



6TH International Conference on Industrial
Engineering and Industrial Management

XVI CONGRESO DE INGENIERÍA DE ORGANIZACIÓN

Book of Full Papers
Libro de Comunicaciones



*Industrial Engineering:
Overcoming the Crisis*

Title/Título de la obra:

“Industrial Engineering: Overcoming the Crisis”. Book of Full Papers of the 6th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management – XVI Congreso de Ingeniería de Organización.

© Executive Editors/Editores:

José Carlos Prado Prado

Jesús García Arca

José Antonio Comesaña Benavides

Arturo José Fernández González

Grupo de Ingeniería de Organización

Universidad de Vigo

Escuela de Ingeniería Industrial, sede Campus

CI Maxwell, s/n – Campus Lagoas-Marcosende

36310 Vigo (Pontevedra)

Design and Editing / Diseño y Edición:

Reprogalicia, S.L.

Legal Deposit/Depósito Legal: VG 549-2012

ISBN: 978-84-938642-5-5

Not authorized for further reproduction or distribution of any kind without prior permission from the editors.

No está permitida la reproducción total o parcial, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, fotocopia, registro u otro, sin permiso previo y por escrito de los editores.

Systematic improvement of IT processes. Application of CMMI.DEV in implementation of ERP <i>Grijalvo Martín M, Ocampo Aguirre A, Vargas Pérez, A</i>	696
Lean toolbox for seasonal process industries: A nougat fabrication case study <i>Tanco M, Santos J, Rodríguez JL, Reich J</i>	704
Implementing KPIs in SMEs through personnel participation. A case study <i>Prado-Prado JC, Comesaña-Benavides, J.A.</i>	712

SPANISH TRACKS 721

SP-01. Gestión de la Logística y la Cadena de Suministro, Transporte y Distribución Física

Control de Carga y Descarga en Núcleos Urbanos usando Tecnología RFID y Metodología Multiagente <i>Marco Montes De Oca JA, Conde Collado J</i>	724
Combustibles y Sistemas de Propulsión en el Transporte Público Urbano en Autobús <i>Maeso González E, González Sánchez G, Pérez Cerón P</i>	731
Planificación estratégica de la capacidad en una empresa del sector alimentación <i>Pascual R, Ribas Vila I, Bautista Valhondo, Joaquin</i>	739
Aplicación de la metodología GRASP al problema de Rutificación de Vehículos (VRP) <i>Priore P, Martínez C, Villanueva V, Lozano J, Fernández I</i>	747
Oportunidades del <i>daily drayage problem</i> en la optimización del transporte de mercancías europeo <i>Escudero A, Muñuzuri J, Onieva L, Arango C</i>	755
Consecuencias de la no cooperación en la cadena de suministro del sector auxiliar del automóvil <i>Lampón J.F, Sartal A, Lozano L. M, Vazquez X.H</i>	762
La alimentación a una línea de montaje. Procedimientos y Costes <i>Valero-Herrero M, Garcia-Sabater JP, Morell-Monzo V</i>	770
Operativa de transferencia en las terminales de contenedores portuarias: estado del arte <i>Carlos Arango, Pablo Cortes, Pablo Ruiz, Javier Navascues</i>	777

Planificación estratégica de la capacidad en una empresa del sector alimentación

Strategic multi-site capacity planning for a food industry

Comanys Pascual¹ R, Ribas Vila I² , Bautista Valhondo, Joaquin³

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 productive centers to a new location. The case analysis can help to other professionals to face up with similar situations.

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.

¹ Ramon Comanys Pascual (✉)
Dpto. Organització d'Empreses. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria industrial de Barcelona,
Universitat Politècnica de Catalunya, BarcelonaTech
Avda. Diagonal 647 08028 Barcelona, Spain
e-mail: ramon.comanys@upc.edu

² Imma Ribas Vila
Dpto. Organització d'Empreses. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria industrial de Barcelona,
Universitat Politècnica de Catalunya, BarcelonaTech
Avda. Diagonal 647 08028 Barcelona, Spain
e-mail: imma.ribas@upc.edu

³ Joaquin Bautista Valhondo
Nissan Chair, Barcelona
Dpto. Organització d'Empreses. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Barcelona,
Universitat Politècnica de Catalunya, BarcelonaTech
Avda. Diagonal 647 08028 Barcelona, Spain
e-mail: joaquin.bautista@nissanchair.com

Keywords: capacity planning, supply chain design, industrial case

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

1.1 Introducción

La planificación de la capacidad es un aspecto crítico en diferentes industrias. En la última década se han publicado diversos artículos sobre la planificación estratégica 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 (Papa-georgiou 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, este 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.

1.2 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.

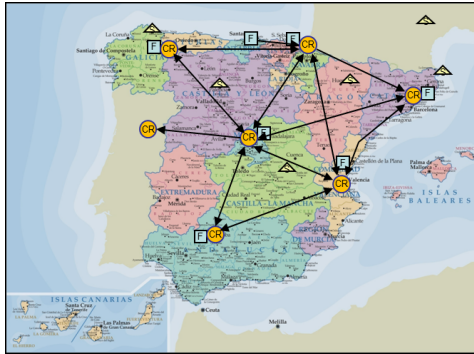


Fig. 1.1 Suministradores, fábricas y centros regionales

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. 1.1).

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)

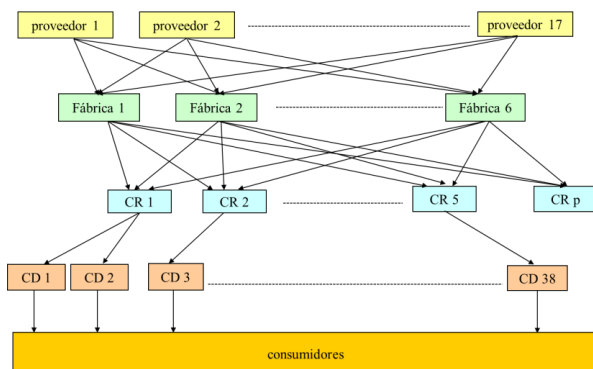


Fig. 1.2 Estructura de los niveles de la cadena de suministro

1.3 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.

1.2.1 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
$V_{s,i}$	cantidad de la materia prima enviada de s a j
$Q_{i,i}$	cantidad del producto i fabricado en j
$T_{i,j,k}$	cantidad del producto i transportado de la fábrica j al CR k
$x_{i,j}$	variable binaria; $1 = i$ se fabrica en j ; $0 = i$ no se fabrica en j
$y_{l,j}$	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
$P_{l,j}$	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
$CP_{l,j}$	coste de la puesta en marcha de la línea l en j
$CC_{l,i}$	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 éstos 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:

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

Sujeto a:

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

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

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

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

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

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

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

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

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.

1.4 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 otros 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 $y_{l,j}$ y $x_{i,j}$ 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 fábricas 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”), relajando 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, técnica-

mente 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.

1.5 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.

1.5 Agradecimientos

Financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (proyecto DPI2010-15614).

1.6 Referencias

- Barahona, F., Bermon, S., Günlük, O., Hood, S. 2005, Robust capacity planning in semiconductor manufacturing, *Naval Research Logistics (NRL)*, vol.52, no.5, pp.459-468.
- Chauhan, S.S., Nagi, R., Proth, J.M. 2004, Strategic capacity planning in supply chain design for a new market opportunity, *International Journal of Production Research*, vol.42, no.11, pp.2197-2206.
- Corominas, A., Bautista, J., Oliva, J. 1985. Planificació de la capacitat i programació de la producció d'una empresa cervesera mitjançant la programació lineal. *Qüestió 9/4*
- Johnson, L. A.; Montgomery, D. C. 1974 .*Operations Research in Operation Planning, Scheduling and Inventory Control*. Wiley
- Papageorgiou, L.G., Rotstein, G.E., Shah, N. 2001, Strategic supply chain optimization for the pharmaceutical industries, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol.40, pp.275-286.
- Ventura, E. 1968. *Programmation de la production dans une entreprise d'engrais*. IV Reunión Nacional de Investigación Operativa; II Coloquio Franco-español de Investigación Operativa.
- Zhang, M.T., Niu, S., Deng, S., Zhang, Z., Li, Q. & Zheng, L. 2007, 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.