

Planificación estratégica de la capacidad en una empresa del sector alimentación *Strategic multi-site capacity planning for a food industry*

Ramon Companys-Pascual, Imma Ribas-Vila y Joaquin Bautista-Valhondo

¹ Dpto. Organització d'Empreses. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona. Avda. Diagonal 647, 08028, Barcelona, España
ramon.companys@upc.edu, imma.ribas@upc.edu, joaquin.bautista@upc.es

Fecha de recepción: 27-2-2012

Fecha de aceptación: 8-10-2012

Resumen: En esta comunicación se describe el procedimiento propuesto a una empresa del sector de la alimentación para planificar la capacidad productiva de las diferentes plantas aprovechando el cambio de ubicación forzoso de una de ellas. El caso de estudio puede servir de referencia a otros profesionales que se enfrenten a una situación semejante.

Palabras clave: Planificación capacidad, diseño cadena suministro, caso industrial

Abstract: This paper describes the proposed procedure for the multi-site capacity planning of a food company that was obliged to move one of its production sites to a new location. Due to this change the managers of the company wanted to know the capacity requirement of the new site, the assigned products to this plant and the impact of these decisions over the other manufacturing sites. In brief, they wanted to know the efficient production map of the company for the next 3 - 5 years.

The company had 6 manufacturing sites which produced about 100 products grouped in 22 families. Each family was associated to a production line. The most demanded products could be produced in several plants, at the same time, whereas some other products only on a certain site. Only one raw material was critical and with influence on the productive map, therefore, it was considered in the problem formulation.

The plants sent their output to 5 regional centres which were in charge of supplying the demand of 38 distribution centres. This distribution centres, in turn, were in charge of serving the requirements of the points of sale. Therefore, the supply chain consisted of 4 levels: suppliers, plants, regional centres and distribution centres.

The problem was formulated as a mathematical program. The main variables were the quantity to produce of each product at each plant, in a certain period of time, the quantity to be transported of each product from the manufacturing sites to the regional centres and the raw material supplied for each supplier to each plant. The mathematical constraints described the production constraints, the supply and transport constraints and the rules established by the company. The parameters were the availability of raw materials from each supplier, the minimum lot size of each product, the capacity of vehicles from transport the products, the demand of each product per distribution centre and the cost associated to suppliers, to the transport, with the set up of lines and the changeover cost in each line. The objective was to minimize the operating cost.

The mathematical model had to allow simulating several scenarios of demand, capacity and configuration of plants. The system was implemented in three modules. The first module was a pre-processor to set the information and scenario to simulate with different hypothesis of demand, minimum lot size, and constraints. Next, the processor implemented in Lindo and finally, the post-processor to summarize the obtained and to prepare and show several reports.

Finally, the results and conclusions were presented to the steering committee. Our proposal was not the cheapest but was the one that demanded less inversion and changes. The implemented system was transferred to the company who continued with the study to take the final decision.

Keywords: capacity planning, supply chain design, industrial case.

1. Introducción

La planificación de la capacidad es un aspecto crítico en diferentes industrias. En la última década se ha publicado diversos artículos sobre la planificación es-

tratégica de la cadena de suministro y en particular, sobre la planificación de la capacidad en empresas de semiconductores, por ejemplo (Barahona et al., 2005), (Zhang et al., 2007), automóvil (Chauhan et al., 2004) y farmacéuticas (Papageorgiou et al., 2001).

En cambio, a nuestro entender, no hay ningún caso de estudio publicado sobre la planificación de la capacidad en empresas del sector de la alimentación. Como es bien conocido, éste es un sector muy regulado y con márgenes ajustados por lo que la eficiencia en la toma de decisiones es crucial.

En esta comunicación se describe el procedimiento propuesto a una empresa del sector de la alimentación para planificar la capacidad productiva de las diferentes plantas aprovechando el cambio de ubicación forzoso de una de ellas. El caso de estudio no es reciente, pero creemos que el procedimiento de análisis y resolución del problema planteado es vigente y que puede servir de referencia a otros profesionales que se enfrenten a una situación semejante.

2. Descripción del problema

Una empresa del sector de la alimentación, que denominaremos ACME, debía trasladar uno de sus centros productivos que había quedado situada en plena zona urbana. Al tratarse de una nueva fábrica, la dirección de la empresa se preguntaba cuál debería ser la dimensión de la nueva planta y qué productos se fabricarían en ella. El subdirector de producción consideraba que la decisión que se tomase respecto a esta fábrica repercutiría en los otros centros productivos y, por tanto, que debía considerarse todo el sistema globalmente.

La empresa disponía de 6 fábricas en la península, distribuidas en función de la situación de proveedores y mercados. En dichas fábricas se producían del orden de 100 productos, agrupados en 22 familias. Cada familia estaba asociada a un tipo de línea productiva.

Aunque existía una cierta especialización de las fábricas, los productos más populares se fabricaban en varios lugares a la vez, lo que significaba que algunas fábricas no fabricaban ciertos productos, aunque disponían de la línea productiva correspondiente.

La producción de las fábricas se enviaba a 5 centros regionales (CR), desde los que se alimentaban 38 centros de distribución (CD), los cuales a su vez surtían a los puntos de venta. Adicionalmente, se había creado un CR en Portugal. El transporte a larga distancia se realizaba con el producto dispuesto en contenedores reutilizables, por lo que era necesario garantizar el retorno de los mismos (Fig. 1).

Figura 1

Suministradores, fábricas y centros regionales

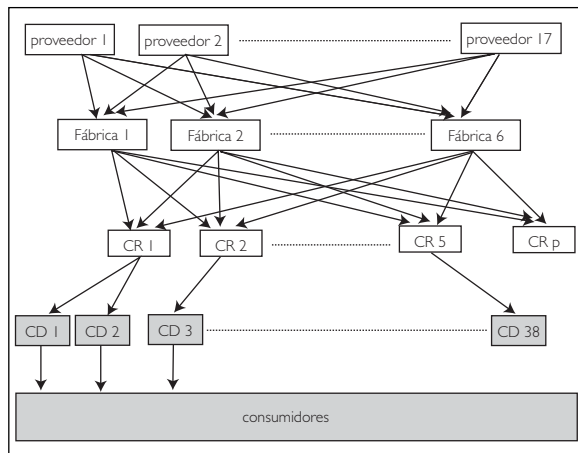


De las materias primas necesarias para la elaboración del producto sólo una se consideró crítica, y por tanto con influencia en el mapa productivo. Se identificaron 17 fuentes de suministro de dicha materia, cada una con un precio y calidad distinto. Además, en las primeras fases del proceso productivo se obtenía un subproducto que era utilizado posteriormente. Aunque las cantidades producidas y consumidas de este subproducto variaban según las fábricas y productos fabricados, el balance global era positivo, por lo que no se debía recurrir a una fuente externa de suministro. En consecuencia se consideró también el transporte de dicho subproducto en la definición del mapa.

Dada la naturaleza del producto y de acuerdo a las normas legales vigentes, éste estaba asociado desde su fabricación a una fecha de caducidad, lo cual implicaba una adaptación de la producción al consumo cercano, y por tanto la imposibilidad de recurrir a los stocks como procedimiento para equilibrar oferta y demanda a largo plazo. Por otra parte, la naturaleza de la demanda incluía variaciones estacionales, pero además diferencias en la tipología de consumo entre unas zonas geográficas y otras.

La empresa tenía la política de atención estricta de la demanda. Por tanto, el objetivo perseguido en la definición del mapa era la minimización de los costes de operación del sistema. Existían, pues, cuatro niveles en la cadena de suministro que se debían considerar: los suministradores, las fábricas, los centros regionales y los centros de distribución (Fig. 2)

Figura 2

Estructura de los niveles de la cadena de suministro**3. Formulación matemática**

Tras una primera toma de contacto, entendimos que se nos había encargado la determinación de un mapa productivo que minimizara los costes de explotación a tres años vista. Nos pareció razonable utilizar un modelo lineal siguiendo los ejemplos de (Johnson y Montgomery, 1974), (Ventura, 1968) y (Corominas et al., 1985). Las variables principales del modelo eran las cantidades a producir de cada producto, en cada fábrica, dentro de un determinado período de tiempo (se eligió una semana), las cantidades a transportar desde las fábricas a los CR y las cantidades de materia prima suministrada por cada fuente a cada fábrica. Las restricciones traducían las limitaciones productivas, de aprovisionamiento y de transporte, así como algunas reglas establecidas en función de políticas de la empresa. Los parámetros eran la disponibilidad de materia prima en cada fuente, las capacidades productivas de cada fábrica, los lotes mínimos de cada producto, las capacidades de transporte entre cada fábrica y CD, la demanda de cada producto a atender en cada CD, y los costes unitarios.

Los costes a considerar eran, en principio:

- Coste del suministro de material.
- Coste de transporte del producto terminado.
- Coste de puesta en marcha de las líneas de producción.
- Coste del cambio de producto.
- Coste de transporte del subproducto.

Era importante, sobre todo en una primera fase, no complicar excesivamente el modelo, en consecuencia el tema del transporte del subproducto se dejó para una segunda fase. En cualquier caso su impacto habría sido desdeñable. Tampoco el retorno de contenedores era un aspecto relevante: los contenedores eran plegables, por tanto ocupaban menos volumen una vez vacíos y los convoyes eran de ida y vuelta.

La política de la empresa establecía que, para un producto determinado, cada CR se abastecía sólo de una fábrica. Este condicionante no fue introducido en el modelo, pero en los resultados obtenidos, los incumplimientos eran prácticamente inapreciables. Por otra parte la política de la empresa implicaba que cada CD estaba asociado a un solo CR, por tanto consideramos definidas las conexiones CD-CR, pensando tener en cuenta más adelante la posibilidad de modificaciones (posiblemente con la ayuda de una heurística).

El modelo matemático debía permitir analizar las consecuencias de diversas hipótesis, a fin de comparar alternativas tácticas y estratégicas. Por ejemplo:

- H0: Estructura inicial, con diversas posibilidades de demanda.
- H1: Estructura ampliada de las líneas existentes (modificando las capacidades productivas en alguna o algunas fábricas existentes,
- H2: Eliminación de alguna de las fábricas existentes, adaptando convenientemente las demás,
- H3: Adición de una nueva fábrica, determinando los productos a producir y su repercusión en el resto de fábricas.

3.1. Descripción detallada del Modelo

Sea i el índice de productos, l el de las líneas, s el de suministradores, j el de las fábricas, k el del centro regional y r el de la ruta. Llamamos $\Pi(l)$ al conjunto de productos i asociados a la línea l y $\Omega(r)$ a las conexiones (j, k) asociadas a la ruta r . La demanda se considera determinista y conocida. Las variables empleadas son:

U_l cantidad de la materia prima requerida en l

$V_{s,j}$ cantidad de la materia prima enviada de s a j

$Q_{i,j}$ cantidad del producto i fabricado en j

$T_{i,j,k}$ cantidad del producto i transportado de la fábrica j al CR k

x_{ij} variable binaria; $1 = i$ se fabrica en j ; $0 = i$ no se fabrica en j

y_{lj} variable binaria; $1 = l$ está instalada en j ; $0 = l$ no está en j

N_r variable entera; número de camiones en la ruta r

Y los parámetros considerados:

W_s disponibilidad de la materia prima en s

P_{lj} capacidad de la línea l en la fábrica j (ver nota)

p_i lote mínimo del producto i

$D_{i,k}$ demanda del producto i en k

a_i requerimiento de la materia prima del producto i

b_i factor que transforma unidades del producto i en camiones

$CM_{s,j}$ coste unitario de la MP de s puesta en j

CP_{lj} coste de la puesta en marcha de la línea l en j

CC_{lj} coste del cambio de producto en la línea l

CT_r coste de transporte de un camión en la ruta r

En el transporte de producto terminado existía una transformación intermedia de cantidad de producto a número de contenedores y de estos a camiones. En el modelo sintetizamos el conjunto mediante el coeficiente b_i .

El problema se formuló como sigue, denominando z a la función objetivo:

$$z = \sum_{s,j} CM_{s,j} \cdot V_{s,j} + \sum_r CT_r \cdot N_r + \sum_{l,j} CP_{lj} \cdot y_{lj} + \sum_{l,j} CC_{lj} \cdot \sum_{i \in \Pi(l)} x_{ij}$$

Sujeto a:

$$U_j + \sum_i a_i \cdot Q_{i,j} \leq \sum_s V_{s,j} \quad \forall s, j \quad (1.1)$$

$$W_s \geq \sum_j V_{s,j} \quad \forall s, j \quad (1.2)$$

$$x_{ij} \leq y_{il} \quad \forall i \in \Pi(l) \quad (1.3)$$

$$U_j + \sum_i a_i \cdot Q_{i,j} \leq \sum_s V_{s,j} \quad \forall s, j \quad (1.1)$$

$$W_s \geq \sum_j V_{s,j} \quad \forall s, j \quad (1.2)$$

$$x_{ij} \leq y_{il} \quad \forall i \in \Pi(l) \quad (1.3)$$

$$Q_{i,j} \geq p_i \cdot x_{i,j} \quad \forall i, j \quad (1.4)$$

$$\sum_{i \in \Pi(l)} Q_{i,j} \leq P_{l,j} \quad \forall l, j \quad (1.5)$$

$$\sum T_{i,j,k} \leq Q_{i,j} \quad \forall i, j \quad (1.6)$$

$$\sum_{i,(j,k) \in \Omega(r)} b_i \cdot T_{i,j,k} \leq N_r \quad \forall r \quad (1.7)$$

$$\sum_j T_{i,j,k} \leq D_{i,k} \quad \forall i, k \quad (1.8)$$

Las ecuaciones (1.1) y (1.2) corresponden a restricciones de aprovisionamiento, las ecuaciones (1.3-1.5) corresponden a restricciones de producción, las (1.6) y (1.7) a limitaciones de transporte y la (1.8) indica que la cantidad de cada especialidad transportada a cada CR corresponde a la demanda concentrada en este.

4. Implementación y explotación

Dado que en algunas explotaciones, por lo menos al analizar la situación inicial, la estructura de líneas de producción de cada fábrica y los productos fabricados en cada una era una constante, mientras que en otras dicho aspecto debía quedar como variable, asociamos a cada pareja línea —fábrica y producto— fábrica unos parámetros ternarios que permitían fijar el valor de las variables y_{lj} y x_{ij} a 0, a 1 o a la discreción del modelo.

La demanda futura se realizó por proyección de la demanda inicial en cada uno de los CD (añadiendo el impacto de nuevos productos previstos). Posteriormente se trasladaba esta demanda a los CR gracias a la conexión CD-CR establecida. La estacionalidad se tuvo en cuenta, en la fase definitiva, considerando dos alternativas de demanda y de disponibilidad de la materia prima: alternativa verano y alternativa invierno que se traducían en dos programas lineales para cada hipótesis relativa a las instalaciones cuyos resultados, convenientemente ponderados, proporcionaban un valor anual. Para mantener idéntica la estructura física de la planta era imprescindible recurrir a los parámetros ternarios.

El sistema implementado constaba de una primera parte, que llamamos pre-proceso, compuesta de cinco pasos:

1. Introducción de hipótesis sobre la relajación de lote mínimo, o de integridad de las variables y sobre las restricciones particulares siguientes:
 - Fijando el número máximo de fabricas de un determinado tipo de línea.
 - Activando o desactivando un determinado tipo de línea en una fábrica.
 - Activando o desactivando la fabricación de un producto en una fábrica.
 - Activando o desactivando el transporte desde una fábrica a un CR.
2. Cálculo y controles auxiliares.
3. Determinación de imposibilidades y de las variables innecesarias o fijadas.
4. Construcción efectiva del modelo
5. Escritura del programa lineal en un archivo.

Los resultados se condensaron en cinco tipos de informe para identificar qué familias se fabricaban en cada fábrica, qué cantidad de cada producto fabricaba cada fábrica, relación de las fábricas y los CR, cantidad de materia prima que cada fuente de suministro envía a cada fábrica, y costes.

Las primeras experiencias computacionales dieron unos tiempos de explotación aceptables si el modelo era «cerrado» (con la mayoría de las líneas fijadas a través de los parámetros ternarios) o «relajado» (sin obligar a que las fabricaciones satisficieran las restricciones de lote mínimo), pero eran excesivos si el modelo era muy «abierto». En cualquier forma ya existía una situación inicial y no era verosímil que a corto plazo (unos 5 años) fuese interesante o posible, darle enteramente la vuelta. Las posibilidades de evolución de las líneas de cada fábrica, en tipo de familia y capacidad en el horizonte analizado dependía estrechamente de la situación inicial, de las características propias de cada fábrica (especialmente de la superficie disponible) y de las tecnologías disponibles en el mercado. Esto nos llevó a utilizar un procedimiento de exploración en el conjunto de las alternativas, utilizando los parámetros ternarios para poder orientar la solución. A partir de un juego de hipótesis poco restrictivo (modelo «abierto»), rela-

jando ciertas condiciones (por ejemplo la existencia de lotes mínimos) podía obtenerse una primera solución. Analizada dicha solución se llegaba a clasificar las familias en dos categorías, aquellas en las que la ubicación de las líneas no presentaba dudas y aquellas en las que persistía la ambigüedad. De esta forma se definía un conjunto restringido de alternativas a explorar, que conducía a modelos con menos «ambigüedad». El resultado final era una colección de conjuntos de alternativas vecinas, técnicamente coherentes, con evaluación del coste anual de explotación de cada una de ellas.

En la presentación final se presentaron las conclusiones y la alternativa elegida, que no era la de menor coste pero implicaba menos cambios y menor inversión. El sistema informático fue traspasado al personal de la empresa que prosiguió autónomamente a profundizar en el estudio a fin de tomar la decisión definitiva.

5. Conclusiones

El sistema implementado permitió a la empresa definir una estrategia productiva y de capacidad en las diferentes fábricas. La formalización de las hipótesis alternativas permitió desarrollar un sistema de pre-proceso que sirvió para generar modelos muy variados, con modificaciones estructurales muy traumáticas, como añadir o suprimir fábricas o centros regionales y que permitía reducir el tiempo de cómputo de manera sustancial.

El sistema se utilizó para la planificación estratégica pero con pequeñas modificaciones se podría utilizar para la planificación táctica.

Agradecimientos

Este trabajo se enmarca en el proyecto DPI2010-15614 financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad.

Bibliografía

- BARAHONA, F., BERMON, S., GÜNLÜK, O., Hood, S., «Robust capacity planning in semiconductor manufacturing», *Naval Research Logistics (NRL)*, vol.52, no.5, pp.459-468, 2005.
- CHAUHAN, S. S., NAGI, R., PROTH, J. M., *Strategic capacity planning in supply chain design for a new market op-*

- portunity, *International Journal of Production Research*, vol.42, no.11, pp. 2197-2206, 2004.
- COROMINAS, A., BAUTISTA, J., OLIVA, J. *Planificació de la capacitat i programació de la producció d'una empresa ceresera mitjançant la programació lineal. Qüestió 9/4*, 1985.
- JOHNSON, L.A.; MONTGOMERY, D.C. *Operations Research in Operation Planning, Scheduling and Inventory Control*. Wiley, 1974.
- PAPAGEORGIU, L. G., ROTSTEIN, G. E., SHAH, N., *Strategic supply chain optimization for the pharmaceutical industries, Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 40, pp. 275-286, 200.
- VENTURA, E. *Programmation de la production dans une entreprise d'engrais*. IV Reunión Nacional de Investigación Operativa; II Coloquio Franco-español de Investigación Operativa, 1968.
- ZHANG, M. T., NIU, S., DENG, S., ZHANG, Z., LI, Q. & ZHENG, L., *Hierarchical capacity planning with reconfigurable kits in global semiconductor assembly and test manufacturing, IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 4, pp. 543-552, 2007.