

GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Autor: Miguel Ángel Muñoz Pérez.
Primera versión: Noviembre, 1997.
Última modificación: Noviembre, 2006.

ADVERTENCIA

Si te interesan los temas de producción, te invito a que sigas leyendo. A los expertos en el tema advertirles que no van a encontrar nada novedoso aquí. Este documento no es de investigación, sino de divulgación y es “free”.

No tienes que ser un mago con los números para entender lo que aquí se cuenta. Basta con que sepas "las cuatro reglas", que siempre ha dicho mi madre: sumar, restar, multiplicar y dividir.

DEFINICIÓN DE GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Mediante la gestión de la producción se intenta ordenar el flujo de materiales en las empresas productoras o industriales. Si no te has enterado de nada te explico desde el principio.

Bien, no creo que necesite explicarte lo que es una empresa. Hay muchas clasificaciones de empresas; una de ellas las subdivide en empresas cuyo producto final es un bien (un supermercado, una fábrica de productos cárnicos, unos astilleros) y empresas cuyo producto final es un servicio, por ejemplo, una empresa consultora. Nos vamos a centrar en las primeras.

Las empresas que comercializan bienes pueden dividirse a su vez en empresas productoras o industriales, si tienen instalaciones para fabricar sus productos, y empresas distribuidoras o comerciales, si se limitan a comprar el producto a un proveedor y venderlo a un cliente sin transformarlo (por ejemplo, un supermercado). Creo que ya habrás entendido a qué clases de empresas me estoy refiriendo cuando hablo de empresas productoras.

En una empresa productora hay materias primas que recorren las instalaciones de la fábrica, para ser procesadas y dando como resultado un producto final. Pues bien, la gestión de la producción intenta ordenar el flujo de todos los materiales en la fábrica: cuándo hay que fabricar y en qué cantidades.

UN EJEMPLO SENCILLO

Vamos a considerar una situación sencilla. Se trata de un pequeño taller que solo comercializa tres productos muy parecidos entre sí. Por ejemplo, pueden

ser ejes de maquinaria para un cliente que es una empresa importante del sector industria de automoción. Los tres tipos de ejes se obtienen a partir de una materia prima, en este caso una preforma del eje obtenida por estampación.

¿Cuántos tipos de artículos distintos tiene esta empresa? Pues los tres tipos de ejes y la materia prima, en total cuatro. Los artículos se identifican en la empresa mediante un código: por ejemplo 27001, 28001 y 30001 son respectivamente el primer, segundo y tercer eje. La materia prima se identifica mediante el código 80001.

El taller dispone de una cierta maquinaria. Tiene un torno (máquina a la que se le da el código M2), una fresadora (M4) y tres máquinas distintas para transportar los materiales en el taller (M1, M3 y M5). Para simplificar suponemos que hay una sola máquina de cada tipo (un solo torno, una sola fresadora, etc.)

El orden en que la materia prima va a pasar a las máquinas en el proceso de fabricación es el mismo para los tres ejes (esto se conoce como flow-shop o flujo uniforme). Las rutas de fabricación de los tres ejes son idénticas excepto por los tiempos de fabricación. Se muestran en la tabla 1. Primero se transporta la preforma de eje del almacén de materias primas hasta el torno. Luego se tornea el eje, se transporta hasta la fresadora, se procesa allí y se transporta finalmente al almacén de productos terminados.

El significado de las columnas de la tabla 1 es el siguiente:

(1) = Artículo.

(2) = Número de la operación.

(3) = Descripción de la operación.

(4) = Máquina en la que se realiza la operación.

(5) = Tiempo que dura la operación, en minutos. Puede ser unitario, como en el caso del torno, en el que se tardan 3 minutos en torrear un eje 27001, o bien puede que la operación se realice con un lote de ejes, siendo el tiempo total 5 minutos para el lote.

(6) = Tiempo, en minutos, que hay que invertir en preparar la máquina para empezar a trabajar con un tipo de eje, si es que el anterior eje fue de otro tipo (tiempo de set-up). Suponemos que no depende de cuál fue el trabajo anterior.

1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
27001	1	Transporte	M1	5 el lote	0
	2	Torneado	M2	3	120
	3	Transporte	M3	5 el lote	0
	4	Fresado	M4	2	60
	5	Transporte	M5	5 el lote	0
28001	1	Transporte	M1	5 el lote	0
	2	Torneado	M2	2	60
	3	Transporte	M3	5 el lote	0
	4	Fresado	M4	4	180
	5	Transporte	M5	5 el lote	0
30001	1	Transporte	M1	5 el lote	0
	2	Torneado	M2	4	180
	3	Transporte	M3	5 el lote	0
	4	Fresado	M4	1	60
	5	Transporte	M5	5 el lote	0

Tabla 1: Rutas de fabricación

Por otra parte nuestra empresa debe realizar previsiones de la demanda de sus ejes en base a los datos históricos del pasado. Debe fijar las cantidades que espera que pida(n) su(s) clientes(s) en el futuro. Debe decidir qué horizonte de tiempo va a considerar y cómo va a dividir ese horizonte en intervalos. Para simplificar supongamos que el horizonte es de una semana y que divide esta semana en intervalos que representan días (7 intervalos).

Imagina que la empresa funciona con tres turnos: de 7:00 a 15:00, de 15:00 a 23:00 y de 23:00 a 7:00, todos los días de la semana excepto el Domingo, y que el problema que estamos considerando se lo plantea el responsable de producción el Lunes a las 7:00 y que lo resuelve instantáneamente, es decir, que las decisiones de cuánto y cuando fabricar estarán tomadas a las 7:00 del Lunes.

En estas circunstancias la empresa prevé que la demanda de su(s) clientes(s) es la presentada en la tabla 2:

	L	M	X	J	V	S	D
27001	10	10	30	50	30	10	0
28001	10	10	20	40	20	10	0
30001	10	10	10	10	10	10	0

Tabla 2: Demanda prevista

EL ENFOQUE JERARQUIZADO

La gestión de la producción es siempre un problema complicado. Por ello se suele abordar en varias etapas. Es frecuente que el número de etapas sea tres:

- (1) Nivel de planificación de la producción.
- (2) Nivel de programación de la producción.
- (3) Nivel de ejecución y control.

NIVEL DE PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

En este nivel se fijan las cantidades a producir de los ejes en cada uno de nuestros periodos de tiempo, obteniendo el llamado plan maestro de producción. Quizá te estés preguntando por qué no se fabrica la demanda. Piensa que tal vez no tengamos suficiente capacidad de producción para ello o que nuestra fábrica va a interrumpir su producción durante un mes de vacaciones. En este último caso podría adelantarse la producción de las vacaciones a periodos anteriores.

De todas formas, nosotros vamos a considerar que decidimos fabricar justo la demanda prevista (tabla 2), aunque ten en mente que el plan maestro no tiene por qué coincidir con la demanda prevista.

NIVEL DE PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Una vez fijado el plan maestro debemos determinar de qué, cuánto y cuando fabricar. Una forma de hacerlo es mediante lo que se conoce como explosión de necesidades de materiales. Esta forma de proceder se integra en la filosofía MRP (Materials Requirements Planning). ¿Cómo funciona? Vamos a verlo.

Para empezar necesitamos datos adicionales, los cuales te presento en la tabla siguiente:

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
27001	1	5	5	10 el Lunes
28001	1	5	5	10 el Lunes
30001	1	1	1	10 el Lunes
80001	1	10	10	100 el Lunes

Tabla 3: Estado del Inventario

(1) = Artículo.

(2) = Plazo. Desde que el responsable de producción toma la decisión en firme de producir de un determinado artículo una cierta cantidad hasta que la orden

de fabricación ha concluido, transcurre un tiempo que es necesario estimar: es el plazo de fabricación (para los ejes) o de aprovisionamiento (para la materia prima).

(3) = Stock de seguridad que se mantiene para absorber las fluctuaciones aleatorias de la demanda y del proceso productivo.

(4) = Cantidad disponible en el almacén en el momento de realizar la explosión de necesidades.

(5) = Ordenes en curso, cuya cantidad y fecha de recepción se conoce en el momento actual.

El mecanismo de explosión de necesidades es muy sencillo. Empieza por los productos finales y acaba por las materias primas, considerando uno a uno todos los artículos de la empresa. Por ejemplo, podemos empezar por el 27001. La siguiente tabla ilustra los cálculos:

	L	M	X	J	V	S	D
NB	10	10	30	50	30	10	0
RP	10	0	0	0	0	0	0
DISP(5)	5	35	5	5	15	5	5
NN	0	10	0	50	30	0	0
RO	0	40	0	50	40	0	0
LO	40	0	50	40	0	0	0

Tabla 4: Artículo 27001

NB: son las necesidades brutas del artículo durante el periodo. Para un producto final se corresponde con el plan maestro de producción. Para un artículo que es componente de otro(s) se calcula a partir de la última fila LO de los artículos que lo utilizan como materia prima.

RP: son las recepciones programadas para el inicio del periodo. Es un dato (tabla 3).

DISP: es la cantidad disponible en almacén al final del periodo. En la primera columna se indica el disponible al inicio del primer periodo.

NN: son las necesidades netas durante el periodo. La necesidad neta de un periodo se calcula como la necesidad bruta del periodo más el stock de seguridad menos las recepciones programadas al inicio del periodo y menos el disponible al final del periodo anterior.

RO: recepciones de órdenes al inicio de los periodos. Se calculan a partir de las necesidades netas, según la política de tamaño de lotes que fijemos.

LO: lanzamiento de órdenes al inicio del periodo. Es la fila RO decalada en el tiempo un número de periodos igual al plazo.

La construcción de la tabla 4 es muy sencilla. Empieza por determinar las necesidades brutas, iguales en este caso al plan maestro de producción. Coloca a continuación el estado del inventario: recepción programada de 10 unidades para el Lunes y disponible inicial de 5. Seguidamente considera periodo a periodo empezando por el primero. Determinamos NN:

$$NN = 10 + 5 - 10 - 5 = 0$$

luego no hay NN, ni RO. El disponible al final del periodo 1 se calcula como el disponible inicial más las RP del primer periodo más las RO del primer periodo menos las NB del primer periodo:

$$DISP = 5 + 10 - 10 = 5$$

En el segundo periodo:

$$NN = 10 + 5 - 5 = 10$$

Como vamos a tener que fabricar en periodos futuros tal vez interese más fabricar gran parte del trabajo de la semana de una vez, por lo que decidimos fabricar RO = 40 (ésta es la política de lotes). Observa que en el periodo anterior ha de ser LO = 40.

Termina tú mismo de construir la tabla. Si en algún periodo te sale negativo NN lo fijas a cero. Ten en cuenta también que el cómo convertimos la fila NN en la fila RO depende de la política de lotes, lo cual he fijado un tanto arbitrariamente.

Cuando hayas terminado con el artículo 27001 pasa al 28001 y luego al 30001 (o viceversa). Eso sí, el último tiene que ser el 80001. La explosión de necesidades completa es la siguiente (si hay algún error te agradecería me lo hicieras saber).

	L	M	X	J	V	S	D
NB	10	10	20	40	20	10	0
RP	10	0	0	0	0	0	0
DISP(5)	5	25	5	5	15	5	5
NN	0	10	0	40	20	0	0
RO	0	30	0	40	30	0	0
LO	30	0	40	30	0	0	0

Tabla 5: Artículo 28001

	L	M	X	J	V	S	D
NB	10	10	10	10	10	10	0
RP	10	0	0	0	0	0	0
DISP(1)	1	21	11	1	11	1	1
NN	0	10	0	0	10	0	0
RO	0	30	0	0	20	0	0
LO	30	0	0	20	0	0	0

Tabla 6: Artículo 30001

	L	M	X	J	V	S	D
NB	100	0	90	90	0	0	0
RP	100	0	0	0	0	0	0
DISP(10)	10	10	10	10	10	10	10
NN	0	0	90	90	0	0	0
RO	0	0	90	90	0	0	0
LO	0	90	90	0	0	0	0

Tabla 7: Artículo 80001

Fíjate en cómo se determina NB de 80001, por ejemplo, en el primer periodo. Dado que 80001 se necesita para fabricar los tres ejes, habrá que sumar LO de los tres ejes en el primer periodo.

Con la explosión de necesidades concluye lo que hemos llamado el nivel de programación. A continuación viene el nivel de ejecución y control.

NIVEL DE EJECUCIÓN Y CONTROL

En las filas LO encontramos los lanzamientos de órdenes de fabricación y aprovisionamiento para todos los periodos del horizonte considerado. Sin embargo, el Martes por la mañana se volverá a repetir todo lo que hemos hecho, con la certeza de qué es lo que pasó el Lunes (la demanda pudo ser por ejemplo inferior a la prevista). Entonces el Lunes debemos considerar sólo las LO del primer periodo como órdenes en firme.

Habrás observado que hay dos tipos de órdenes: las de los ejes son de fabricación, pues se realizan en el taller de la empresa, mientras que la materia prima se compra a un proveedor (órdenes de aprovisionamiento). Las órdenes LO de aprovisionamiento pasarán al Departamento de Compras mientras que con las de fabricación habrá que realizar una secuenciación de los trabajos.

¿Qué es esto de la secuenciación? El Lunes tenemos que empezar tres trabajos: las 40 unidades de 27001 (trabajo T1), las 30 de 28001 (T2) y las 30

de 30001 (T3). Cada trabajo tiene que pasar por las cinco máquinas de la tabla 1. Los tiempos de proceso de cada trabajo en cada máquina son los siguientes:

	M1	M2	M3	M4	M5
T1	5	240	5	140	5
T2	5	120	5	300	5
T3	5	400	5	90	5

Tabla 8: Tiempos de proceso

El cálculo de la tabla 8 es muy sencillo: por ejemplo el T1 en M2 tarda:

40 unidades * 3 min./unidad + 120 min. de set-up = 240 min.

El problema que se plantea ahora es encontrar el orden en que vamos a meter los trabajos en las máquinas para poder acabar dentro de nuestro plazo (1 día) o al menos acabar cuanto antes. Un posible orden es primero T3, luego T1 y luego T2.

BIBLIOGRAFÍA

Nota. No se trata de una relación exhaustiva y completa de toda la bibliografía existente sobre gestión de la producción. El lector puede consultar en la bibliografía aquí citada, referencias adicionales sobre esta disciplina. En negrita se indican las referencias más asequibles, a juicio del autor, para el no iniciado.

ADENSO-DÍAZ, B. (1993): Producción, gestión y control. Ariel.

AXSÄTER, S. (1981): Aggregation of product data for hierarchical production planning. *Operations Research*, 29 (4), 744-756.

AXSÄTER, S. (1986): On the feasibility of aggregate production plans. *Operations Research*, 34 (5), 796-800.

BALAKRISHNAN, J. (1999): Using the theory of constraints in teaching linear programming and viceversa. Advantages and caveats. *Production and Inventory Management Journal*, 40 (2), 11-16.

BITRAN, G.R. y TIRUPATI, D. (1993): Hierarchical production planning, en GRAVES, S.C., RINNOOY-KAN, A.H.G. y ZIPKIN, P.H. (1993): *Logistics of production and inventory*, Handbooks in Operations Research and Management Science, 4. North-Holland. 523-568.

BLACKSTONE, J.H. (2001): Theory of constraints - a status report. *International Journal of Production Research*, 39 (6), 1053-1080.

BYRNE, M.D. y BAKIR, M.A. (1999): Production planning using a hybrid simulation - analytical approach. *International Journal of Production Economics*, 59 (1-3), 305-311.

CHEN, W.H. y THIZY, J.M. (1990): Analysis of relaxations for the multi-item capacitated lot-sizing problem. *Annals of Operations Research*, 26 (1-4), 29-72.

DOMÍNGUEZ-MACHUCA, J.A. (1994): Dirección de operaciones: aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios. McGraw-Hill. Madrid, España.

EPPEN, G.D. y MARTIN, R.K. (1987): Solving multi-item capacitated lot-sizing problems using variable redefinition. *Operations Research*, 35 (6), 832-848.

FREDENDALL, L.D. y LEA, B.R. (1997): Improving the product mix heuristic in the theory of constraints. *International Journal of Production Research*, 35 (6), 1535-1544.

GOLDRATT, E.M. (1983): Cost accounting: the number one enemy of productivity, en: *International Conference Proceedings American Production and Inventory Control Society*, October, 433-435.

GOLDRATT, E.M. (1990a): The haystack syndrome: sifting information out of the data ocean. North River Press.

GOLDRATT, E.M. (1990b): What is this thing called theory of constraints and how should it be implemented? North River Press.

GOLDRATT, E.M. (1994): It's not luck. Gower.

GOLDRATT, E.M. y COX, J. (1984): The goal: an ongoing improvement process. Gower.

GOLDRATT, E.M. y FOX, R.E. (1986): The race. North River Press.

HAX, A. y CANDEA, D. (1984): *Production and inventory management*. Prentice-Hall.

HAX, A.C. y MEAL, H.C. (1975): Hierarchical integration of production planning and scheduling, en GEISLER, M.A. (1975): *Logistics TMS studies in the management sciences*. North-Holland. 53-69.

HOPP, W.J. y SPEARMAN, M.L. (1996): *Factory physics*. Irwin. Chicago.

HSU, T.C. y CHUNG, S.H. (1998): The TOC-based algorithm for solving product mix problems. *Production Planning & Control*, 9 (1), 36-46.

KISTNER, K.P. y STEVEN, M. (1991): Applications of operations research in hierarchical production planning, en FANDEL, G. y ZÄPFEL, G. (1991): *Modern production concepts*. Springer-Verlag. 97-113.

KISTNER, K.P. y SWITALSKI, M. (1989): Hierarchical production planning: necessity, problems and methods. *Zeitschrift für Operations Research*, 33, 199-212.

LARRAÑETA, J.C. y ONIEVA, L. (1988): Métodos modernos de gestión de la producción. Alianza Universidad Textos.

LUEBBE, R. y FINCH, B. (1992): Theory of constraints and linear programming: a comparison. *International Journal of Production Research*, 30 (6), 1471-1478.

MABIN, V.J. y GIBSON, J. (1998): Synergies from spreadsheet LP used with the theory of constraints - a case study. *Journal of Operational Research Society*, 49 (9), 918-927.

MAES, J. y VAN WASSENHOVE, L.N. (1986): Multi item single level capacitated dynamic lot sizing heuristics: a computational comparison, parts I and II. *IIE Transactions*, 18 (2), 114-129.

MEREDITH, J. (2000): Hopes for the future of operations management, en: *Selected papers from the First World Conference on Production and Operations Management POM Sevilla 2000*, 143-148.

NAM, S.J. y LOGENDRAN, R. (1992): Aggregate production planning - A survey of models and methodologies. *European Journal of Operational Research*, 61 (3), 255-272.

ONWUBOLU, G.C. (2001): Tabu search-based algorithm for the TOC product mix decision. *International Journal of Production Research*, 39 (10), 2065-2076.

ONWUBOLU, G.C. y MUTINGI, M. (2001): Optimizing the multiple constrained resources product mix problem using genetic algorithms. *International Journal of Production Research*, 39 (9), 1897-1910.

ORLICKY, J. (1975): *Materials Requirements Planning*. McGraw-Hill.

ÖZDAMAR, L. y BIRBIL, S.I. (1998): Hybrid heuristics for the capacitated lot sizing and loading problem with setup times and overtime decisions. *European Journal of Operational Research*, 110 (3), 525-547.

PATTERSON, M.C. (1992): The production-mix decision: a comparison of theory of constraints and labor-based management. *Production and Inventory Management Journal*, 33 (3), 80-85.

PIENKOSZ, K. y TOCZYLOWSKI, E. (1993): On aggregation of items in single-stage production systems with limited inventory levels. *Operations Research*, 41 (2), 419-426.

PLENERT, G. (1993): Optimizing theory of constraints when multiple constrained resources exist. *European Journal of Operational Research*, 70 (1), 126-133.

POSNACK, A.J. (1994): Theory of constraints: improper applications yield improper conclusions. *Production and Inventory Management*, First Quarter, 85-86.

RAHMAN, S. (1998): Theory of constraints: a review of the philosophy and its applications. *International Journal of Operations & Production Management*, 18 (4), 336-355.

SWITALSKI, M. (1989): Hierarchische Produktionsplanung. *Physica. Heidelberg, Deutschland (Alemania)*.

THOMAS, L.J. y MCCLAIN, J.O. (1993): An overview of production planning, en GRAVES, S.C., RINNOOY-KAN, A.H.G. y ZIPKIN, P.H. (1993): *Logistics of production and inventory, Handbooks in Operations Research and Management Science*, 4. North-Holland. 333-370.

TOCZYLOWSKI, E. (1986): On aggregation of items in the single-stage lot size scheduling problem. *Large Scale Systems*, 10, 157-164.

VOLLMANN, T.E., BERRY, W.L. y WHYBARK, D.C. (1992): *Manufacturing planning and control systems*, Third Edition. Irwin.

ZÄPFEL, G. y MISSBAUER, H. (1993): New concepts for production planning and control. *European Journal of Operational Research*, 67 (3), 297-320.

HIPERENLACES

AMERICAN PRODUCTION AND INVENTORY CONTROL SOCIETY (APICS).
<http://www.apics.org> [Última consulta: Abril de 2005].

GRUPO DE INGENIERÍA DE ORGANIZACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE SEVILLA.
<http://io.us.es> [Última consulta: Abril de 2005].

GRUPO I+DT ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD DE SEVILLA.
<http://taylor.us.es> [Última consulta: Abril de 2005].