA Y TIPO DE PROPIEDAD**
(Número de empresas)

	Total	Tamaño de empresa			Industria			Tipo de propiedad		
		Grandes	Medianas	Pequeñas	Autopartes	Maquinaria en general	Productos a pedido	Propiedad extranjera	Participación extranjera	Propiedad local
Total	57	17	25	15	27	17	13	5	13	39
$x \leq 25\%$	17	8	7	2	8	6	3	2	6	9
$25\% < x \leq 50\%$	12	4	6	2	7	4	1	2	1	9
$50\% < x \leq 75\%$	14	4	6	4	7	4	3	1	3	10
$75\% < x$	14	1	6	7	5	3	6	-	3	11

Fuente: Entrevistas.

Una primera conclusión que podemos extraer de este Cuadro es que las empresas grandes no están altamente automatizadas, mientras que las empresas pequeñas sí lo están. Las empresas grandes en la muestra son más antiguas, con considerables inversiones y larga experiencia en la tecnología antigua. Una renovación del equipo de capital implica cambios radicales en términos del proceso de producción, organización laboral y habilidades requeridas. Al tener mejor acceso a información y un proceso más organizado de búsqueda y selección de nuevas máquinas, y dado un contexto de mucha incertidumbre, típico de los países en desarrollo, las empresas grandes parecen estar tomando decisiones de inversión con cautela y adoptando la AF de manera gradual. Una de las grandes empresas brasileñas, incluida en el estudio, mencionó estar considerando una renovación sustancial de su tecnología, pero en el contexto de hacer una línea de producción completamente nueva para un importante cambio de producto. La única empresa grande altamente automatizada es un antiguo fabricante mexicano de moldes para vidrio, parte de un gran grupo en la industria del vidrio, con una participación importante en el mercado de recipientes de vidrio a nivel mundial.

Las empresas pequeñas son, por lo general, más jóvenes y muchas de ellas emplearon AF desde el comienzo de sus operaciones. A diferencia de las empresas grandes, cuyos procesos de producción pueden incluir fundición, forja, tratamiento químico y ensamblaje en gran escala, las empresas pequeñas se concentran principalmente en la etapa de maquinado, si bien ocasionalmente realizan algunos procesos sencillos de ensamblaje. Algunas han sido creadas por ingenieros, gerentes y/o trabajadores calificados de empresas grandes o son miembros de grandes grupos industriales locales, a los cuales proveen hoy en día componentes o servicios de maquinado muy especializados. Así pues, al menos en un comienzo, las pequeñas empresas han hecho uso de la información y recursos disponibles en las empresas grandes y han iniciado sus operaciones con un mercado relativamente cautivo y

predecible, aunque muchas veces con la condición de que adoptaran las NT. Este fue el caso de Comet Ltd. y de K.R. Industrial Products Ltd. en India. Estas empresas fueron establecidas a inicios de los años 90 y equipadas con MHCNC a fin de producir componentes para TELCO, el mayor fabricante de camiones de India. Las empresas están ubicadas en un parque industrial cerca a TELCO y le venden exclusivamente a éste. Ambas empresas afirmaron que no hubieran sido aceptadas por TELCO como proveedores, si no utilizaran MHCNC.

Una segunda conclusión es que los fabricantes de productos metalmeccánicos a pedido están más automatizados que los de autopartes y maquinaria en general. La producción de moldes es una de las actividades más exigentes dentro de la metalmeccánica, debido a la dificultad en el maquinado, proveniente de la unquidad de cada molde y de lo intrincado del diseño. Las empresas que prestan servicios de maquinado manufacturan la mayor variedad de productos posible dentro de la industria, y normalmente reciben pedidos de lo más inusuales y precisos. Es crucial para estas empresas ofrecer la mejor calidad posible para tener éxito, algo que solamente puede alcanzarse con las NT. Algunas de estas compañías operan en mercados externos y, por lo tanto, deben someterse a los más altos estándares internacionales para continuar en el negocio. Una de las empresas venezolanas que proporciona servicios de maquinado para la industria del petróleo, lo que a veces requiere fabricar piezas vitales y de seguridad para las plataformas y los pozos petroleros, es evaluada constantemente por Petróleos de Venezuela (PDVSA), la empresa petrolera estatal venezolana. El fabricante de moldes de vidrio mexicano que mencionamos líneas arriba no sólo tiene el equipo de producción más reciente, sino que su DAC/MAC está conectado vía satélite con sus principales clientes, de modo que éstos puedan dar instrucciones precisas e introducir directamente y con exactitud las modificaciones requeridas.

Una tercera conclusión es que las empresas de propiedad extranjera no parecen

estar más automatizadas que las nacionales, si bien esta conclusión debe ser tomada con cuidado, pues sólo hubo unas pocas empresas con participación extranjera mayoritaria en la muestra. Este es un resultado sorprendente, uno esperaría que las empresas extranjeras, que en todos los casos son subsidiarias de grandes corporaciones multinacionales alemanas y estadounidenses, tengan acceso a mejor información y recursos gerenciales y financieros y, por tanto, usen la tecnología más avanzada en comparación con las empresas locales. Sin embargo, las empresas extranjeras en la muestra son en su mayoría, fabricantes de autopartes que han estado en operación entre 20 y 40 años, establecidas en la cumbre de la sustitución de importaciones y de los esfuerzos por desarrollar una industria local de automóviles. Son empresas que llegaron atraídas por mercados locales menos exigentes e hicieron grandes inversiones en tecnología hace algún tiempo y, por lo tanto, están atadas a las viejas tecnologías. Además, si bien los estándares de calidad están volviéndose más estrictos en la industria de autopartes, todavía no son tan precisos como en la manufactura de moldes o los servicios de maquinado, lo que permite a los fabricantes de autopartes adoptar una automatización gradual y selectiva, concentrándose primero en las secciones críticas. Algunas empresas han empezado a invertir recientemente en investigación de materiales y diseño de nuevos productos y a integrarse más con los ensambladores, todo lo cual puede llevar a cambios adicionales en la tecnología de producción más adelante. Tenemos el caso de un fabricante brasileño de transmisiones mecánicas para camiones medianos y ligeros, de propiedad estadounidense. La empresa se estableció en Brasil en 1953 y construyó en Sao Paulo una de las plantas más grandes de su tipo en el mundo, pero con una densidad de automatización de sólo 20%. La compañía empezó a invertir sustancialmente en AF en 1986/87 y poco después instaló un SMF de cuatro centros de maquinado, que utiliza para el maquinado de las cajas para su transmisión más reciente. Desde entonces, la inversión en

nuevas máquinas ha estado orientada exclusivamente hacia la AF y la tasa de adquisición de MHCNC se ha duplicado.

Las empresas de propiedad nacional y las de participación extranjera minoritaria parecen estar usando la AF como un medio para lograr competitividad, tanto doméstica como internacional. En el caso de empresas mixtas, la mayor parte de los estudios de países remarcó la decisiva influencia de los socios extranjeros en el nivel de utilización de MHCNC localmente. En el caso de empresas nacionales que producen para fabricantes originales de equipo (FOE), el cliente principal también tiene mucha influencia en el nivel de automatización de sus proveedores. En la mayoría de los casos esto implica una mayor, en vez de menor, automatización, aunque hallamos un caso donde se recomendó lo contrario¹². El gerente de CMI, fabricante tailandés de autopartes, a raíz de la introducción de cuatro centros de maquinado y debido al peso de algunas de las piezas, de hasta 40 kilos, decidió añadir un *robot* para alimentar las máquinas. El cliente japonés, aparentemente, no estaba convencido de que CMI pudiera hacer frente a las complejidades de introducir un *robot* e insistió en la carga manual. Finalmente, en el caso de las empresas nacionales que producen para el mercado local, éstas también están siendo empujadas a automatizarse para poder enfrentar a la competencia extranjera derivada de la liberalización de mercados, aunque volveremos a este tema más adelante.

En resumen, la difusión de la AF en los países en desarrollo ha sido muy rápida en años recientes, si bien no hay evidencia de que se esté acortando la brecha tecnológica con los países desarrollados. De todos los componentes de la AF, son las máquinas herramientas, y entre ellas los tornos, las que más se están difundiendo en los países en desarrollo. Los países de nuestra muestra que más se han beneficiado con la AF son México, Tailandia y Turquía. En los países seleccionados, las pequeñas empresas parecen estar más automatizadas que las más grandes, en buena parte en razón a su poca antigüedad, falta de compromiso con las viejas tecnologías y

el apoyo recibido de las empresas grandes. Al ayudar a las empresas pequeñas, las grandes pueden postergar la realización de inversiones de envergadura. Las empresas fabricantes de productos a pedido están más automatizadas que las fabricantes de autopartes o de maquinaria en general, debido a las exigentes condiciones de calidad de la industria. Finalmente, las empresas nacionales están más automatizadas que las extranjeras por las exigencias de los socios o clientes extranjeros o por las condiciones más competitivas que existen en los mercados domésticos¹³.

3.3 Factores que explican la difusión de la automatización flexible

A nivel macroeconómico, los dos factores más significativos que explican la difusión de la AF en los países en desarrollo son los cambios en el régimen comercial y las condiciones macro, y la mayor demanda agregada y de productos metalmeccánicos.

La creciente liberalización del comercio exterior en muchos países en desarrollo, durante los años ochenta, condujo a menores precios de las MHCNC y a una oferta más variada en países productores como Brasil e India. Un número cada vez mayor de usuarios reales y potenciales hallaron que las MHCNC importadas eran mejores en calidad y sofisticación y tenían precios alcanzables, lo que los atrajo a invertir en ellas. Las empresas brasileñas fueron muy firmes al señalar este factor como clave en su decisión de adquirir MHCNC. Además, la liberalización comercial aumentó el nivel de competitividad en la metalmeccánica mediante la competencia directa de bienes importados, y forzó a las empresas de la industria a reestructurarse y modernizarse o considerar el cierre. Algunas de estas empresas incluyeron la adopción de MHCNC, locales o extranjeras, como un elemento estratégico importante en su proceso de reestructuración.

Condiciones macroeconómicas estables y bajas tasas de interés fueron factores adicionales que estimularon la adopción de MHCNC, en especial en América Latina. La estabilidad macro-

económica y la menor inflación, especialmente a principios de los años noventa, redujeron el grado de incertidumbre para las empresas, permitiéndoles tener un horizonte de planeamiento de mediano, si no de largo, plazo, lo que dio como resultado inversiones en MHCNC relativamente mayores. Las empresas venezolanas y turcas mencionaron, en especial, las bajas tasas de interés y el acceso a financiamiento como factores adicionales para invertir en la AF.

Algunos países como India, México, Tailandia y Turquía se beneficiaron de un aumento en la demanda agregada de productos metalmeccánicos, especialmente vehículos, de fuentes locales y extranjeras. La demanda doméstica de vehículos aumentó fuertemente en la segunda mitad de los años ochenta en India, México y Turquía. Entre 1980 y 1991, la producción de automóviles y vehículos comerciales subió de 114,000 a 355,000 unidades en India, de 490,000 a 989,000 unidades en México, y de 51,000 a 242,000 unidades en Turquía (Jenkins, 1993). Una mayor demanda de vehículos generó poco a poco una mayor demanda de autopartes, debido a las normas de integración local, los menores costos unitarios locales y la cada vez mejor capacidad tecnológica doméstica. México se benefició, además, de un aumento en la demanda por su participación en el Tratado Norteamericano de Libre Comercio, que ha dado un empuje significativo a las exportaciones de productos metalmeccánicos, especialmente a los Estados Unidos. En 1990, México exportó vehículos por 2,600 millones de dólares y motores por 1,200 millones de dólares. Tailandia también ha encontrado en Japón un buen mercado para sus productos metalmeccánicos, incluyendo componentes para automóviles y motocicletas, motores eléctricos, bombas de agua y accesorios sanitarios. Además, la demanda agregada doméstica en Tailandia creció 10% al año entre 1987 y 1993.

A nivel microeconómico, la difusión de la AF se explica por razones de calidad, flexibilidad, productividad de las máquinas, costos laborales, ausencia de mano de obra calificada, y menores costos de producción y tiempos de entrega de fábrica (ver Cuadro No. 5).

Cuadro No. 5

**MOTIVOS DE ADOPCIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN FLEXIBLE
POR TAMAÑO DE EMPRESA, INDUSTRIA Y TIPO DE PROPIEDAD**
(Número de empresas)

	Total	Tamaño de empresa			Industria			Tipo de propiedad		
		Grandes	Medianas	Pequeñas	Autopartes	Maquinaria en general	Productos a pedido	Propiedad extranjera	Participación extranjera	Propiedad local
No. de usuarios potenciales	60	18	25	17	32	13	15	5	13	42
Calidad	55	15	23	17	32	11	12	5	10	40
Flexibilidad	31	10	13	8	22	5	4	4	8	19
Productividad de la maquinaria	22	6	11	5	13	5	4	1	5	16
Costos laborales	11	2	5	4	7	2	2	1	-	10
Falta de mano obra calificada	13	3	4	6	4	2	7	-	2	11
Costos de producción	21	9	8	4	11	3	7	4	3	14
Plazos de entrega de fábrica	17	8	8	1	15	-	2	3	6	18
Otros	3	1	1	1	-	3	-	-	1	2

Fuente: Entrevistas.

La calidad fue la razón más importante para la difusión de la AF en países en desarrollo. Cerca del 90% de las empresas dio ésta como una de las razones de adopción y la mayoría, la puso a la cabeza de la lista en términos de importancia. Pero la calidad tiene diferentes significados dependiendo del tipo de firma. Para las empresas de autopartes, la calidad es sinónimo de repetibilidad y durabilidad. A excepción de cuatro empresas de autopartes de la muestra que tenían líneas de transmisión, la tecnología predominante en las empresas en países en desarrollo, antes de la difusión de la AF, era máquinas herramientas convencionales acompañadas, ocasionalmente, de algunos tornos o taladros automáticos. Esto significaba que lograr consistencia en hacer la misma pieza dependía de la capacidad del maquinista para realizar la misma operación exactamente, de la misma manera, durante todo el día. Esto obviamente no era posible y, como resultado, surgían numerosos defectos, muchos de los cuales normalmente pasaban desapercibidos. Si consideramos que son varias las piezas que conforman una autoparte cualquiera, la probabilidad de obtener un producto final fallado era extremadamente alta. En el caso de empresas de autopartes venezolanas, la tasa de rechazo variaba entre 6% y 13% de todos los productos finales. Con MHCNC ya no ocurre esto. Se puede garantizar consistencia en el maquinado de una pieza, sin mucha pérdida en la capacidad de manipulación que da la mano humana. Igualmente, es más fácil cumplir con márgenes de tolerancia y especificaciones preestablecidas. De ahí, el interés de las empresas de autopartes de los países en desarrollo por adoptar MHCNC.

Para las empresas que fabrican productos a pedido, hablar de calidad es hablar de precisión, pues su principal problema técnico-económico es ser capaces de manufacturar piezas complejas con un alto grado de precisión. La tecnología predominante en estas empresas, antes de la adopción de la AF, consistía en máquinas herramientas convencionales, más aún que en las empresas de autopartes. Lograr las formas y márgenes de tolerancia

requeridos dependía de la habilidad del maquinista y de los instrumentos de medición relativamente sencillos que acompañaban a las tecnologías convencionales. Con frecuencia ocurrían errores, las tasas de rechazo eran altas y la producción de las piezas más difíciles tomaba mucho tiempo. Las MHCNC permiten hacer operaciones de corte con los márgenes de tolerancia más estrechos, requeridos sin intervención humana directa. El operador se limita a fijar los parámetros requeridos en la unidad de control, que en algunos casos tiene programas fáciles de usar. Si se cuenta con un programa o terminal DAC/MAC, el diseño exacto de la pieza y los parámetros de maquinado se pueden transferir directamente a la máquina herramienta, reduciendo aún más el papel del maquinista. El corte se convierte en una operación de mucha precisión, los errores se minimizan, se ahorra tiempo y material y se puede archivar la información para ser usada en el futuro.

Tener flexibilidad se refiere a tener la capacidad de producir un solo producto o rango de productos a una velocidad y en cantidades que guarden más relación con los cambios en la demanda, o de alterar la composición de la producción mediante la introducción de nuevos productos o la modificación de las propiedades de los existentes. La productividad de la maquinaria se refiere a la necesidad, expresada por muchas empresas, de maquinar mayor cantidad de producto por unidad de tiempo. Reducir los tiempos de entrega de fábrica se refiere al deseo, de algunas empresas, de reducir el período entre la colocación de un pedido y el momento en que el producto está listo para entrega.

Para las empresas fabricantes de autopartes es importante lograr flexibilidad, debido a la forma como se está organizando la industria de automóviles hoy en día. Cerca del 69% de las empresas de autopartes en la muestra, mencionaron que la mayor flexibilidad era una de las razones esenciales por las que adoptaron las NT. A medida que los ensambladores finales introducen técnicas de JAT, tratan de reducir sus inventarios pasándolos a su primer

nivel de proveedores, los que a su vez introducen JAT y pasan sus inventarios al siguiente nivel de proveedores, y así sucesivamente. Se espera que, al final, todas las empresas en cuestión minimicen inventarios y con ello, reduzcan los costos de almacenaje y el costo de oportunidad de tener capital inmovilizado en productos¹⁴. Un fabricante holandés de tableros de instrumentos que visitamos durante la preparación de este estudio, dijo que Ford había iniciado un sistema por el cual, dependiendo de la pieza, podía pedirles piezas con dos horas, un día, una semana o un mes de aviso. Por ello, las empresas de autopartes necesitan estar en capacidad de responder muy rápidamente a las necesidades cambiantes de sus clientes.

En las empresas fabricantes de maquinaria en general, y en cierta medida también en los fabricantes de productos a pedido, el problema principal era otro y por ello, el aumento de la productividad de la maquinaria y reducción de los tiempos de entrega de fábrica se citaron como las razones más importantes de adopción. Antes de la introducción de las NT, la fabricación de un producto cualquiera requería seleccionar las máquinas a emplear, establecer el orden en que éstas iban a ser usadas y la circulación de las piezas entre las máquinas. Tratándose de una sola pieza esta tarea parece relativamente sencilla, pues las piezas pueden seguir una secuencia ordenada de una máquina a otra. Pero si consideramos que el número de operaciones de maquinado podía fácilmente llegar a 15 ó 20 y que éstas eran lentas; que no sólo se maquinaba una pieza, sino varios cientos o miles; que estos tipos de empresas producían por lo general una mayor variedad de bienes que, por ejemplo, las empresas de autopartes; que algunas máquinas se utilizaban más que otras; que las máquinas se malograban; que el maquinado de piezas individuales debía hacerse de manera coordinada con el de otras con las que luego iban a ser ensambladas; que algunas operacio-

nes precisaban habilidades que sólo algunos operadores poseían; que la entrega de materias primas no se hacía siempre de acuerdo con lo programado; y, que algunos clientes tenían prioridad sobre otros; coincidiremos en que la producción era extremadamente compleja y se perdía mucho tiempo; en resumen, una 'pesadilla'. En la práctica, con las viejas tecnologías, las empresas fabricantes de maquinaria en general y las de productos a pedido eran muy desorganizadas e ineficientes.

Las empresas también mencionaron como razones de adopción de la AF algunas vinculadas a la mano de obra, como la reducción de los costos laborales o la compensación por la ausencia de mano de obra calificada. La reducción de los costos laborales fue importante en Turquía y Tailandia, donde las empresas estaban seriamente preocupadas por el alza de los salarios reales. En el caso de Turquía, el gobierno había otorgado aumentos salariales a los trabajadores manufactureros que llevaron a alzas de salarios reales de más del 40%, hacia finales de los años ochenta. La falta de mano de obra calificada fue particularmente crítica en la industria de productos a pedido en México, Tailandia y Venezuela. Durante los años setenta e inicios de los ochenta, Venezuela tuvo acceso a operarios calificados de países vecinos, especialmente de Colombia. Sin embargo, hacia finales de los ochenta, luego de varios años de ahorro y con la mejora de las perspectivas de trabajo en su país de origen, muchos de los trabajadores colombianos retornaron a su país, generando una seria escasez de trabajadores calificados en Venezuela.

Finalmente, cerca de un tercio de las empresas señaló también la reducción en los costos unitarios como uno de sus motivos claves en la adopción de las NT. La competencia en la industria metalmeccánica se estaba haciendo más cerrada y, con un número cada vez mayor de empresas capaces de brindar calidad similar en poco tiempo, la competencia de precios también estaba cobrando importancia.

4. Impacto sobre las economías de alcance y la escala óptima

4.1 Cambios en la escala de producto

La reducción en el tamaño de lote o 'caída en la escala de producto' es uno de los principales postulados de la literatura sobre la tecnología moderna y un objetivo deseable de por sí, pues refleja 'sensibilidad' al mercado (Kaplinsky, 1990; 1995). De ahí la pregunta: ¿está cayendo el tamaño de lote en los países en desarrollo? Para responder a ella, se preguntó a las empresas sobre cambios en los tamaños de lote con viejas y nuevas tecnologías.

De un total de 44 empresas que proporcionaron información respecto a cambios en el tamaño de los lotes, 43% manifestó una reducción en el mismo, en 41% no había ocurrido cambio alguno y en 16% de las empresas, el tamaño de lote había aumentado (ver Cuadro No. 6). Las empresas donde más frecuentemente se registraba aumento o no cambio en el tamaño de lote eran empresas pequeñas, empresas de productos a pedido, o empresas que habían manifestado haber adquirido AF a fin de aumentar la productividad de la maquinaria. Con ello, la evidencia sugiere que la difusión de la AF no conduce necesariamente a reducciones en la escala de producto.

El tamaño de lote depende de una serie de factores. El tamaño de la demanda, la programación de las entregas y la disponibilidad de piezas de fundición fueron los factores más comúnmente mencionados, que influenciaban el tamaño de lote. La magnitud de la demanda era evidente en el caso de empresas hindúes y venezolanas. Un fabricante hindú de válvulas calculaba el tamaño de sus lotes tomando como base la demanda mensual de cada tipo de válvula. Las válvulas

normales, pequeñas, con alta demanda, se producían en lotes muy grandes, en tanto que las válvulas grandes o especializadas, algunas de las cuales se hacían con especificaciones requeridas por el cliente, se producían en lotes pequeños. Un fabricante monopolístico venezolano de válvulas de gas domésticas estandarizadas aumentó el tamaño de sus lotes cuatro veces, a consecuencia de un rápido incremento en la demanda de sus productos. Tan es así que este fabricante estaba dedicando todas sus MHCNC a la manufactura de un solo producto, si bien con variaciones en el tamaño de la válvula de gas. En general, si el tamaño de lote era muy pequeño o muy grande en relación con la demanda, con la adopción de la AF era ajustado para estar más a tono con ella.

En el caso de algunos fabricantes de autopartes, el tamaño de lote estaba mayormente determinado por los programas de entrega exigidos por el ensamblador final. Antes, los fabricantes de automóviles solían colocar grandes órdenes, lo que causaba la producción de autopartes en grandes lotes. Hoy en día, los ensambladores finales han reducido el tiempo entre entregas como parte de su estrategia de JAT, ocasionando caídas en el tamaño de lote de sus proveedores, como en el caso de algunas empresas mexicanas donde éste cayó de varios miles de unidades a cerca de cien unidades.

Las empresas hindúes también señalaron que la disponibilidad de las piezas de fundición afectaba el tamaño de lote. Por lo común, las piezas de fundición de buena calidad se hallaban disponibles sólo en pequeñas cantidades, algo que las empresas debían tener en cuenta al determinar el tamaño de lote. Además, el abastecimiento era errático y con frecuencia, las empresas se veían obligadas a producir en lotes de tamaño menor que el deseable.

Cuadro No. 6

CAMBIOS EN LA ESCALA DE PRODUCTO POR TAMAÑO DE EMPRESA, INDUSTRIA Y TIPO DE PROPIEDAD
(Número de empresas)

	Total	Tamaño de empresa			Industria			Tipo de Propiedad		
		Grandes	Medianas	Pequeñas	Autopartes	Maquinaria en general	Productos a pedido	Propiedad extranjera	Participación extranjera	Propiedad local
Total	44	14	21	9	21	11	12	3	10	31
Disminución	19	7	11	1	11	5	3	3	4	12
Aumento	7	1	3	3	1	2	4	-	1	6
Sin cambios	18	6	7	5	9	4	5	-	5	13

Fuente: Entrevistas.

Debemos destacar, sin embargo, que aún hay algunas limitaciones a la reducción en el tamaño de lote. Producir un nuevo lote requiere invertir en soportes, agarraderas, plantillas, herramientas y planeamiento del sistema, todo lo cual puede no ser rentable si éste es muy pequeño o el precio de venta muy bajo. Algunos fabricantes mexicanos de autopartes habían establecido que fueran los clientes los que pagaran por los soportes, agarraderas y plantillas. Otra empresa mexicana tenía como regla práctica que la inversión en soportes, agarraderas y plantillas no debía ser mayor al 7% de los costos de producción, de lo contrario la pieza no se producía. De hecho, la investigación halló que el uso de reglas prácticas como ésta, para determinar el tamaño de lote, era algo bastante común entre las empresas en los países en desarrollo. Una empresa brasileña tenía como regla producir al menos tres meses de ventas, mientras otra tenía un tamaño mínimo de lote de ocho días por cada diez horas de tiempo de puesta a punto de las máquinas. En Turquía, muchas empresas operaban con tamaños de lote equivalentes a un día de producción, ya que era preferible ajustar y programar las máquinas en la mañana y usarlas sin modificaciones durante el segundo y tercer turno, si fuera necesario.

4.2 Cambios en la variedad de producto o alcance

Tal como lo anunciaba la literatura, el alcance o variedad de productos aumentó en la mayoría de las empresas de la muestra que proporcionaron información. El Cuadro No. 7 muestra el número de productos finales y familias de productos, es decir, todos los principales tipos de productos finales diferentes y el número de piezas distintas que se maquinaban (las distintas piezas y componentes que entran en los productos finales).

La variedad de producto aumentó para todo tamaño de empresa, industria y tipo de propiedad, si bien el incremento fue algo más pronunciado entre las empresas de autopartes y las empresas de propiedad de residentes locales. En el caso de las empresas de autopartes, la adopción de la AF condujo a una composición

más variada de la producción, ayudada por los menores tiempos de puesta a punto y la flexibilidad de la AF, la reducción en los ciclos de vida de muchos vehículos y las demandas de los ensambladores finales. Un fabricante mexicano de autopartes duplicó los modelos de freno a 180, aumentó de 5 a 13 los modelos de cigüeñales y de 42 a 403 los modelos de ejes. Los fabricantes brasileños de transmisiones y anillos de pistón lanzaron más productos nuevos desde la adopción de la AF, que los lanzados desde su establecimiento en los años cincuenta. La variedad de producto siempre fue una característica de los fabricantes de maquinaria en general y los productores de bienes a pedido, pero ahora las empresas se están desplazando de una composición de producto rígida, basada en catálogos, a una oferta de bienes y servicios más flexible y orientada hacia el cliente. El otorgar exactamente lo que el cliente desea se ha convertido en una ventaja competitiva especial en estas industrias.

Es preciso mencionar que, si bien hay indicaciones claras de aumento en la variedad de producto, no en todos los casos mayor variedad equivale a nuevos productos. Dos empresas mexicanas de autopartes señalaron que sus datos sobre variedad de producto incluyen tanto nuevos productos como variaciones de productos existentes. Para la mayoría de los fabricantes de autopartes restantes, los datos se referían principalmente a variaciones en el tamaño de los productos existentes. Las dos empresas que habían lanzado nuevos productos manifestaron que ello requirió un esfuerzo significativo en el desarrollo del producto. Anteriormente habían copiado diseños de otros fabricantes, pero tan pronto como empezaron a desarrollar sus propios productos debieron iniciar su propio departamento de ingeniería y trabajar muy cercanamente con los ensambladores de automóviles. Lo mismo manifestaron las empresas tailandesas, sin importar la industria. Según ellas, la AF facilita enormemente la introducción de nuevas variantes de un mismo producto, y hace especialmente sencillo moverse entre rangos de producto que requerían altos niveles de precisión, pero, con raras excepciones, la introducción de productos nuevos no era algo corriente.

Cuadro No. 7

**CAMBIOS EN LA VARIEDAD DE PRODUCTO O ALCANCE POR TAMAÑO DE EMPRESA,
INDUSTRIA Y TIPO DE PROPIEDAD**
(Número de empresas)

	Total	No. de piezas maquinadas			Total	No. de productos o familias de productos		
		Disminución	Sin cambios	Aumento		Disminución	Sin cambios	Aumento
Total por tamaño de empresa	24	-	1	23	32	2	5	25
Grandes	5	-	0	5	10	0	2	8
Medianas	13	-	1	12	16	1	3	12
Pequeñas	6	-	0	6	6	1	0	5
Total por industria	24	-	1	23	32	2	5	25
Autopartes	15	-	0	15	20	1	3	16
Maquinaria en general	4	-	0	4	5	0	0	5
Productos a pedido	5	-	1	4	7	1	2	4
Total por propiedad	24	-	1	23	32	2	5	25
Propiedad extranjera	3	-	0	3	3	1	0	2
Participación extranjera	2	-	0	2	7	0	1	6
Propiedad local	19	-	1	18	22	1	4	17

Fuente: Entrevistas.

Un segundo punto que surgió al analizar la variedad de producto, fue el aumento en la integración vertical. Junto con los datos sobre variedad de producto, obtuvimos información acerca de cambios en el número de distintas piezas o componentes fabricados. La mayoría de las empresas que mostraron un alza en la variedad de producto, también mostraron un incremento en la manufactura de las piezas y componentes que eran parte de esos productos. Pero, más importante aún, la tasa de aumento de la manufactura de piezas y componentes era mucho más alta que la de nuevos productos. Considerando que no todos los 'nuevos' productos son tales, sino variedades de productos existentes, y suponiendo que el número de piezas y componentes no ha cambiado de modo significativo, podemos concluir que las empresas se están integrando verticalmente hacia la producción de sus propias piezas y componentes.

De hecho, muchas empresas afirmaron lo anterior abiertamente. Dada la mayor productividad de la maquinaria y la baja utilización de capacidad, temas a los que volveremos luego, las empresas debieron reducir la subcontratación y asumir ellas mismas la producción de casi todas las piezas y componentes principales. Las empresas tailandesas manifestaron que se estaban integrando progresivamente hacia atrás porque ahora podían producir algunos de los componentes más complejos, que antes solían importar o comprar a otras empresas locales. La tendencia hacia mayor integración vertical se constató también en India, México, Brasil y Turquía.

Una mayor integración vertical no quiere decir, sin embargo, ausencia de subcontratación. Ya se ha señalado que muchas de las pequeñas empresas, surgidas como producto de la AF, fueron establecidas con el solo propósito de proveer componentes especializados o servicios de maquinado a empresas más grandes. También las empresas que estaban al máximo de su capacidad o enfrentaban súbitas alzas de demanda (picos), recurrían a la subcontratación para cumplir con sus clientes. Finalmente, las empresas también veían en la subcontratación

una forma de evitar costos 'sociales'. Una empresa turca empezó a subcontratar a ex-empleados para realizar algunas de las etapas más sencillas de su producción, a fin de reducir costos de producción; puesto que por lo general, los pequeños subcontratistas no deben hacer frente a cargas de seguridad social y otros impuestos laborales. Lo que una mayor integración vertical puede significar es que, como las empresas de la muestra tienen una capacidad productiva mayor, se produzca una reducción general en la actividad de subcontratación. Asimismo, puede significar que sólo se busque subcontratar empresas que cuenten con MHCNC, lo cual, en términos de la industria metalmecánica en general, implicaría una salida de empresas que no han adoptado AF de manera significativa mayor que el ingreso de empresas con equipo CNC.

En resumen, si bien la AF ha permitido cierto aumento en el alcance, éste ha consistido en variaciones de productos existentes e integración vertical. La producción de productos completamente nuevos parecería requerir capacidades de innovación a nivel producto, que estaban más allá de la mayoría de las empresas de nuestra muestra.

4.3 Cambios en la escala de planta y firma

En cuanto al impacto de la AF en la escala y la escala óptima mínima de planta, nuestra evidencia muestra un cuadro muy diferente al pintado por la literatura. Para comenzar, más del 90% de las empresas que proporcionaron datos sobre cambios en la escala de producción o en la capacidad de producción mostraron aumentos en la escala, y un tercio de ellas había más que duplicado la producción o la capacidad (ver Cuadro No. 8). Pese a no proporcionar datos precisos, once empresas hindúes y diez tailandesas aseguraron también que la escala de producción estaba aumentando con las NT. En total, 49 de las 51 empresas con las que se trató el tema de escala, admitieron que ésta se hallaba en aumento. Dos empresas con más de una planta cada una, señalaron que la escala había aumentado en todas sus plantas. Al otro extremo, una de las dos empresas venezolanas que

registraron reducciones en escala, estaba teniendo serios problemas laborales y había iniciado un proceso de liquidación.

Un aumento en la escala de producción no es, sin embargo, suficiente para concluir que la escala óptima también haya aumentado. Es necesario, además, establecer si el aumento en la escala se ha producido a costos unitarios menores o iguales. Si bien fue difícil obtener datos de costos unitarios, algunas empresas nos proporcionaron datos o indicaciones sobre las tendencias en los costos unitarios luego de la adopción de las NT.

El Cuadro No. 9 muestra que, de un total de 32 empresas que proporcionaron datos sobre costos unitarios, en 23 de ellas los costos unitarios no habían variado o habían caído. En realidad, en 21 empresas los costos unitarios habían caído. Todas eran empresas donde la escala había aumentado. Las empresas que registraron alzas en los costos unitarios citaron una serie de razones para ello. Un fabricante brasileño de válvulas de aceite que había aumentado su producción con mayores costos unitarios, mencionó que los mayores costos se debían en parte a la mejor calidad de sus productos. Ahora había más capital, medido por el número de operaciones de maquinado realizadas en cada producto, y más mano de obra calificada por tonelada de producto. De haberse mantenido el número de operaciones de maquinado y el uso de mano de obra calificada

al mismo nivel que con la vieja tecnología, los costos unitarios habrían caído. Además, la empresa estaba operando con un alto nivel de capacidad instalada ociosa, lo que empujaba los costos unitarios aún más hacia arriba.

Otras empresas que habían registrado alzas en los costos unitarios también mencionaron el problema de la baja tasa de utilización de la capacidad. Un subcontratista mexicano, que daba servicios de maquinado y que había experimentado un alza de 15% en los costos unitarios, estaba operando a 70% de la capacidad; mientras que una empresa turca que registró un alza similar estaba trabajando a 60% de la capacidad. Estas empresas indicaron que el equipo de capital había ocasionado costos fijos muy altos y que con mayores tasas de utilización, los costos unitarios habrían caído. El problema de baja tasa de utilización de la capacidad estaba presente también en empresas que habían logrado reducir los costos unitarios. Las empresas brasileñas estaban operando a cerca de 50% de la capacidad, debido a una demanda doméstica deprimida. Las empresas mexicanas estaban operando, en promedio, a dos tercios de la capacidad, pero en algunas plantas el grado de utilización era sólo de 30%. Las empresas turcas se hallaban algo mejor, con una tasa de utilización de 80% aproximadamente, pero esto debe haber cambiado sustancialmente a raíz de la recesión en que entró la economía hacia finales de 1994.

Cuadro No. 8

CAMBIOS EN LA ESCALA DE PRODUCCIÓN POR DENSIDAD DE AUTOMATIZACIÓN
(Número de empresas)

Nivel de automatización	Total	Aumento			Disminución	Sin cambios	
		Total	<50%	50%-100%			>100%
Total	28	26	7	10	9	1	1
x ≤ 25%	3	3	2	1	-	-	-
25% < x ≤ 50%	7	7	1	4	2	-	-
50% < x ≤ 75%	9	8	2	3	3	1	-
75% < x	9	8	2	2	4	-	1

Fuente: Entrevistas.

Cuadro No. 9

CAMBIOS EN LA ESTRUCTURA DE COSTOS UNITARIOS
(Número de empresas)

	Disminución	Aumento	Sin cambios	Total
Costos unitarios totales	21	9	2	32
Capital	4	33	-	37
Trabajo	29	7	2	38
Insumos	18	6	2	26
Otros	3	11	6	20
Administración y generales	10	6	1	17

Fuente: Entrevistas.

En conclusión, las escalas y las escalas óptimas mínimas de planta y firma parecen estar aumentando. Aun en empresas donde los costos unitarios habían aumentado, parecería haber lugar para reducir los costos unitarios si se eleva el grado de utilización de la capacidad instalada, que aún era bajo en muchas empresas. Así pues, parece ser que la AF no está conduciendo hacia caídas en las escalas óptimas de producción, sino a aumentos en las mismas.

4.4 Factores que explican los aumentos en la escala de planta y firma

Factores técnicos

Uno de los factores principales que explican los cambios en escala y alcance ha sido la reducción en los tiempos de puesta a punto. Como ilustración, tomemos el caso de la caja de cambios fabricada por una empresa de tamaño mediano.

Con las tecnologías convencionales, el maquinado de la caja de cambios requería dos operaciones de fresado vertical, dos operaciones de rectificado, tres operaciones de fresado y rectificado múltiple, una operación de taladrado radial, una operación de alisamiento y un lavado final. Cada una de estas operaciones

se llevaba a cabo en máquinas separadas o precisaba cambiar herramientas, y volver a poner a punto cualquier máquina que hubiera sido usada para una operación diferente. Algunas de las operaciones, no todas, necesitaban seguir una secuencia fija.

En este proceso de maquinado, la puesta a punto incluía ajustar las máquinas, cambiar las herramientas, cargar y descargar la pieza de trabajo y fijarla a la máquina herramienta, medir la pieza de trabajo y hacer cortes de prueba. Como en la mayoría de los casos estas actividades de ajuste se hacían a mano, se requería un tiempo de puesta a punto cada vez que se realizaba la misma operación de maquinado, tiempo que se reducía progresivamente cuanto mayor era el número de veces, debido al aumento de la destreza por repetición.

El tiempo de puesta a punto acumulado en el proceso de maquinado de una caja de cambios llegaba a cerca de 3,500 minutos para un lote de 170-180 unidades, lo que representaba 9% del tiempo de maquinado. Este porcentaje no era mucho menor cuando se producían lotes de 1,000 unidades, puesto que una parte significativa del tiempo de puesta a punto provenía de la carga y descarga que debía hacerse con cada pieza.

Con los nuevos centros de maquinado de CNC, el tiempo de puesta a punto para el mismo número de cajas de cambios ha sido reducido a 3 horas, o 2% del tiempo de maquinado, pues estos centros pueden fresar, taladrar, matricular o roscar y alisar sin mover la pieza de trabajo de su emplazamiento en la máquina. Sigue siendo necesario maquinar en las dos caras de la pieza de trabajo, pues un lado está siempre asegurado al soporte, por lo que hay que dar vuelta a la pieza para maquinar. Con todo, se obtiene la misma pieza que antes, luego de dos operaciones de maquinado y un lavado. En este caso, la puesta a punto consiste en fijar las herramientas al centro de maquinado, instruir a la máquina para realizar las operaciones necesarias y una medición electrónica de las piezas de fundición. La carga y descarga de las piezas de trabajo en los soportes y camas se puede hacer ahora fuera de la máquina, si bien, como todavía consume mucho tiempo, debe ser aparejada con los tiempos de maquinado para asegurar un flujo uniforme de piezas. El tiempo de puesta a punto se puede reducir aún más, si se equipa el centro de maquinado con un cambiador automático de herramientas que permita cargar las herramientas mientras se maquinan otras piezas de trabajo.

De un total de 62 empresas, 42 registraron caídas sustanciales en los tiempos de puesta a punto, de varias horas a pocos minutos. Sólo dos empresas turcas productoras de moldes a pedido experimentaron aumentos en los tiempos de puesta a punto, según explicaron, porque las tolerancias eran muy pequeñas, dificultando la programación, la cual debía ser modificada constantemente durante el proceso de corte. Además, cada molde requería herramientas específicas. Como en otras industrias, hay varias corridas de prueba hasta que los ingenieros y operadores de las máquinas quedan satisfechos de que se han logrado las medidas correctas. Sin embargo, siendo cada pieza única, esto debe hacerse cada vez que se fabrica un nuevo molde. En el caso de las empresas hindúes, la reducción en los tiempos de puesta a punto fue en general

algo menor que en los otros países, porque ninguna de las empresas de la muestra tenía un cambiador automático de camas. La reducción en los tiempos de puesta a punto tiene el doble efecto de reducir los costos fijos iniciales de un nuevo lote y de permitir a las máquinas estar más tiempo cortando metal, con lo que se aumenta la capacidad de producción.

El segundo factor técnico ha sido el aumento en la velocidad de maquinado. En el caso de las cajas de cambios, antes se maquinaban dos tipos, uno requería 180 minutos de tiempo acumulado de maquinado y el otro tomaba 240 minutos. Con la AF, el tiempo total de maquinado es 52 y 72 minutos para cada tipo de caja de cambios, respectivamente. Las 36 empresas de nuestra muestra, que dieron datos sobre este punto, indicaron que la velocidad de maquinado había aumentado. Una empresa turca proporcionó datos sobre tiempos de maquinado para 22 piezas estándar distintas. Los ahorros en tiempo de maquinado de estas piezas promediaban 68% y fluctuaban entre 46% y 86%. Tomando la muestra como un todo, los ahorros en tiempo de maquinado oscilaban entre 15% y 90%.

Otro factor que ha permitido lograr mayores escalas ha sido la administración e ingeniería de la producción. Sigamos con el caso de las cajas de cambios. Ya hemos señalado las complejas condiciones, casi de 'pesadilla', en las que se desarrollaban los procesos de planeamiento, programación y manufactura, y la desorganización e ineficiencias que ocasionaban. En el caso de las cajas de cambios, el ratio de utilización de la maquinaria promediaba 60% (incluyendo el tiempo consumido en poner las máquinas a punto), los operadores pasaban mucho tiempo alejados de las máquinas sin hacer nada, la fábrica estaba llena de productos en proceso, los materiales se desperdiciaban y nadie sabía donde hallar las herramientas adecuadas, todo lo cual se reflejaba en periodos de entrega (de fábrica) de las cajas de 13 semanas y aún más, para la caja de cambios completamente armada.

Con la AF, la administración e ingeniería de la producción se han facilitado gran-

demente. Hay muchas menos máquinas por las cuales preocuparse y, en algunas empresas, las computadoras y los programas de administración de la producción permiten una mejor coordinación del proceso. Los ratios de utilización de la maquinaria aumentaron en catorce empresas entre 7% y 98%. En cuatro empresas hindúes, la utilización de la máquina aumentó en promedio entre 75% y 88%. Quedan todavía por resolver problemas antiguos, como los de programación, secuencia y selección de las máquinas a emplear, y han surgido nuevos problemas, como el de administración de las herramientas, pues las herramientas se están convirtiendo en un elemento de costos importante, pero la complejidad de esta tarea ha sido reducida. Las mejoras se aprecian en la planta de hoy en día, pues la manufactura se ha vuelto un proceso mucho más ordenado y limpio, con menores inventarios de productos en proceso y terminados, y con los trabajadores pasando más tiempo operando la máquina. Como resultado de ello, los plazos de entrega de fábrica manifestados han caído significativamente. Todas las empresas venezolanas y mexicanas han reducido sus plazos de entrega de fábrica a aproximadamente, la cuarta parte de lo que éstos eran anteriormente¹⁵.

La administración de la mano de obra también se ha simplificado porque hay menos trabajadores, y un trabajador puede supervisar más de una máquina. Por ello ha sido posible y necesario, dados los altos costos de capital, como veremos más adelante, aumentar el número de turnos de trabajo. Los turnos de trabajo han aumentado, en promedio, de cerca de 1.5 por día con las viejas tecnologías a 2.5 por día con las nuevas.

En resumen, la caída en los tiempos de puesta a punto hizo posible reducir el tamaño de lote y aumentar la variedad de producto, pero al mismo tiempo llevó a mayor productividad de la maquinaria. Esto, combinado con el hecho que las nuevas máquinas eran mucho más rápidas que las tecnologías convencionales entonces en uso, que se hizo más sencillo organizar la planta y que se aumentó el número de turnos de trabajo, condujo a ganancias sig-

nificativas en términos de producción o capacidad.

Factores económicos

El Cuadro No. 9 también muestra los cambios en la estructura de los costos unitarios para varias empresas de nuestra muestra. Varias conclusiones saltan a la vista. Primero, como era de esperarse, los costos de capital se convirtieron en un factor muy significativo de costo unitario. Para una empresa mexicana, adoptar la AF implicó triplicar la inversión, debido al alto costo del nuevo equipo. Oilhydro, un fabricante brasileño de válvulas de aceite, declaró una inversión anual promedio en MHCNC de 1.1 millones de dólares desde que comenzó a adquirirlas, mucho mayor que cualquier otra inversión de capital hasta entonces. Nueve empresas hindúes registraron aumentos en gastos de capital de entre 10% y 250%, desde el momento de adopción de las NT. Los mayores costos de capital se reflejaron también en un aumento significativo de los costos de depreciación. En resumen, los mayores costos fijos de capital constituyen el factor económico más importante que explica los aumentos en la escala óptima.

El aumento en los costos unitarios de capital tiene su origen en un equipo CNC relativamente más 'caro'. En los EE.UU., el ratio entre el precio de compra real de una MHCNC y el de una máquina herramienta sin control numérico era 18:1 en 1973. Este ratio cayó marcadamente, pero se mantenía todavía en 10:1 en 1985, principalmente a causa del costo de los centros de maquinado. El ratio equivalente para un torno cayó de 8:1 a 4:1 en el mismo período (Ayres, 1991). En Japón, en 1990-91, el mismo ratio promedió 6.9:1 para máquinas herramientas y 4.2:1 para tornos (Asociación de Constructores de Máquinas Herramientas de Japón, 1993). En Corea, el costo promedio de un torno CNC local era US\$ 49,900 en 1992 y el de un torno sin control numérico US\$ 9,940 (Asociación de Fabricantes de Máquinas Herramientas de Corea, 1993). En India, el ratio entre el precio de un torno CNC local y el de

un torno sin control numérico era 7.6:1 en 1990 y 7.1:1 en 1991 (Asociación de Fabricantes de Máquinas Herramientas de India, 1993). Finalmente, en Brasil, el costo de un torno CNC ROMI hecho localmente era US\$ 90,000, mientras que un torno manual universal costaba US\$ 40,000.

Todas las empresas de la muestra declararon ahorros en espacio, ya que un menor número de máquinas nuevas requiere menos espacio, pero como las plantas habían sido construidas para el número anterior de máquinas, el resultado fue que quedó más espacio libre disponible para futuras expansiones. El mayor espacio permitió también a las empresas mantener las antiguas máquinas, para casos de emergencia, por mayor tiempo que si se hubiera construido una nueva planta más pequeña.

Los costos laborales disminuyeron significativamente, a excepción de algunas empresas en Turquía. En el conjunto de 31 empresas que proporcionaron datos sobre cambios en niveles de empleo, hubo una pérdida neta de 168 puestos de trabajo o 1% del empleo total. De esas empresas, 16 redujeron personal y eliminaron 3,183 puestos de trabajo. La mayoría de las empresas que registraron aumentos en empleo fueron tailandesas. Las empresas hindúes señalaron que en su caso, el uso de MHCNC debería también haber conducido a reducciones en el empleo, pero que no fueron posibles debido a restricciones gubernamentales para despedir personal. Los menores niveles de empleo, junto con los aumentos en la producción, indicaban mayor productividad, contribuyendo a reducir los costos unitarios laborales. La AF aumentó la productividad del trabajo entre 50% y 330% en Turquía, entre 16% y 137% en Brasil, entre 16% y 300% en México y entre 75% y 1,600% en Venezuela. Las empresas venezolanas experimentaron también, además de menores niveles de empleo y mayor productividad, reducciones importantes en los salarios reales, en tanto que en Brasil y México los salarios reales se mantuvieron constantes o aumentaron ligeramente.

Muchas empresas manifestaron que los costos de entrenamiento estaban en aumento, pues había que adaptar las calificaciones y habilidades de los trabajadores a las nuevas tecnologías. En las entrevistas se hizo hincapié en la pregunta de si la AF requería más o menos calificaciones y habilidades de los trabajadores. En Brasil, México, Tailandia y Venezuela se consideraba a los operadores de MHCNC más calificados y hábiles que aquéllos que operaban máquinas herramientas convencionales y se les daba mejor paga y entrenamiento. Los trabajadores tenían mayor responsabilidad sobre las máquinas, podían hacer operaciones sencillas de programación, participaban en el control de calidad y, por lo general, estaban informados de lo que pasaba en otros subprocesos. En países como India y Turquía, donde los trabajadores se limitaban a ajustar la pieza de trabajo y arrancar la MHCNC, los requisitos de habilidades y calificaciones de los operadores eran considerados menores porque la programación y supervisión de la operación la hacía un ingeniero. En muchos países, sin embargo, la proporción de ingenieros en el total de trabajadores había aumentado desde la adopción de las NT. En resumen, las entrevistas sugieren que el nivel combinado de habilidades y calificaciones requeridos para operar las MHCNC es mayor. Si bien estas habilidades y calificaciones no necesariamente tienen que estar 'incorporadas' en el maquinista, sí deben estar presentes en la empresa.

Las empresas tailandesas señalaron que, debido a que había menos máquinas que operar y que un trabajador podía supervisar varias máquinas al mismo tiempo, el número total de trabajadores calificados podría ser menor que con las viejas tecnologías. Esto se consideraba como una ventaja importante de las MHCNC, en especial, debido a que las empresas tailandesas enfrentaban una seria escasez de operadores o ingenieros calificados. Así pues, en este sentido, la AF puede ser vista como 'reducidora de habilidades'. Más aún, si uno considera que la productividad del opera-

dor aumenta significativamente, el contenido de trabajo calificado por unidad de producto es aún menor (Edquist y Jacobsson, 1988).

Los costos de materias primas por unidad de producto también han caído de manera notable, en cerca de tres cuartas partes de las empresas que proporcionaron datos. En este caso, un factor decisivo ha sido la mejor utilización de las piezas de fundición. En otros casos, el desperdicio -principalmente limaduras, viruta y retazos de metal- ha sido reducido entre 60% y 90% en Venezuela y en 40% en México, gracias a un maquinado más exacto y a la utilización de los retazos para otras piezas. Algunas empresas mexicanas tenían tasas anuales de desperdicio anuales inferiores a 1%. Las tasas de rechazo de productos finales cayeron en India, a cerca de un tercio de lo que habían sido con las tecnologías convencionales, y en Venezuela cayeron también entre 63% y 98%. La reducción de las tasas de desperdicio ha sido también un factor de importancia en el aumento de la producción.

Los inventarios de materias primas, productos en proceso y productos terminados se han ido reduciendo gradualmente con los años. Los inventarios de materias primas cayeron, en promedio, 65% en Venezuela y 50% en India.

Los otros costos unitarios, que incluyen principalmente los costos de energía, aumentaron en un buen número de empresas, sobre todo en Turquía y Venezuela. Pese al mucho menor consumo de energía de los motores de corriente alterna y continua que mueven los ejes de los tornos y centros de maquinado, la participación de los costos de energía por unidad de producto aumentó en once empresas. Ello fue el resultado de la liberalización y privatización de los servicios públicos en esos países, que causaron súbitas alzas en las tarifas de electricidad y otros servicios.

Los costos de administración por unidad de producto aumentaron en diez empresas, principalmente debido a mayores costos de mercadeo y administración. Hacia mediados de los años ochenta, no había un

sistema contable propiamente dicho en muchas de las empresas de nuestra muestra. Con el aumento de la información y las ventas en los últimos años, algunas empresas sintieron la necesidad de renovar sus procedimientos administrativos y contables. Los costos unitarios de mercadeo aumentaron también, debido en parte a la contratación de nuevos ingenieros para atender a algunos de los nuevos clientes de peso que necesitaban un servicio más personalizado. Los costos de investigación y desarrollo no han cambiado significativamente, ya que la mayoría de las empresas prefieren desarrollar productos siguiendo estrategias de imitación. Se hace poco esfuerzo en desarrollar productos completamente nuevos.

Una última cuestión que fue mencionada repetidamente por las empresas, fue la caída en los precios unitarios de los productos metalmecánicos. Todas las empresas mexicanas, siete venezolanas, una brasileña y dos turcas proporcionaron datos indicando mantenimiento o caída en el precio de sus productos. Con frecuencia las reducciones eran mayores que las caídas en los costos unitarios, implicando una reducción de las ganancias. En México, las caídas oscilaban entre 15% y 40%; mientras que en Venezuela, fluctuaban entre 20% y 75%. Con una sola excepción, todas las empresas mexicanas admitieron reducciones en ganancias de hasta 50%. El precio de una bomba de agua en Brasil aumentó de US\$ 2,431 en 1985 a US\$ 2,500 en 1993, una caída en términos reales. En Turquía, el precio del molde inferior de una caja de estaño de 5 kg cayó de US\$ 4,243 en 1989 a US\$ 2,317 en 1994, en tanto que el precio de un eje trasero cayó en el mismo período de US\$ 36.6 a US\$ 22.7. Algunas empresas manifestaron alzas de precios, pero en estos casos la tecnología del producto también había cambiado significativamente. Por ejemplo, una empresa mexicana consiguió subir sus precios en 30% al pasar de un sistema de carburador a otro, basado en la inyección de gasolina.

Lo anterior sugiere que, en contra de las primeras expectativas de la literatura, el uso de MHCNC no necesariamente lleva a

aumentos en el precio unitario. Al parecer, la competencia en la industria metalmecánica se está haciendo más dura y cada vez más empresas adquieren MHCNC, con lo que pueden ofrecer la misma calidad a precios todavía menores. La mayoría de las empresas están recurriendo a la competencia de precios como su principal arma competitiva, lo que indica además que a menos que las empresas expandan sus capacidades de diseño y mercadeo, no les será posible aprovechar todas las ventajas que ofrecen las NT.

5. Conclusiones

En este artículo nos propusimos estudiar el grado de difusión de la automatización flexible en los países en desarrollo y analizar su impacto sobre alcance y escala a nivel de producto, planta y firma. En cuanto al primer punto, la investigación muestra que, si bien la difusión de la AF ha sido rápida en los últimos años, ésta se concentra básicamente en unos pocos países en desarrollo y no hay evidencia de que la brecha tecnológica con los países desarrollados se esté reduciendo. En lo que se refiere a escala y alcance, la evidencia indica que, aunque hay algunas reducciones en la escala de producto, los determinantes de cambios en la misma son mucho más complejos que lo que anticipaba la literatura inicialmente y, por lo tanto, no en todas las circunstancias se va a llegar necesariamente a caídas en la escala de producto. El alcance ha aumentado y algunas firmas parecen estar gozando de economías de alcance, pero con frecuencia el mayor alcance es el resultado de ofrecer antiguos productos en nuevos tamaños o de una mayor integración vertical hacia la manufactura de componentes. Las escalas óptimas de planta y firma también parecen ir en aumento, alentadas por la alta productividad del nuevo equipo y los mayores costos fijos de capital. Con todo ello, la AF tiene como resultado una tendencia de aumento, y no de caída, en las escalas óptimas.

¿Cuáles son entonces, las perspectivas de industrialización que la AF ofrece a los

países en desarrollo? La primera conclusión que surge de nuestro estudio es que está claro que la difusión de la AF no va a tener como resultado el modelo de industrialización descentralizado y de pequeña escala propuesto por Schumacher, y que está a la base de la literatura de caída en escalas. No importa cuántos más modelos, variedades o tamaños de un producto cualquiera se produzcan, las plantas necesitarán todavía producir grandes volúmenes para ser eficientes. O, si incluimos las capacidades de diseño, tendrán que producir aún más para pagar los costos fijos de investigación y desarrollo. Así pues, los países en desarrollo que no puedan ofrecer estos niveles de demanda 'agregada', ya sea localmente o mediante exportaciones, no estarán en la capacidad de producir eficientemente. Como con las viejas tecnologías, existirá todavía una barrera de entrada de escala 'agregada', que implica que solamente aquellas empresas con una gran capacidad de inversión -y probablemente también con mercados asegurados- serán capaces de iniciar producción manufacturera en dichos países.

Las empresas pequeñas tienen ciertas ventajas sobre las grandes, pues son más jóvenes y dinámicas, menos integradas verticalmente, más flexibles y pueden, hoy en día, ofrecer el mismo estándar de calidad que una empresa grande. Sin embargo, los datos recogidos durante la investigación sugieren que para hacer uso de tales ventajas es preciso desarrollar lazos estrechos con las empresas grandes, a fin de tener acceso a información y mercados. Además, si bien algunas pequeñas empresas nuevas pueden aprovechar las ventajas que ofrece ser pioneros en un sector e ingresar a la manufactura, ello sería a expensas de otras empresas que no se hubieran modernizado a tiempo, lo que, a nivel de la industria metalmecánica en general, puede resultar en un número menor de empresas y una mayor concentración.

El hecho que la automatización flexible reduzca el contenido de habilidades y calificaciones, tanto en términos del número de trabajadores necesario para operar el nuevo equipo y por unidad de producto, puede re-

presentar un alivio para los países en desarrollo. Así, si bien la cantidad de conocimientos que deban poseer operadores e ingenieros que trabajan con las MHCNC puede ser mayor, el número total de operadores e ingenieros puede ser menor que con las viejas tecnologías.

En cuanto a las implicancias de política para países en desarrollo, las obvias ganancias en términos de calidad, productividad, flexibilidad y menores costos de producción, y los cambios que están ocurriendo en la industria metalmeccánica puede no dejarles

otra opción que adoptar AF si quieren permanecer en el mercado. Por ello, la política debe orientarse hacia la rápida difusión de la automatización flexible, al desarrollo de infraestructura básica para un uso efectivo de las nuevas tecnologías, y a crear una mayor oferta de entrenamiento en las nuevas habilidades que están surgiendo. La política estatal debería, además, enfocarse en reducir los transtornos sociales y la pérdida de empleo que puedan surgir como producto de la difusión sostenida de la AF.

NOTAS

- Supongamos que la capacidad de una planta es $y_1 = 50$ del bien Y_1 o $y_2 = 100$ del bien Y_2 . El costo de producir 50 unidades de Y_1 es 600 y el costo de producir las 100 unidades de Y_2 es 200. Si la capacidad se distribuye entre los dos bienes en igual proporción y no hubiera castigo ni premio por producción conjunta, tenemos que el costo de producir la mitad de ambas cantidades, o 75 unidades en total, sería 400. Si hubiera deseconomías de alcance, o castigo por producción conjunta, el costo sería mayor a 400, y si hubiera economías de alcance, o premio por producción conjunta, el costo sería menor a 400.
- Stevenson, R., "Measuring technological bias", en *The American Economic Review*, Vol. 70, No. 1, Nashville TN: American Economic Association, March, 1980, p. 163.
- Debe indicarse que, al posibilitar cambios en los precios de bienes individuales, el cambio técnico puede, además, afectar el ingreso marginal.
- Bajo el título de tecnología moderna incluimos un conjunto de autores asociados con términos como 'especialización flexible', 'posfordismo', 'nueva competencia', 'toyotismo' y 'sistemofactura'. El principal interés de estos autores es el análisis del impacto de la AF sobre la industria manufacturera y, aunque enfatizan aspectos diferentes de este impacto, todos coinciden en caracterizarlo de 'revolucionario'. Se incluyen, entre otros, autores en economía como Acs y Audretsch (1990), Acs *et al.* (1990), Carlsson (1989a, 1989b), Kaplinsky (1984, 1990, 1991), Milgrom y Roberts (1990), Morroni (1992), y Piore y Sabel (1984); autores en ingeniería como Biemans y Vissers (1991) y Bolwijn *et al.* (1988); y, autores en gerencia como Bessant (1991), De Meyer *et al.* (1989) y Womack *et al.* (1990).
- Para una exposición detallada de estos argumentos ver Alcorta, 1992, 1994.
- Las máquinas herramientas de control numérico incluyen tres tipos de máquinas herramientas. En primer lugar, lo que inicialmente se conoció como máquinas de control numérico, en donde la información para producir una pieza determinada se ponía en una cinta magnética o perforada con la que luego se alimentaba la unidad de control. Estas máquinas fueron desarrolladas en los años 50. En segundo lugar, las máquinas herramientas basadas en minicomputadoras, donde la unidad de control era una minicomputadora. Esta generación de máquinas herramientas comenzó a difundirse masivamente a principios de los años 70. En tercer lugar, las máquinas herramientas basadas en microcomputadoras, donde la unidad de control era una microcomputadora. Estas máquinas hicieron su aparición en el mercado en 1975 y son las MHCNC actuales (Edquist y Jacobsson, 1988).
- Considerando que la difusión de las MHCNC en los países desarrollados se inició a finales de los años 70, parecería haber un retraso de aproximadamente diez años en su utilización por los países en desarrollo.
- La tasa anual de crecimiento del *stock* de MHCNC, en las etapas iniciales de difusión, fue de 16% en EE.UU. entre 1978 y 1985, y de 18% en el Reino Unido entre 1976 y 1983 (CEE, 1992; Edquist y Jacobsson, 1988).
- El estudio incluyó 62 empresas en Brasil, India, México, Tailandia, Turquía y Venezuela. Fue

- realizado por investigadores locales en los países seleccionados, sobre la base de entrevistas detalladas y un cuestionario común. Los estudios individuales de los países están a disposición de los interesados.
10. Los estimados del grado de automatización, expresados en número de trabajadores por MHCNC, realizados por Edquist y Jacobsson (1988) para inicios de los años 80 y adaptados por nosotros para facilitar su comparación, son los siguientes: 968.4 en Brasil, 1,239.4 en India, 192.9 en Corea, 95.2 en EE.UU., 87.9 en Alemania Occidental, 44.6 en Japón y 45.1 en Suecia.
 11. Los datos de densidad de automatización fueron proporcionados directamente por las empresas o estimados sobre la base del *stock* de máquinas herramientas convencionales, automáticas y CNC, su eficiencia relativa y la producción total.
 12. Resulta paradójico que sean las empresas nacionales las que deban automatizarse a pedido de sus clientes corporativos multinacionales y no así, las empresas de propiedad extranjera.
 13. La difusión de la AF se ha visto complementada por la difusión de una serie de tecnologías organizacionales como gerencia por calidad total (GCT), justo a tiempo (JAT), distribución por células o productos, y nuevas prácticas de trabajo.
 14. Para mayor información sobre los problemas de introducir JAT en la industria de automóviles, ver Rhys (1992).
 15. Una empresa mexicana manifestó que las reducciones en los plazos de entrega dependían también de reducciones en el tiempo de administración de los pedidos. La empresa podía reducir el plazo de entrega en lo que concernía a producción de un mes a un día, pero tener los papeles en orden para la venta todavía tomaba una semana. Como resultado, la empresa estaba considerando emprender una reforma administrativa de envergadura antes de seguir invirtiendo en MHCNC.

REFERENCIAS

- Acs, Z.J. y D.B. Audretsch, "Small Firms in the 1990s", en Acs, Z.J. y D.B. Audretsch (eds.), *The Economics of Small Firms. A European Challenge*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990.
- Acs, Z.J. y D.B. Audretsch (eds.), *The Economics of Small Firms. A European Challenge*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990.
- Acs, Z.J., D.B. Audretsch y B. Carlsson, "Flexibility, Plant Size and Industrial Restructuring", en Acs, Z.J. y D.B. Audretsch (eds.), *The Economics of Small Firms. A European Challenge*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990.
- Alcorta, L., "The Impact of New Technologies on Scale in Manufacturing Industries: Issues and Evidence", en *World Development*, Vol. 22, No. 5, Oxford: Pergamon Press, 1994, pp. 755-769.
- Alcorta, L., *The Impact of New Technologies on Scale in Manufacturing Industry: Issues and Evidence*, Documento de trabajo No. 5, Maastricht: UNU/INTECH, 1992.
- Asociación de Constructores de Máquinas Herramientas de Japón, *Machine Tool Industry in Japan*, Tokio: Asociación de Constructores de Máquinas Herramientas de Japón, 1993.
- Asociación de Fabricantes de Máquinas Herramientas de Corea, *Machine Tool Industry: Korea 1993*, Seúl: Asociación de Fabricantes de Máquinas Herramientas de Corea, 1993.
- Asociación de Fabricantes de Máquinas Herramientas de India, *46th Annual Report 1991-92*, Nueva Delhi: Asociación de Fabricantes de Máquinas Herramientas de India, 1993.
- Astebro, T., "The International Diffusion of Computer Aided Design", en Ayres *et al.* (eds.), *Computer Integrated Manufacturing*, Londres: Chapman & Hall, 1992.
- Auty, R., *Emerging Competitiveness Of Newly Industrialising Countries in Heavy and Chemical Industry: Effects of The Product Cycle and Technological Change*,

- Mimeo, Universidad de Lancaster: 1992.
- Ayres, R., *Computer Integrated Manufacturing*, Londres: Chapman & Hall, 1991.
- Ayres, R., W. Haywood e I. Tchijov (eds.), *Computer Integrated Manufacturing*, Londres: Chapman & Hall, 1992.
- Ayres, R. y S. Miller, *Robotics*, Cambridge, Mass.: Ballinger Publishing Company, 1983.
- Bailey, E.E. y A.F. Friedlaender, "Market Structure and Multiproduct Industries", en *Journal of Economic Literature*, Vol. XX, No. 3, Nashville, TN: American Economic Association, setiembre, 1982, pp. 1024-1048.
- Baumol, W.J., J. Panzar y R. Willig, *Contestable Markets and the Theory of Industry Structure*, San Diego: Harcourt, Brace, Jovanovich Publishers, 1988.
- Berrios, R. y F.R. Sagasti, "Perú: tendencias en la difusión nacional de máquinas herramienta de control numérico", en Boon, G.K. y A. Mercado (eds.), *Automatización flexible en la industria. Difusión y producción de máquinas-herramienta de control numérico en América Latina*, México: Editorial Limusa S.A., 1990.
- Bessant, J.R., *Managing Advanced Manufacturing Technology: The Challenge of the Fifth Wave*, Manchester: NCC Blackwell, 1991.
- Biemans, F.P.M. y C.A. Vissers, "A Systems Theoretic View of Computer Integrated Manufacturing", en *International Journal of Production Research*, Vol. 29, No. 5, 1991.
- Bolwijn, P.T., J. Boorsma, Q. van Breukelen, S. Brinkman y T. Kumpe, *Flexible Manufacturing*, Amsterdam: Elsevier, 1988.
- Boon, G.K. y A. Mercado (eds.), *Automatización flexible en la industria. Difusión y producción de máquinas-herramienta de control numérico en América Latina*, México: Editorial Limusa S.A., 1990.
- Carlsson, B., "Flexibility and theory of the firm", en *International Journal of Industrial Organization*, 7, Amsterdam: 1989a.
- Carlsson, B., "The Evolution of Manufacturing Technology and its Impact on Industrial Structure: An International Study", en *Small Business Economics*, Vol. 1, No. 1, Dordrecht: 1989b.
- Comisión Económica para Europa, *World Engineering Industries and Automation. Performance and Prospects, 1992-1994*, ECE/ENG.AUT/52, Nueva York y Ginebra: Naciones Unidas, 1994.
- Comisión Económica para Europa, *Annual Review of Engineering Industries and Automation*, ECE/ENG.AUT/47 (Vol. 1), Nueva York y Ginebra: Naciones Unidas, 1992.
- De Meyer, A., J. Nakane, J. Miller y K. Ferdows, "Flexibility: The Next Competitive Battle. The Manufacturing Futures Survey", en *Strategic Management Journal*, Vol. 10, Chichester, West Sussex: 1989.
- Edquist, C. y S. Jacobsson, *Flexible Automation*, Oxford: Basil Blackwell, 1988.
- Hodgson, G. y E. Screpanti (eds.), *Rethinking Economics*, Aldershot: Edward Elgar, 1991.
- Jenkins, R., *International Competitiveness in the Automotive Industry*, Informe preparado por el Departamento de Estudios Regionales y de países, Viena: ONUDI, marzo, 1993.
- Jones, D.T. y J.P. Womack, "Developing Countries and the Future of the Automobile Industry", en *World Development*, Vol. 13, No. 3, Oxford: Pergamon Press, 1985, pp. 393-407.
- Kaplinsky, R., "Technique and System: The Spread of Japanese Management Techniques to Developing Countries", en *World Development*, Vol. 23, No. 1, Oxford: Pergamon Press, 1995, pp. 57-71.
- Kaplinsky, R., *Easternization: The Spread of Japanese Management Techniques to LDCs*, Londres: Frank Cass, 1994.
- Kaplinsky, R., *From Mass Production to Flexible Specialisation: Micro-level Restructuring*

- in a British Engineering Firm, Mimeo, Universidad de Sussex: Institute of Development Studies, abril, 1991.
- Kaplinsky, R., *The Economies of Small. Appropriate Technology in a Changing World*, Londres: Intermediate Technology Publications, 1990.
- Kaplinsky, R., *Automation. The Technology and Society*, Essex: Longman, 1984.
- Katz, J. (ed.), *Technology Generation in Latin American Industries*, Londres: Macmillan, 1987.
- Markowski, S. y C. Jubb, "The Impact of Microelectronics on Scale in Manufacturing Industry", en *Australian Journal of Management*, Vol. 14, No. 2, diciembre, 1989.
- Milgrom, P. y J. Roberts, "The Economics of Modern Manufacturing: Technology, Strategy and Organization", en *The American Economic Review*, Vol. 80, No. 3, Nashville, TN: American Economic Association, June, 1990, pp. 511-528.
- Mody, A., R. Suri y J. Sanders, "Keeping Pace With Change: Organizational and Technological Imperatives", en *World Development*, Vol. 20, No. 12, Oxford: Pergamon Press, 1992, pp. 1797-1816.
- Morroni, M., *Production Process and Technical Change*, Cambridge Mass.: Cambridge University Press, 1992.
- Morroni, M., "Production Flexibility", en Hodgson, G. y E. Screpanti (eds.), *Rethinking Economics*, Aldershot: Edward Elgar, 1991.
- Piore, M.J. y C.F. Sabel, *The Second Industrial Divide: Possibilities for Prosperity*, Nueva York: Basic Books Publishers Inc., 1984.
- Pratten, C.F., *The Competitiveness of Small Firms*, Occasional Paper 57, University of Cambridge, Department of Applied Economics, Cambridge Mass.: Cambridge University Press, 1991.
- Rao, K.V.S. y S.G. Deshmukh, "Strategic Framework for Implementing FMS in India", en *International Journal of Production Management*, Vol. 14, No. 4, 1994.
- Reintjes, F., *Numerical Control: Making of New Technology*, New York y Oxford: Oxford University Press, 1991.
- Rhys, G., *Economic Changes in the Motor Industry: Reality and Myth*, Mimeo, Universidad de Gales: Cardiff Business School, 1992.
- Scherer, F.M. y D. Ross, *Industrial Market Structure and Economic Performance*, Boston: Houghton Mifflin Company, 1990.
- Stevenson, R., "Measuring Technological Bias", en *The American Economic Review*, Vol. 70, No. 1, Nashville, TN: American Association, March, 1980, pp. 162-173.
- Stiglitz, J., "On the Microeconomics of Technical Progress", en Katz, J. (ed.), *Technology Generation in Latin American Industries*, Londres: Macmillan, 1987.
- Watanabe, S., "Microelectronics and Third World Industries: An Overview", en Watanabe, S. (ed.), *Microelectronics and Third World Industries*, Basingstoke: The Macmillan Press Ltd., 1993.
- Watanabe, S. (ed.), *Microelectronics and Third World Industries*, Basingstoke: The Macmillan Press Ltd., 1993.
- Womack, J.P., D. Jones y D. Ross, *The Machine that Changed the World*, Nueva York: Rawson Associates, 1990.