
LA FLEXIBILIDAD EN LA FABRICACION: BASES PARA SU DEFINICION Y MEDIDA

María José Alvarez Gil
Departamento de Economía.
Universidad Carlos III de Madrid

La flexibilidad en la fabricación surge de la necesidad de respuesta de la industria a los cambios y perturbaciones que se están produciendo en el mercado y de los medios facilitados por el avance de la automatización industrial para generar esa respuesta. Así pues, dos son los elementos a tener en consideración al referirnos a la flexibilidad en la fabricación o fabricación flexible: un mercado cambiante y una tecnología en rápido y creciente desarrollo.

Los estudios empíricos llevados a cabo por Cox (1989), Ferdows (1988) y Miller y Roth (1987) en el sector industrial norteamericano coinciden en señalar que se ha producido un desplazamiento de la competencia en los mercados globales desde los objetivos de calidad y servicio hacia el de flexibilidad.

La literatura recoge numerosas referencias a la flexibilidad en la

fabricación. Así, Madelbaum (1978) la definió como la habilidad para hacer frente a las circunstancias cambiantes y las inestabilidades o perturbaciones del entorno, las cuales pueden ser internas o externas. Las internas se manifiestan como averías en los equipos, variabilidad en los tiempos de ejecución de las tareas, retrasos y colas de espera, productos defectuosos, etcétera. Las perturbaciones externas se pueden atribuir a factores tales como la incertidumbre asociada a cambios en el nivel de demanda, precios de los productos, composición del mix de artículos o actuaciones de los competidores. (Para una descripción más completa puede acudir a Garret [1986], Gupta y Goyal [1992] o Zelenovic [1992], entre otros.)

De acuerdo con esta definición, Masuyama (1983) propuso delimitar la flexibilidad de un sistema operativo en función de la velocidad con que éste responde al

cambio o perturbación y el impacto económico de la respuesta al cambio. Chung y Chen (1990) revisan esta propuesta y sugieren la creación de un conjunto de combinaciones velocidad-impacto que defina las fronteras de la fabricación flexible.

Otras interpretaciones ponen su énfasis en la posible repercusión estratégica de la misma. Así, Swamidass (1988) sugiere que la fabricación flexible se puede utilizar con propósitos estratégicos, sean éstos ofensivos o defensivos. La utilización ofensiva supone emplear la flexibilidad como medio para modificar el entorno continuamente, mientras que la utilización defensiva implica acudir a ésta como medio para reaccionar ante los cambios. El fabricante que posee una flexibilidad ofensiva, puede decidir cómo quiere competir y fijar además las reglas de la competencia para sus competidores.

Por otra parte, Hayes y Wheelwright (1984, Son y Park (1987), Adler (1988), Clark, Hayes y Wheelwright (1988) o Garvin (1992), por citar las contribuciones más conocidas, defienden categóricamente que la flexibilidad es un elemento destacado de la estrategia de operaciones.

Sin embargo, y a diferencia de los restantes objetivos de la estrategia de operaciones como productividad, calidad y servicio, la flexibilidad en la fabricación no es un concepto claramente definido ni existe un amplio consenso sobre las medidas a utilizar. Ello dificulta la justificación financiera de la automatización flexible y, consiguientemente, la aprobación de las inversiones necesarias para su logro.

El objetivo de este trabajo será el de intentar esclarecer el término fabricación flexible y ofrecer una amplia visión de las propuestas de medida de ésta, de modo que se puedan sentar las bases para poder comenzar a considerar sus repercusiones financieras. El primer epígrafe se ha dedicado a intentar una sistematización de las definiciones e interpretaciones de la fabricación flexible. El segundo epígrafe se centra en la presentación de las diferentes unidades de medida recogidas en la literatura y su contraste empírico. En el tercer epígrafe se resumen las variables del área de operaciones de la empresa, a la que los dirigentes han de prestar atención para determinar la existencia de flexibilidad en la fabricación y el nivel alcanzado.

LA FABRICACION FLEXIBLE: ELEMENTOS DEFINITORIOS

Cox (1989), Ferdows (1988) y Miller y Roth (1987) ponen de manifiesto que las empresas no disponen de medidas para traducir los efectos de la fabricación flexible a unidades susceptibles de



ser interpretadas en términos de rendimiento del sistema de operaciones. Esto supone que, a pesar de que se otorgue una gran importancia estratégica a la flexibilidad en la fabricación, no se está en condiciones de cuantificar su impacto, situación que no se presenta en los otros objetivos de la estrategia de operaciones.

Este hecho parece estar relacionado, en opinión de Cox (1989), con la visión que de la fabricación flexible tienen los empresarios. Según recogen Swamidass (1988) y Slack (1987), la tecnología es el único aspecto de la fabricación flexible que los dirigentes tienen en cuenta al considerar a este tipo de fabricación como instrumento para alcanzar la ventaja competitiva.

Ciertamente, la utilización de las tecnologías avanzadas de fabricación puede dar lugar a efectos sin precedentes. La incorporación de la automatización flexible permite un proceso fabril eficiente y eficaz en términos de costes, puesto que posibilita la fabricación de productos «a la medida» sin sacrificar otros objetivos. Al facilitar la disminución de los tiempos de lanzamiento, la producción en peque-

ños lotes puede ser tan económica como la fabricación a gran escala, lo que da a la empresa la oportunidad de modificar su estrategia competitiva en un proceso de búsqueda de economías de gama o alcance (Jelinek y Goldhar [1983]).

Sin embargo, la experiencia ha demostrado que la tecnología por sí misma no genera beneficios anticipados. Ya en 1986 Jaikumar señalaba: «... Las empresas están adquiriendo el hardware necesario para alcanzar la automatización flexible, pero lo están usando pobre e inadecuadamente. En lugar de acortar la diferencia competitiva, la tecnología de la automatización la está ampliando. Con algunas excepciones, los sistemas de fabricación flexible instalados en EE.UU. muestran una carencia sorprendente de flexibilidad. En muchos casos, su rendimiento es peor que el de la tecnología convencional a la que reemplazan. No se puede culpar a la tecnología en sí misma, sino al modo en que ésta está dirigida...» (Jaikumar [1986]).

Esta observación indica que la flexibilidad no se compra, sino que debe ir además acompañada de una gestión y planificación cuidadosas. El nivel de flexibilidad de los equipos productivos no asegura por sí mismo la consecución de ventajas competitivas, que sólo se producen cuando esta flexibilidad se ve acompañada por una flexibilidad del sistema de operaciones en su conjunto.

A pesar de ello, la mayoría de las contribuciones se ha centrado en el análisis de aquellas ventajas de las nuevas tecnologías de fabricación, relacionadas con cuestiones operativas tales como la programación y secuenciación de actividades y la gestión de talleres, así como con las condiciones técnicas que han de darse para que estas ventajas se produzcan. Entre las aportaciones más destacadas se encuentran las de Brill y

Mandelbaum (1989), Browne *et al.* (1984), Carter (1986), Chatterjee *et al.* (1984), Chung y Chen (1989) y (1990), Gerwin (1983), Graves (1988), Gustavsson (1984), Kumar (1987) o Yao (1987).

El estudio de la literatura permite concluir que, en una gran parte de los casos, el análisis de la flexibilidad se ha desentendido de la búsqueda y definición de sus relaciones con las necesidades estratégicas que fundamentaron su desarrollo.

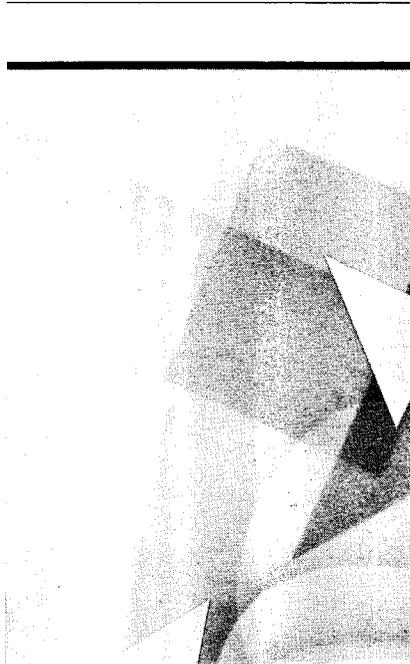
Los trabajos más recientes recogen este hecho y coinciden en señalar que no existe un consenso sobre el alcance y significado de la fabricación flexible (Bernardo y Mohamed [1992], Chandra y Tombak [1992], Dixon [1992], entre otros). Swamidass (1988) señala que el desconcertante estado de la cuestión puede deberse a tres factores:

1. La variedad de definiciones de flexibilidad en la fabricación es muy alta, a lo que se añade que estas definiciones suelen solaparse entre sí, es decir, es posible observar que parte de los contenidos de algunas definiciones ha sido recogido en otras, aunque no exista una gran relación entre ellas en lo que se refiere a aquel aspecto de la flexibilidad que en cada definición haya sido considerado más relevante.

2. Algunos conceptos utilizados son una agregación de conceptos o definiciones más simples, aunque hayan sido presentados como nuevos.

3. Los autores utilizan las mismas expresiones o denominaciones para aludir a conceptos y situaciones distintas, lo que da lugar a la aparición de confusiones terminológicas.

Gupta y Goyal (1989) añaden un cuarto factor al señalar que la supuesta naturaleza intangible de



la flexibilidad ha contribuido a exacerbar el problema.

Hacia una definición de la fabricación flexible

El primer paso para comenzar a desarrollar una investigación científica sobre la flexibilidad en la fabricación es la definición de este término.

Adler (1988) establece una taxonomía que pretende recoger las relaciones que la fabricación flexible presenta tanto con los productos que la empresa pueda ofertar para hacer frente a las perturbaciones internas o externas, como con los diferentes procesos productivos que pueda desarrollar para reaccionar ante tales cambios. Siguiendo este criterio, la flexibilidad en producto estaría determinada por la capacidad del sistema para introducir cambios en el mix de productos, en el diseño de los ya existentes, o para crear nuevos productos dentro de una familia o bien nuevas familias de productos. Por lo que respecta a la flexibilidad en procesos, ésta vendría dada por la capacidad mostrada por los equipos, el sistema y la planta, para introducir

modificaciones relacionadas con cambios en las máquinas a utilizar, rutinas de fabricación, tareas a desarrollar por las máquinas, volumen de fabricación, expansión de la capacidad productiva y secuencias de actividades seguidas para la obtención de cada tipo y familia de productos.

Señala que, desde el punto de vista de la ingeniería, es la flexibilidad en proceso la que parece más interesante, dada la habilidad creciente para diseñar sistemas de máquinas con la suficiente flexibilidad e inteligencia para hacer frente de forma robusta a un amplio espectro de contingencias. Desde los puntos de vista de la sociedad y de la gestión de empresas, los mayores retos y oportunidades parecen derivarse del desarrollo de la flexibilidad relacionada con los cambios en la dimensión del mix de productos y de los volúmenes de producción. Las nuevas tecnologías permiten un descenso de la curva de los costes medios asociados a las dimensiones competitivas: tiempo de cambio entre productos, tiempo de lanzamiento y ciclos de desarrollo de nuevos productos, etcétera, lo que supone el poder competir en costes con los fabricantes de productos estandarizados con grandes series de fabricación.

Bernardo y Mohamed (1992) proponen una clasificación en la que los diferentes tipos de flexibilidad se agruparían en función de su relación con las decisiones estratégicas, tácticas y operativas de la empresa.

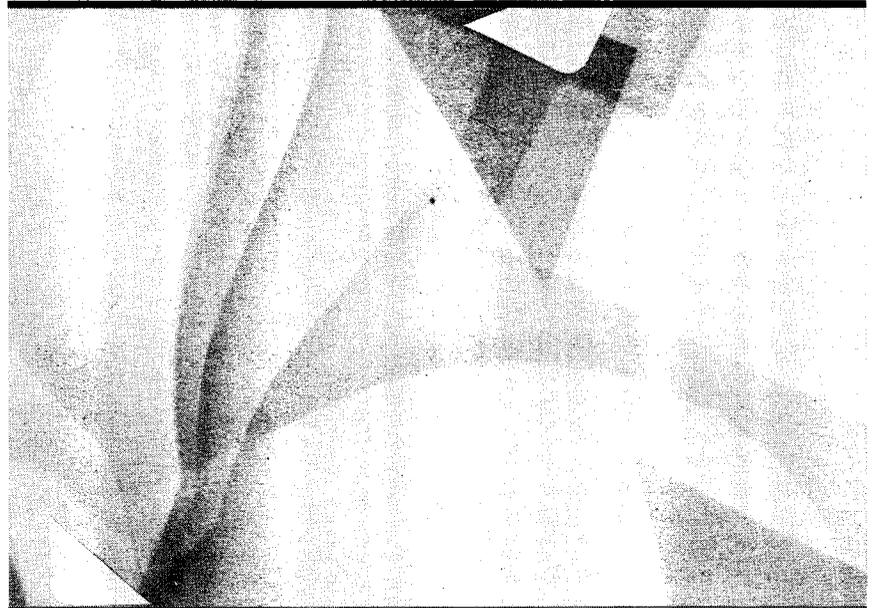
Así cuando la empresa se enfrenta a una decisión de inversión a largo plazo, presta atención a aquellas características de las nuevas tecnologías que le permitirán alcanzar sus objetivos estratégicos, como por ejemplo la fabricación de un mix de productos cambiante o un volumen de producción variable. Las características a tener en

cuenta serán las piezas que los equipos pueden fabricar para producir el mix de productos, los polos de herramientas que permiten la fabricación de las distintas piezas, los sistemas de transporte y almacenamiento de materiales, la configuración del sistema informático, el proceso de fabricación de cada pieza o la capacidad de carga de cada máquina, entre otras.

La capacidad demostrada por los equipos productivos para adaptarse a la fabricación de distintos volúmenes de artículos y diferentes combinaciones de éstos se puede definir como su flexibilidad en diseño.

Ahora bien, una vez se disponga de los equipos, habrá que buscar la forma de alcanzar su utilización óptima. Las decisiones que se tomen para su logro son a medio y corto plazo, tendentes a la solución de los problemas de planificación y secuenciación de las operaciones que se presenten en el día a día de la empresa y que afectan a la elección del proceso productivo a seguir. Cuando las soluciones que se puedan adoptar sin sacrificar los criterios de economicidad sean múltiples, de manera que el sistema productivo pueda hacer frente a las perturbaciones del entorno sin que ello dé lugar a alteraciones significativas de la tasa de producción y del nivel de satisfacción de los clientes, se estará ante un sistema flexible desde el punto de vista operativo o en procesos o, lo que es lo mismo, cuyos equipos presentan flexibilidad operativa. Las variables a analizar serán la capacidad de las máquinas y su sustituibilidad, rutinas de fabricación alternativas, programas admitidos por las máquinas, uso compartido de herramientas, operaciones a desarrollar por cada equipo, etcétera.

En nuestra opinión ambas clasificaciones pueden convertirse en



una, dado que, por un lado, la flexibilidad en diseño está condicionada por las necesidades de flexibilidad planteadas por la estrategia empresarial en relación con los mercados en los que pretende competir, esto es, mix de productos y volumen de fabricación, mientras que, por otro lado, la flexibilidad en procesos, delimitada en la estrategia empresarial al establecerse los objetivos de coste, calidad y servicio —fiabilidad y tiempo de entrega—, está condicionada por la flexibilidad operativa.

Esto lleva a señalar que la flexibilidad de un sistema de producción estará determinada por dos tipos de flexibilidades, a saber, su flexibilidad en productos y diseño y su flexibilidad en proceso u operativa. Esta definición, a pesar de tener en cuenta los dos factores que motivaron la aparición del concepto fabricación flexible, a saber, mercado cambiante y nuevas tecnologías surgidas para responder a estas condiciones del mercado, es excesivamente amplia, por lo que parece oportuno pasar seguidamente a considerar los elementos que entrarían a formar parte de los dos tipos de flexibilidad mencionados.

Sistematización de los diferentes tipos de flexibilidad

Sethi y Sethi (1990), tras llevar a cabo un estudio completo de la literatura sobre flexibilidad en la fabricación, encontraron que existían más de 50 definiciones diferentes de ésta. Su caracterización de los distintos tipos de flexibilidad ha sido considerada por una mayoría de autores (véase Gupta y Somers [1992] a tal efecto) como la mejor disponible.

Tomando el marco propuesto y esta caracterización como punto de partida, se intentará aclarar el concepto de flexibilidad en fabricación.

Las categorías recogidas por Sethi y Sethi (1990) son las siguientes:

■ **Flexibilidad de la maquinaria:** se define como la variedad de operaciones que una máquina puede desempeñar sin incurrir en altos costes o emplear cantidades de tiempo prohibitivas al pasar de una operación a otra. Permite la fabricación de pequeños lotes, lo que redundaría en niveles inferiores de inventarios, una utilización superior de la capacidad y una

CUADRO 1
TIPOS DE FLEXIBILIDAD

Relacionados con la competencia vía productos y con el diseño del sistema

- Flexibilidad en máquinas.
- Flexibilidad en operaciones.
- Flexibilidad en proceso.
- Flexibilidad en producto.
- Flexibilidad en volumen.
- Flexibilidad en producción.
- Flexibilidad en mercados.
- Flexibilidad en expansión.

Relacionados con la competencia vía productos y con el diseño del sistema

- Flexibilidad en rutinas.
- Flexibilidad en programa.

mayor habilidad para producir piezas complejas y mejorar la calidad.

■ **Flexibilidad en el transporte y almacenamiento de materiales:** alude a la habilidad del sistema para mover diferentes tipos de piezas de forma eficaz y eficiente a lo largo de la planta, incluyendo la carga y descarga de piezas, el transporte entre máquinas y el almacenamiento de piezas bajo condiciones diversas de los talleres. Esta flexibilidad puede contribuir a aumentar la disponibilidad de maquinaria y a reducir los tiempos de proceso.

■ **Flexibilidad en operaciones:** se refiere a la habilidad mostrada por una pieza para ser producida de diferentes formas, esto es, utilizando planes de proceso alternativos, los cuales pueden ser generados a través de intercambios o sustituciones de las operaciones. Facilita la tarea de la programación de las piezas en tiempo real, incrementando la disponibilidad de máquinas, especialmente cuando una parte de éstas no es muy fiable.

■ **Flexibilidad en proceso:** se define como la habilidad del sistema productivo para fabricar un conjunto variado de piezas sin incurrir en costes de lanzamiento importantes. Puede definirse también como variedad en mix de productos. Es útil cuando se busca la reducción de los lotes de fabrica-

ción y de los costes de inventario. Minimiza la necesidad de duplicar las máquinas al permitir el uso compartido de éstas.

■ **Flexibilidad en producto:** hace referencia a la facilidad con la que se pueden añadir nuevas piezas o productos y/o sustituir las existentes, esto es, la facilidad con la que se puede modificar la gama actual de productos a un coste relativamente bajo y en un período relativamente corto tiempo de tiempo.

■ **Flexibilidad en rutinas:** denota la habilidad de un sistema para producir una pieza alternando las rutinas de fabricación. Su propósito es el de continuar produciendo un conjunto dado de tipos de piezas, aunque sea a una tasa de producción inferior, en el caso de que tenga lugar una avería o fallo de las máquinas. Permite la programación eficiente de la fabricación de las piezas a través de un mejor equilibrio de las cargas de las máquinas.

■ **Flexibilidad en volumen:** alude a la habilidad del sistema para operar económicamente con diferentes niveles de output, permitiendo a los talleres realizar una amplia variedad de ajustes.

■ **Flexibilidad en expansión:** se define como la amplitud o extensión del esfuerzo global necesario para incrementar la capacidad y capacitación del sistema cuando

sea necesario. Puede ayudar a reducir el tiempo de fabricación y disminuir el coste de los nuevos productos, las variaciones de los ya existentes o al aumento de la capacidad.

■ **Flexibilidad en programa:** se entiende por tal la habilidad del sistema para funcionar sin ser atendido durante un largo período de tiempo. Reduce el tiempo de proceso a través de la reducción de los tiempos de lanzamiento, la mejora de la inspección y del control de calidad e incrementa la posibilidad de utilizar mejores herramientas.

■ **Flexibilidad en producción:** hace referencia al universo de tipos de piezas o productos que el sistema puede generar sin necesidad de añadir equipamiento básico. Depende de varios factores, como la variedad y versatilidad de la maquinaria disponible, la flexibilidad del sistema de transporte y almacenamiento de materiales y los sistemas de control e información de la planta.

■ **Flexibilidad en mercado:** se puede definir como la facilidad con que el sistema puede adaptarse a las condiciones cambiantes del mercado. Permite a la empresa responder a los diferentes cambios sin que la actividad principal se vea afectada, posibilitando que la empresa acorte el margen de maniobra y la capacidad de reacción de sus competidores menos flexibles. Estos conceptos se han reagrupado en el cuadro 1.

La clasificación que se propone no se considerará definitiva hasta que no haya sido suficientemente contrastada. Para ello será preciso definir las unidades de medida pertinentes. Sin embargo, y a los efectos perseguidos, esto es, intentar una sistematización de las definiciones existentes de la flexibilidad en función de su relación con la estrategia empresarial,

puede ser considerada como el primer paso.

Los tipos de flexibilidad no considerados por las taxonomías que se tomaron como referencia inicial (Adler [1988] y Bernardo y Mohamed [1992]) y que aquí sí se han recogido son la flexibilidad en transporte y almacenamiento de materiales y la flexibilidad en programas, relacionadas con la flexibilidad operativa o en proceso, y la flexibilidad en mercado, asociada a la flexibilidad en diseño o en producto.

**LA FABRICACION FLEXIBLE:
CRITERIOS PARA
SU MEDICION**

Como se señaló en la introducción de este trabajo, la flexibilidad en la fabricación es el único de los objetivos prioritarios de la estrategia de operaciones para el cual no existen unidades estándar de medida. Una de las razones a las que se atribuye este hecho es la profusión de interpretaciones en torno a este concepto de flexibilidad.

Tal variedad ha dado lugar a la aparición de un amplio conjunto de medidas parciales, muchas de las cuales, aun aludiendo a tipos de flexibilidad similares, plantean procedimientos claramente diferentes y de desigual aplicabilidad. A título de ejemplo pueden citarse los trabajos de Bernardo y Mohamed (1992), Chandra y Tombak (1992) o Chen y Sule Alfa (1992), todos ellos relacionados con la flexibilidad en rutinas y máquinas.

El problema común de estas medidas parciales es que no ayudan a explicar cuáles son las variables empresariales que se pueden tomar como indicadores de la flexibilidad en la fabricación.

Desde nuestro punto de vista, la determinación de las variables que compondrán un mecanismo

de medición es el primer elemento a tener en cuenta al abordar su diseño, siendo el segundo que la información que permita su determinación sea relativamente sencilla de obtener.

Siguiendo esta orientación se ha efectuado una revisión de la literatura en aras de seleccionar aquellos medidas que respondieran a tal finalidad. Como conclusión, sólo la contribución de Gupta y Somers (1992) puede ser de utilidad.

Basándose en ella y utilizando la definición de fabricación flexible sugerida en el epígrafe anterior, se ha elaborado la figura 1, en la que se recogen las variables que podrían ayudar a explicar la presencia de flexibilidad en la fabricación de una organización.

Las variables seleccionadas y su autor se recogen seguidamente.

A: El tiempo necesario para introducir nuevos productos es extremadamente bajo (Sethi y Sethi, 1990).

D: El tiempo necesario para añadir una unidad de capacidad de producción es muy bajo (Sethi y Sethi, 1990).

E: El coste de ruptura de los productos terminados es extremadamente bajo (Sethi y Sethi, 1990).

F: El coste del retraso en atender los pedidos es extremadamente bajo (Sethi y Sethi, 1990).

G: El tamaño del universo de piezas que el sistema puede fabricar sin necesidad de realizar inversiones adicionales importantes es extremadamente alto (Chatterjee *et al.*, 1984).

H: El sistema es capaz de funcionar virtualmente inatendido durante el segundo y tercer turnos (Jaikumar, 1984).

I: El coste de duplicar el output del sistema es muy bajo (Carter, 1986).

J: El tiempo necesario para duplicar el output del sistema es muy bajo (Carter, 1986).

K: La capacidad del sistema se puede aumentar con facilidad siempre que sea necesario (Sethi y Sethi, 1990).

L: La capacitación del sistema, niveles de calidad, por ejemplo, se puede aumentar siempre que sea necesario (Sethi y Sethi, 1990).

N: La variedad de volúmenes con los que la empresa tiene probabilidad de obtener beneficios es extremadamente alta (Sethi y Sethi, 1990).

P: El coste de la producción perdida por atender a pedidos pendientes es extremadamente bajo (Browne *et al.*, 1984).

Q: El descenso de la producción debido a una avería de maquinaria es extremadamente bajo (Browne *et al.*, 1984; Buzacott, 1982).

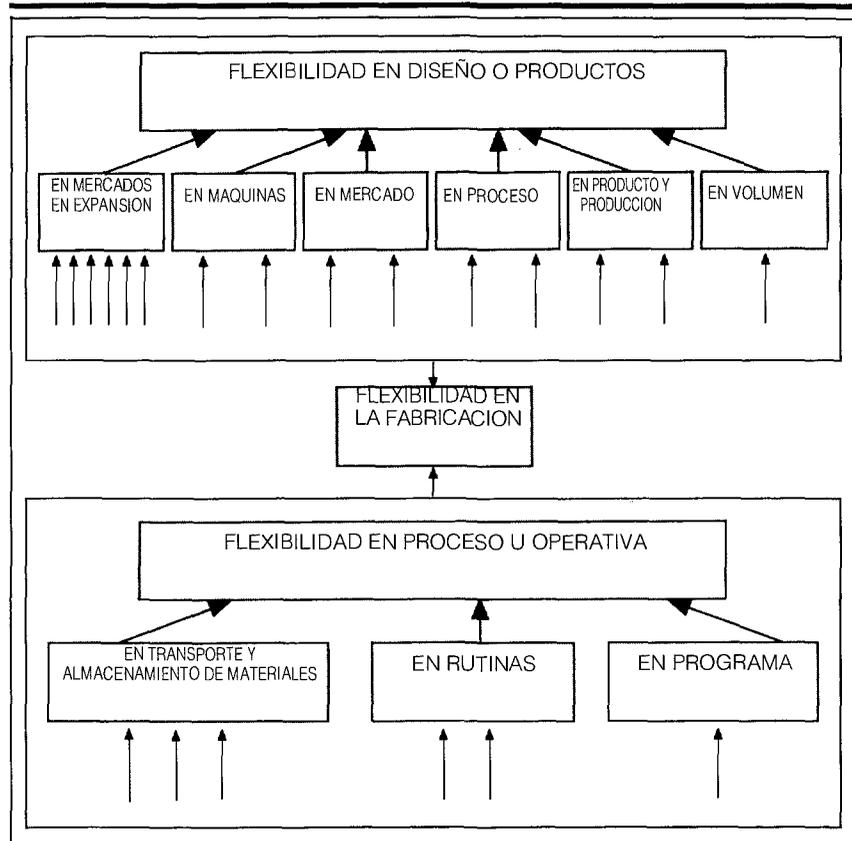
S: El número de piezas nuevas que se introduce cada año es muy alto (Jaikumar, 1986).

X: El coste del cambio de una tarea de fabricación conocida dentro del programa actual de producción es extremadamente bajo (Warnecke y Steinhilper, 1982).

Y: La relación entre el output total y el coste de espera de las piezas procesadas es extremadamente alto (Son y Park, 1987).

Z: La capacidad del sistema de transporte y almacenamiento de materiales para desplazar los diferentes tipos de piezas hacia las posiciones correctas y a través de la planta es extremadamente alta (Sethi y Sethi, 1990).

GRAFICO 1
MODELO DE MEDICION DE LA FLEXIBILIDAD EN LA FABRICACION



variables recogidas en la literatura como indicativas de la flexibilidad en la fabricación, eran realmente explicativas de ésta y de cada una de sus modalidades en particular. Para ello y partiendo de una encuesta a una muestra de 269 empresas pertenecientes a diferentes sectores, de las cuales se tenía constancia de haber realizado fuertes inversiones en automatización flexible, se procedió a clasificar tales variables en función de su explicabilidad. La técnica estadística utilizada fue el análisis factorial. Como resultado, sólo 21 de las variables fueron aceptadas y algunas de las flexibilidades parciales fueron redefinidas o eliminadas. Se pudo determinar también cuáles eran las variables que mejor ayudaban a explicar cada tipo de flexibilidad parcial tal y como se puede apreciar en la señalada figura 1.

PROPUESTA PARA EL DIAGNOSTICO PRELIMINAR

El modelo presentado en el epígrafe anterior resulta de suma utilidad para la dirección de la empresa.

Esta se deriva del hecho de que a partir de las unidades de medida de la flexibilidad en la fabricación que se proponen se puede formar un subconjunto compuesto por variables pertenecientes al área de operaciones, de cuyo análisis y observación los dirigentes empresariales pueden obtener las claves para identificar una situación de fabricación flexible y una estimación del grado de difusión e intensidad de esta flexibilidad.

Esta selección permite un importante ahorro de tiempo y esfuerzo de la dirección, que de no contar

AA: La relación entre el número de caminos que el sistema de transporte y almacenado puede recorrer y el número total de recorridos es extremadamente alta (Sethi y Sethi, 1990).

BB: El sistema de transporte y almacenamiento de materiales puede relacionar cada máquina con el resto de las máquinas (Chatterjee *et al.*, 1984).

CC: El número de operaciones diferentes que una máquina normal puede efectuar sin incurrir en un tiempo prohibitivo al cambiar de una operación a otra es muy alto (Sethi y Sethi, 1990).

DD: El número de operaciones diferentes que una máquina normal puede efectuar sin incurrir en un coste prohibitivo al cambiar de una máquina a otra es muy alto (Sethi y Sethi, 1990).

Entre estas 21 variables no se han incluido las que podrían explicar la flexibilidad en operaciones, una de las que componen la flexibilidad en diseño en nuestro esquema inicial, ni se ha recogido este tipo de flexibilidad como explicativo de la flexibilidad en diseño. Puede observarse asimismo que las flexibilidades en mercado y en expansión se han agrupado, aunque ello no ha supuesto que la flexibilidad en mercado no sea considerada de forma independiente. Las flexibilidades en producto y en producción también se han agrupado, si bien en este caso ello ha supuesto la no consideración individual de cada una de ellas.

La explicación a estos hechos se encuentra en los resultados obtenidos por Gupta y Sommers (1992) durante el proceso de desarrollo de su propuesta.

Estos autores estaban interesados en conocer cuáles de las 34

con ella, habría de analizar un amplio conjunto de variables de todas las áreas funcionales de la empresa, incurriendo normalmente en una duplicación de análisis y resultados, sin que de ello se derivase una apreciación necesariamente mejor, más fiable y actualizada, de la señalada flexibilidad. Estas ventajas hacen que se pueda presentar como un instrumento para el diagnóstico preliminar de la flexibilidad en la fabricación.

El subconjunto que se propone desde estas páginas estaría formado por los siguientes elementos:

Variables del área de operaciones relacionadas con los costes

Aquellas variables indicativas de las variaciones en el coste de los *productos terminados* derivadas de la existencia de flexibilidad en la fabricación. Se han seleccionado las variables E y F, que aluden a los costes asociados a atender a pedidos pendientes y de los posibles costes de ruptura. Se entiende que en un entorno flexible, ambas variables han de obtener una baja puntuación.

Grupo de variables indicativas de las variaciones en el coste de los *productos a fabricar* derivadas de la existencia de flexibilidad en la fabricación. Se ha elegido la variable P, la cual hace referencia a variaciones en el coste de los pedidos pendientes, respectivamente. En un entorno flexible, esta variable debe tener una baja puntuación.

Variables relacionadas con las variaciones en costes de la producción en curso que tiene lugar en un ambiente de fabricación flexible. En este grupo se incluyen las variables relacionadas con cambios que puedan sufrir los costes de los equipos (I), costes

de cambios en tareas (X), de espera (Y), de cambios en las operaciones a desempeñar por cada máquina (DD), de mano de obra (H), de averías (Q) y de transporte y almacenamiento de materiales (Z, AA y BB). Si estos costes son bajos, ello puede ser indicativo de un entorno flexible.

Variables del área de operaciones relacionadas con la calidad

En este grupo se incluye aquella unidad de medida recogida en el modelo propuesto que alude directamente a la calidad, que es la variable L. De forma indirecta, todas aquellas unidades de medida relacionadas con la facilidad del sistema para efectuar cambios de máquinas, de operaciones, o de productos, en un tiempo y coste adecuados, podrían ser consideradas indicativas de los niveles de calidad del sistema. No obstante, el objetivo perseguido es el de limitar al máximo el número de variables a observar sin perder fiabilidad ni capacidad explicativa, por lo que no se recogen tales variables indirectas.

En el caso de que la variable L tome un valor alto, existe cierta evidencia de fabricación flexible.

Variables relacionadas con la fiabilidad y rapidez en el envío

Dentro de este tercer grupo se han incluido aquellas unidades de medida indicativas de las variaciones que experimentaría *el tiempo necesario para atender a los pedidos pendientes* en un entorno flexible y de *la capacidad del sistema para aumentar su producción si aumentase la demanda*.

Por lo que respecta al tiempo, se ha distinguido entre las variaciones en el necesario para desarrollar nuevos productos y atender a una nueva demanda, representa-

do por la variable (A) y las variaciones en el tiempo necesario para fabricar los pedidos, representado por el tiempo necesario para añadir capacidad (D), el tiempo necesario para duplicar la producción (J) y el necesario para cambiar las operaciones que desempeña cada máquina (CC). La unidad de medida representativa de la facilidad para aumentar la producción es la variable K.

Las variables relacionadas con tiempo toman valores bajos ante flexibilidad en la fabricación, mientras que la capacidad para aumentar la producción toma un valor alto.

Variables del área de operaciones relacionadas con la contribución a la amplitud de la gama o mix de productos y del mix de volumen

Dentro de esta categoría se han agrupado las unidades de medida que están relacionadas con *la variedad de productos y volúmenes* que puede ofertar una fábrica flexible.

Dentro del instrumento de diagnóstico propuesto, estas unidades serían las vinculadas con el número de piezas que el sistema puede ofertar sin necesidad de efectuar inversiones adicionales (G), la variedad de volúmenes de producción con los que la empresa tiene altas probabilidades de obtener beneficios (N) y el número de piezas nuevas que se introduce cada año (S). Si estas tres variables obtienen una alta puntuación, existe una cierta evidencia de que se está ante un entorno de fabricación flexible.

Estos cuatro grupos pueden ser utilizados como señales de alerta de la existencia de flexibilidad en la fabricación, dado que las variables que engloban son relativamente sencillas de controlar. La empresa puede fijar unos estándares

res para la puntuación que se desea obtener y unas bandas de fluctuación para los mismos, lo cual facilitaría las tareas de control.

Esta agrupación presenta, adicionalmente, las siguientes ventajas:

A. Es posible realizar una estimación de la contribución de la flexibilidad en la fabricación a la consecución de los objetivos prioritarios del área de operaciones y, a partir de ella, de la contribución de este área a la consecución de los objetivos empresariales fijados en la estrategia empresarial.

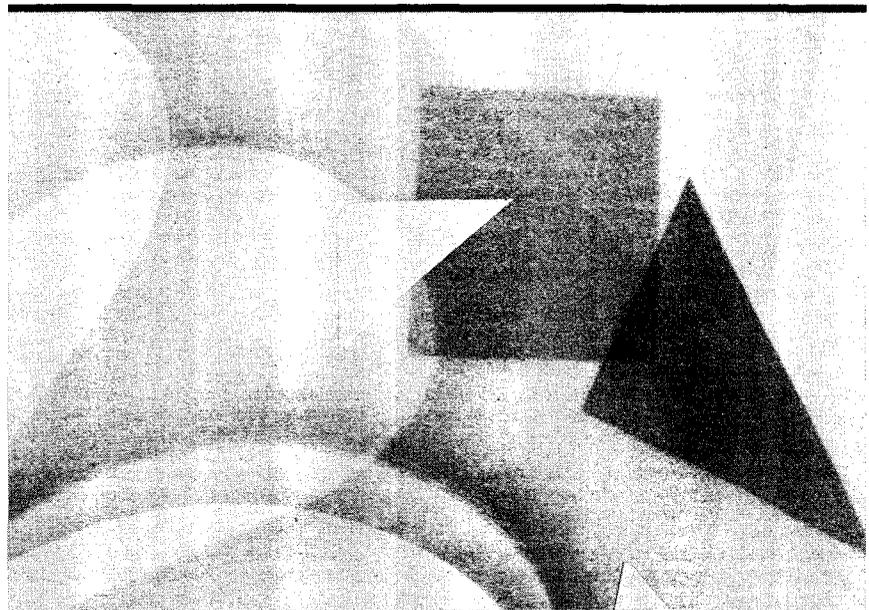
B. La cuantificación de las variaciones producidas en costes y tiempos de fabricación, mayor número de pedidos servidos y menor número de pedidos pendientes y una posible mayor cuota de mercado, puede constituir el primer paso para el desarrollo de una metodología encaminada a la justificación financiera de las inversiones en automatización flexible.

A MODO DE RESUMEN

A lo largo de este trabajo se han ofrecido posibles respuestas a las preguntas clave: *¿qué es la flexibilidad en la fabricación?* y *¿cómo se mide?*, para lo cual ha sido necesario llevar a cabo unas amplia y profunda revisión de la literatura más reciente. A partir de ellas se ofrece una sugerencia para la construcción de un conjunto de señales de alerta para la identificación de dicha flexibilidad y la estimación de su intensidad y difusión.

Ha de reconocerse que, pese a las ventajas que se derivan de las propuestas recogidas en este trabajo, éstas también presentan dos importantes limitaciones, a saber:

■ La definición de flexibilidad en la fabricación y el esquema propuesto para su medida no han



sido aún contrastados empírica y analíticamente desde el mundo académico o desde el mundo empresarial, por lo que es posible que se pueda mejorar el proceso de selección de las variables de medida.

■ Tampoco se ha contrastado por el momento si las condiciones necesarias para la existencia de flexibilidad en la fabricación aquí expuestas, inspiradas en la realidad industrial norteamericana, siguen siendo válidas para el caso español.

Estas limitaciones no invalidan, en nuestra opinión, tales propuestas, sino que, antes bien, animan a continuar en esta línea de investigación y abren nuevas áreas, a la par que ponen de manifiesto las lagunas existentes.

BIBLIOGRAFIA

ADLER, P. S. (1988): «Managing Flexible Automation», *California Management Review*, 30, 34-56.
 BERNARDO, J. J., y MOHAMED, Z. (1992): «The measurement and use of operational flexibility in the loading of Flexible Manufacturing Systems», *European Journal of Operational Research*, 60, 144-155.
 BRILL, P., y MANDELBAUM, M. (1989): «On measures of flexibility in manufacturing systems», *Omega*, 14/6, 465-473.

BROWNE, J. *et al.* (1984): «Classification of Flexible Manufacturing Systems», *The FMS Magazine* 2, 114-117.
 BUZACOTT, J. A. (1982): «The fundamental principles of flexibility in manufacturing systems», *Proceedings of the 1st International Conference on Flexible Manufacturing Systems*, Brington, U.K., octubre, 20-22.
 CARTER, M. F. (1986): «Designing flexibility into Automated Manufacturing Systems», K. E. Stecke y R. Suri, (Eds.) *Proceedings of the 2nd ORSA/TIMS Conference on Flexible manufacturing Systems: Operations Research Models and Applications*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 107-118.
 HANDRA, P., y TOMBAK, M. M. (1992): «Models for the evaluation of routing and machine flexibility», *European Journal of Operational Research*, 60, 156-165.
 CHATERJEE, A. *et al.* (1984): «Manufacturing flexibility: models and measurements», *First ORSA/TIMS Conference on Flexible Manufacturing Systems*, Ann Arbor Mi.
 CHEN, M., y SULE ALFA, A. (1992): «Parts routing in a Flexible Manufacturing System with time-varying demands», *European Journal of Operational Research*, 60, 224-232.
 CHUN, C.H., y CHEN I. J.: (1989): «A systematic assesment of te value of flexibility for an FMS. K. E. Stecke y R. Suri (Eds.) *Proceedings of the 3rd ORSA/TIMS Conference on FMS*», Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 27-34.
 — (1990): «Managing flexibility of Flexible Manufacturing Systems for competitive edge», M. J. Liberatore (ed.) *The Seleccion and Evaluation of Advanced manufacturing Technologies*, Springer-Verlag, Berlin, 290-305.
 CLARK, K.; HAYES, R., y WHEELWRIGHT, S. (1988): «Dynamic Manufacturing: creating the learning organization», *Free Press*, Nueva York.
 COX, T. (1989): «Toward the measurement of manufacturing flexibility», *Production and Inventory Management Journal*, 30/1, 68-72.
 DIXON, J. R. (1992): «Measuring manufacturing flexibility: an empirical investigation», *European Journal of Operational Research*, 60, 131-143.
 FERDOWS, K., *et al.* (1988): *Flexibility: The next competitive battle*, Manufacturing Roundtable Research Report Series, Boston University School of Management.

- GARRET, S. E. (1986): «Strategy first: A case in FMS justification», K. E. Stecke y R. Suri (eds.), Proceedings of the 2nd ORSA/TIMS Conference on Flexible Manufacturing Systems: Operations Research Models and Applications, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 17-30.
- GARVIN, D. A. (1992): *Operations Strategy: Text and Cases*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- GRAVES, S. (1988): «Safety stocks in manufacturing systems», *Journal of Manufacturing and Operations Management*, 1/1, 67-101.
- GERWIN, D. (1983): «A framework for analyzing the flexibility of manufacturing processes», *International Journal of Operations and Production Management*, 7/1, 38-49.
- GUPTA, Y. P., y GOYAL, S. (1989): «Flexibility of manufacturing systems: concepts and measurements», *European Journal of Operational Research*, 43/2, 119-135.
- (1992): «Flexibility tradeoffs in a Flexible Manufacturing System: a simulation study», *International Journal of Production Research* (en prensa).
- GUPTA, Y. P., y SOMERS, T. M. (1992): «The measurement of manufacturing flexibility», *European Journal of Operational Research*, 60, 166-182.
- GUSTAVSSON, S. O. (1984): «Flexibility and productivity in complex production processes», *International Journal of Production Research*, 22/5, 801-808.
- HAYES, R. H., y WHEELWRIGHT, S. C. (1984): *Restoring Our competitive edge: Competing through Manufacturing*, Wiley, Nueva York.
- JAIKUMAR, R. (1984): «Flexible Manufacturing Systems: A Managerial Perspective», *Harvard Business School Working Paper*.
- (1986): «Postindustrial Manufacturing», *Harvard Business Review*, 64/6, 69-76.
- JELINEK, M., y GOLDHAR, J. D. (1983): «The interface between strategy and manufacturing technology», *Columbia Journal of World Business*, XVIII/1, 26-36.
- KUMAR, V. (1987): «Entropic measures of manufacturing flexibility», *International Journal of Production Research*, 25/7, 957-966.
- MANDELBAUM, M. (1978): «Flexibility in decision making: an exploration and Unification», Tesis Doctoral, Department of Industrial Engineering, University of Toronto, Ontario.
- MASUYAMA, A. (1983): «Idea and practice of Flexible Manufacturing Systems of Toyota», Proceedings of the 7th International Conference on Production Research, Windsor, Ontario, 584-590.
- MILLER, J. G., y ROTH, A. V. (1987): *Manufacturing strategies*, Executive Summary of the 1987 North American Futures Survey, Boston, MA.
- SETHI, A. K., y SETHI, S. P. (1990): «Flexibility in Manufacturing: A Survey. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 2/4, 289-328.
- SLACK N. (1987): «The flexibility of manufacturing systems», *International Journal of Production and Operations management*, 7/4, 35-45.
- SON, Y. K., y PARK, C. S. (1987): «Economic measure of productivity, quality and flexibility in Advanced Manufacturing Systems», *Journal of Manufacturing Systems*, 6/3, 193-206.
- SWAMIDASS, P.M. (1988): «Manufacturing Flexibility, Monograph n.º 2, Operations Management Association.
- WARNECKE, H. J., y STEINHILPER, J. (1982): «Flexible Manufacturing Systems, EDP-support planning: application examples», Proceedings of the First International Conference on Flexible Manufacturing Systems, IFS Publications Ltd. Kempston, Bedford, UK, 345-356.
- YAO, D. (1987): «Material and information flows in Flexible Manufacturing Systems», *Material Flow*, 2, 143-149.
- ZELENOVIC, D. (1992): «Flexibility-A condition for effective production systems», *International Journal of Production Research*, 20/3, 319-337.