

FLEXIBILIDAD PRODUCTIVA EN UN SISTEMA MIXTO DE FABRICACIÓN A PEDIDO Y PARA INVENTARIO *

*Germán Guido Lavalle y Esteban Santucci***

Resumen: La flexibilidad productiva es un imperativo de los mercados competitivos actuales, pero ella está asociada, en general, con mayores costos, por lo que su tipo y grado deben ajustarse a la definición de negocio de cada empresa. En este trabajo se presenta un ejemplo en el que una estrategia de manufactura mixta, de producción a pedido y producción para inventario, maximiza la rentabilidad de una fábrica de alimentos. Dado que el problema de optimización no tiene solución analítica, se recurre a la simulación discreta para encontrar los parámetros óptimos de planificación de la producción.

Introducción

La definición de una estrategia de manufactura implica primordialmente la determinación de la flexibilidad requerida, para lo cual suelen definirse cinco genéricas: despachar para inventario (*ship-to-stock*, STS), fabricar para inventario (*make-to-stock*, MTS), ensamblar a pedido (*assemble-to-order*, ATO), fabricar a pedido (*make-to-order*, MTO) y comprar a pedido (*buy-to-order*, BTO). Sin embargo, la estrategia adecuada para una empresa puede ser una combinación de las anteriores para distintos productos e incluso, como se analiza en este artículo, para un mismo producto. Esto

* Este proyecto de investigación fue financiado por el Instituto Universitario ESEADE.

** Germán Guido Lavalle es Doctor en Ingeniería Nuclear (Instituto Balseiro), Investigador Principal y Profesor de (ESEADE) y Director de CANDOIT Ingeniería y Tecnología. Email: gguidolavalle@candoit.com.ar. Esteban Santucci es Ingeniero Industrial y Coordinador de Consultoría Industrial en CANDOIT.

requiere entonces un análisis particular, que es posible que requiera avanzadas técnicas de optimización.

El objetivo de este trabajo es analizar, a partir de un caso real, un sistema productivo mixto MTO/MTS y determinar la metodología de optimización adecuada. Este tipo de sistemas ha sido muy poco estudiado el pasado,¹ pero es posible que aparezcan con mayor frecuencia en la industria a medida que la presión competitiva las impulse a buscar alternativas productivas más allá de las tipologías genéricas mencionadas.

La flexibilidad es un imperativo de la manufactura moderna, como respuesta a las variaciones del entorno de la empresa y de los procesos dentro de ella, aunque debe ser consistente con la política general de la empresa ya que, en general, tiene un costo asociado por lo que debe definirse qué tipo de flexibilidad se requiere (Tsubone, Ishikawa y Yamamoto, 2002).

Se definen dos grandes grupos de flexibilidad: organizacional y productiva (Wang y Rosenshine, 1983; Zoller, 2006). La primera incluye cuatro tipos:

- de operaciones: la capacidad de satisfacer la demanda de consumidores con diferentes requerimientos,
- de mercado: la capacidad de diseñar nuevos productos,
- de suministro: la capacidad de reconfigurar geográficamente la cadena de suministros, ante cambios en los proveedores y consumidores, y
- de sistemas de información: la capacidad de alinear los sistemas de información frente a demandas variables de los consumidores.

La flexibilidad productiva incluye la capacidad de adaptarse de manera económica variando:

- Mix: combinación de productos que requiere la demanda
- Volumen o *batch*
- Capacidad
- Manejo de Materiales
- Procesos
- Maquinarias
- Centros de Trabajo

Un caso particular y que requiere una política específica lo constituye un sistema productivo en el que se balancean las ventajas y desventajas de

fabricar contra pedido y para stock, dando lugar a un sistema mixto MTO/MTS. Como se verá, esta combinación produce una flexibilidad organizacional importante, que requiere de una gran flexibilidad operativa y una adecuada optimización para que sea eficiente en costos.

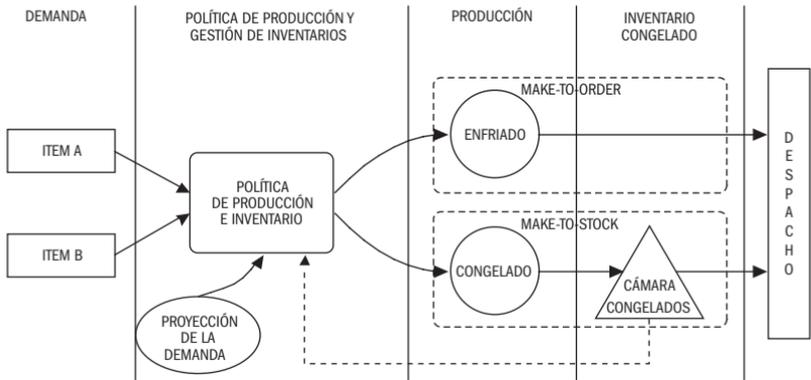
Uno de los casos en que las ventajas del MTO (sin inventario de producto terminado) se contrapesan con las del MTS (menor capacidad instalada) es el de una fábrica de alimentos, tortas y otros productos similares, que puede entregar sus productos enfriados para ser consumidos en los siguientes dos días o puede congelarlos, a un costo bastante mayor, y así guardarlos en stock.

Una fábrica de alimentos enfriados/congelados

Esta fábrica, ubicada en la provincia de Buenos Aires, Argentina, ofrece una variedad de productos, que podríamos dividir en dos grandes grupos: A y B. La demanda de estos ítems se caracteriza por contar con una marcada estacionalidad semanal y es conocida con certeza sólo el día anterior a las entregas, cuando arriban las últimas órdenes de compra de ese día. Ambos grupos de productos son, en general, fabricados y luego se mantienen enfriados para su despacho al día siguiente. Pero también existe la posibilidad de congelarlos y mantenerlos en stock por un período prolongado y así despacharlos cuando la demanda supera a la capacidad instalada. En principio, no resulta conveniente el congelamiento si existe suficiente capacidad, ya que el proceso debe realizarse con nitrógeno líquido para conservar las propiedades organolépticas del producto, lo que lo encarece significativamente.

El proceso productivo, entonces, sigue el esquema de la Figura 1: una vez que se reciben los pedidos de ambos productos debe decidirse, en base a una cierta política y a los datos de capacidad instalada, costos, y stocks, cuánto producir de cada grupo y cuánto congelar o descongelar. El establecimiento de una política que maximice la rentabilidad de la empresa será el objeto de las próximas secciones.

Figura 1. Esquema del sistema productivo



Políticas de producción e inventario

En un sistema MTO, el que se daría sin capacidad de congelar, no hay inventario de producto terminado y simplemente se produce lo que la demanda ha solicitado, si alcanza la capacidad instalada. Esta última debe estar preparada para responder a los picos de demanda.

En un sistema MTS, se fija el nivel de inventario deseado y se produce lo necesario para mantenerlo. El nivel de inventario se obtiene a partir de la demanda –su valor y su fluctuación– y la capacidad de producción, de manera de lograr un objetivo de satisfacción del cliente, expresado habitualmente como el porcentaje de veces que se cumple con los pedidos o su inversa, los *stockout*.

Pero, ¿cuál es la política adecuada en este caso? Con el fin de abastecer la demanda con un cierto nivel de servicio, minimizando los costos totales de producción (costo de producir el ítem enfriado/congelado, mantener en inventario, lanzar una orden a fábrica...) se evalúan tres políticas de producción y gestión de inventarios.

Para evaluarlas se utiliza una herramienta de simulación estocástica discreta que permite determinar los parámetros del sistema modelado que

minimizan los costos totales, sujeto a las restricciones de capacidad, niveles objetivos de inventario señalados, pronóstico de la demanda y su variabilidad y el nivel de servicio propuesto.

Se asume, a modo de ejemplo, que los costos de A son menores que los de B, que el mayor costo diferencial entre congelar y enfriar corresponde a B y que la capacidad total instalada de fábrica es flexible pudiendo producir A y/o B, ya que la producción es de mano de obra intensiva. Éstos y el resto de los parámetros que intervienen en este ejemplo se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 1. Valores de demanda, costos y capacidad utilizados en el ejemplo

Demanda			Costos				
	A	B		CP (\$/u)	CMI (\$/u/d)	CO (\$/u)	
Lunes	10	30	Enfriado	A	1	0,05	2
Martes	20	30		B	3	0,6	2
Miércoles	30	30	Congelado	A	2	0,02	2
Jueves	40	30		B	6	1,5	4
Viernes	80	30	Capacidad productiva = 90 u/d				
Sábado	90	40					
Domingo	60	40					

Política 1: inventario objetivo fijo y priorización de costos

Esta política utiliza la capacidad instalada para producir enfriado, en primer lugar, aquel producto cuyo costo diferencial enfriado/congelado sea mayor, y luego produce enfriado el restante. Si resta capacidad instalada, la utiliza para llegar a un nivel de inventario congelado para cada producto, comenzando por el de menor costo congelado. Si la capacidad no fuera suficiente, utiliza el stock disponible para abastecer la demanda.

Para fijar los niveles objetivo, se determinan los mínimos necesarios para abastecer completamente a la demanda en el caso en que se verifiquen de modo determinante los pedidos promedio señalados y se le agrega un stock de seguridad para acomodar las fluctuaciones.

Política 2: inventario objetivo fijo y priorización de la demanda

La política anterior tiene un problema evidente: en su afán por minimizar costos, prioriza la producción enfriada de uno de los productos, sin reparar en el stock de cada uno, lo que lleva a aumentar la probabilidad de *stockout* del segundo o su contrapartida también indeseada: la necesidad de elevados niveles de inventario.

En esta segunda política, entonces, se contabiliza primero el stock de cada uno de los productos, realizando una producción enfriada que tienda a evitar el *stock out*. Si es posible hacerlo, sólo después prioriza entre los productos de acuerdo a sus costos relativos.

Política 3: inventario estacional y priorización de la demanda

Dado que se conoce la variación semanal promedio de la demanda, puede establecerse un nivel de inventario objetivo para cada día. Como en los casos anteriores existe un mínimo, diario en este caso, que permite abastecer a la demanda promedio y puede agregarse un stock de seguridad para las variaciones.

En cuanto al modelo de programación de la producción, se mantiene el enunciado en la política B.

Evaluación de las políticas

Para la primera política, el nivel de servicio o porcentaje de unidades no abastecidas es función únicamente del inventario objetivo del ítem A, a partir de un cierto nivel de stock congelado del producto B. En efecto, dado que la prioridad es producir B enfriado, si la capacidad es superior a su pico de demanda, nunca habrá *stockout* de este producto.

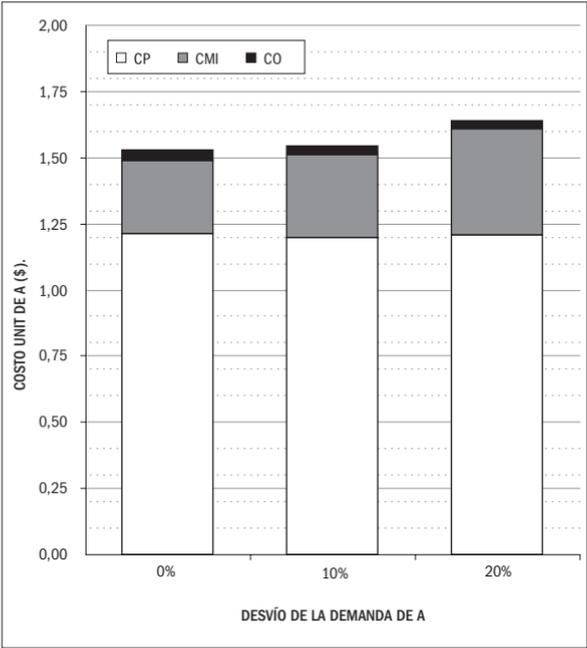
Entonces, suponiendo que el pronóstico de la demanda se cumple perfectamente, el nivel de inventario objetivo para A corresponde al necesario para cumplir completamente con el abastecimiento de la demanda total y no es conveniente mantener ningún inventario de B.

En el caso que la demanda real varíe respecto del pronóstico –se asume que ocurre con una distribución normal–, se puede determinar el stock de

seguridad requerido para A que minimice los costos totales, para un cierto nivel de servicio. La Figura 2 deja en evidencia el incremento de los costos de mantenimiento de inventarios dados por una mayor incertidumbre en la demanda. El costo, resultado de sumar el costo de producción (CP), más el de mantenimiento de inventario (CMI) más el de ordenar a fábrica (CO), sube consecuentemente.

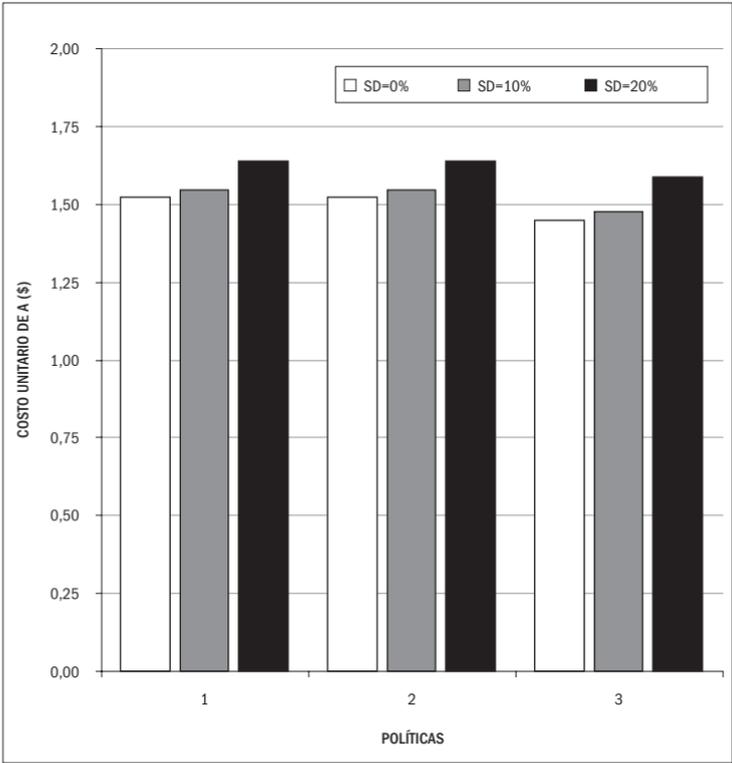
En contraste con la anterior, con la segunda política el nivel de servicio es función tanto del inventario objetivo de A como de B. Si éstos son fijados, el nivel de servicio que se obtiene es mayor, al hacer un uso más racional de los inventarios. Sin embargo, la solución óptima que se obtiene con esta política brinda los mismos resultados que la anterior, ya que se obtienen para condiciones en las cuales no se congela nada del producto con mayor costo de congelamiento.

Figura 2. Costos unitarios de A para una demanda con distintos desvíos estándar



Para la tercer alternativa, en cambio, los resultados mejoran bastante. Al bajar el nivel de inventario promedio por tener en cuenta la estacionalidad, se reducen consecuentemente los costos de congelar y con ello descenden los costos unitarios. Una comparación de las tres políticas se observa en la Figura 3. Allí puede verse que los costos unitarios son siempre crecientes al aumentar la fluctuación de la demanda (se muestran para desvíos de 0, 10 y 20%), pero en todos los casos resultan inferiores al aplicar la última política.

Figura 3. Comparación de las políticas de producción e inventarios para demandas con desvío estándar de 0, 10 y 20%



Conclusiones

A modo de conclusión, el aspecto a destacar es que los costos unitarios no son independientes de la política de producción, sino que se hallan directamente determinados por ella. Y la política más conveniente debe establecerse en cada caso, dependiendo de la estacionalidad de la demanda, la capacidad productiva y todos los costos asociados.

En el caso que se ha planteado, de manera simplificada, las políticas tradicionales de MTS o MTO no dan una respuesta adecuada, ya que las ventajas y desventajas de ambas se balancean. Esto da lugar a un óptimo, definido como la capacidad a instalar para satisfacer la demanda con un cierto nivel de servicio y que presente los menores costos unitarios, que se obtiene congelando parte de la producción pero abasteciendo la mayor cantidad posible de manera enfriada.

En términos generales, la política mixta estudiada para esta empresa produce un grado de flexibilidad organizacional muy grande, no sólo de tipo operativo sino también de mercado, ya que le permite abastecer a mercados alejados del centro de producción, lo cual no era posible sin la facilidad de congelamiento.

Esta política flexible requiere de la optimización en costos, dado el diferencial que tiene el proceso de congelamiento; esta optimización se realizó mediante simulación discreta, ya que el problema no tiene solución analítica.

NOTAS

- 1 Ver Federgruen y Katalan, 1999; Gaimon y Shingal, 1992; Goldsby y García-Dastugue, 2006; Kogan, Khmel'nitsky y Maimon, 1998; Plossl, 1985.

BIBLIOGRAFÍA

- Federgruen A. y Ziv Katalan, 1999, "The Impact of Adding a Make-to-Order Item to a Make-to-Stock Production System", *Management Science*, Vol. 45, 7:980-994.
- Gaimon, C. y V. Shingal, 1992, "Flexibility and the choice of manufacturing facilities under short product life cycles", *European Journal of Operational Research*, Vol. 60, 2:211-233.
- Goldsby T. y S. J. García-Dastugue, 2006, "The Manufacturing Flow Management Process", en *Supply Chain Management: Processes, Partnerships, Performance*, D. Lambert (ed.), Supply Chain Management Institute.
- Kogan, K., E. Khmel'nitsky y O. Maimon, 1998, "Balancing facilities in aggregate production planning: make-to-order and make-to-stock environments", *International Journal of Production Research*, Vol. 36, 9:2585-2596.
- Plossl George W., 1985, *Production and Inventory Control: Principles and Techniques*, Prentice-Hall, 2a.edición.
- Tsubone, H., Y. Ishikawa y H. Yamamoto, 2002, "Production planning system for a combination of make-to-stock and make-to-order products", *International Journal of Production Research*, vol. 40, 18:4835-4851.
- Wang, M.F. y M. Rosenshine, 1983, "Scheduling for a combination of made-to-stock and made-to-order jobs in a job shop", *International Journal of Production Research*, Vol. 21, 5:607-616.
- Zoller, K., 2006, "Differentiating in-stock service by customer value", *International Journal of Logistics: Research and Applications*, Vol. 9, 2:95-110.