



## Concepción de un procedimiento para la planificación y control de la producción haciendo uso de herramientas matemáticas

TAMAYO GARCÍA, AMELIA

Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”

La Habana (Cuba)

Correo electrónico: [atamayo@ind.cujae.edu.cu](mailto:atamayo@ind.cujae.edu.cu)

URQUIOLA GARCÍA, IDALIANYS

Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”

La Habana (Cuba)

Correo electrónico: [iurquiolag@ind.cujae.edu.cu](mailto:iurquiolag@ind.cujae.edu.cu)

### RESUMEN

Las empresas manufactureras requieren de cambios radicales para lograr la cantidad y calidad requerida de sus producciones y responder a las necesidades del mercado con rapidez, siendo imprescindible para ello una correcta selección del sistema de planificación y control de la producción. La aplicación práctica de una u otra herramienta depende de la clasificación del sistema productivo. Los autores no conocen que exista en la actualidad un procedimiento que permita la selección de la herramienta matemática de planificación y control más correcta para aplicarla en una determinada empresa manufacturera. El procedimiento propuesto en este artículo permite a las empresas identificar y seleccionar la herramienta matemática que más se ajuste a sus necesidades, propiciando un mayor enfoque al cliente, un aumento del nivel de gestión de la producción, un incremento del nivel de gestión de la empresa y un empleo más eficiente de los recursos.

**Palabras clave:** sistemas de producción; planificación de la producción; herramientas matemáticas; horizontes de planificación.

**Clasificación JEL:** C63.

**MSC2010:** 90B90.

# Design of a Process for Planning and Controlling Production by Using Mathematical Tools

## ABSTRACT

Manufacturing companies require radical changes to achieve the required quantity and quality of their products and respond to market needs quickly. This issue is essential for a correct selection of the planning and control of production. The practical application of a specific tool depends on the classification of their productive system. Currently, to authors knowledge, there is no procedure that allows the selection of a suitable planning tool to be applied in a certain manufacturing company. The proposed procedure allows the companies to identify and to select the mathematical tool that it is best adjusted to its necessities, propitiating a bigger focus to the client, an increase of the level of management of the production, an increase of the level of management of the company, and a more efficient utilization of the resources.

**Keywords:** production systems; planning and control of production; mathematical tools; horizons of planning.

**JEL classification:** C63.

**MSC2010:** 90B90.



## 1. INTRODUCCIÓN

Las empresas manufactureras requieren de cambios radicales para lograr la cantidad y calidad requerida de sus producciones y responder a las necesidades del mercado con rapidez, siendo imprescindible para ello una correcta selección del sistema de planificación y control de la producción que le permita responder con mayor eficacia a los retos que le imponen los factores internos y externos del entorno.

En la literatura sobre el tema (Crespo y García, 1996; Hernández y Téllez, 2000; Mula, Poler *et al.*, 2002; Mula, Poler *et al.*, 2005) aparecen diferentes herramientas de planificación y control que se han estado empleando en el curso de los años en las empresas manufactureras. Así, podemos citar el sistema MRP y MRP II, el sistema CONWIP o la programación lineal, entre otros. La aplicación práctica de uno u otro sistema depende del comportamiento de diversas variables que caracterizan a los sistemas de producción y de la clasificación de los mismos. Sin embargo, las clasificaciones que se proponen en la literatura constituyen un conjunto amplio y heterogéneo, lo que limita su potencial utilidad (Gutierrez, Rivera *et al.*, 2012). El estudio de la literatura especializada sobre el tema permite definir, entonces, el problema que afronta la presente investigación: a juicio de los autores no existe un procedimiento, método o modelo que permita la selección de la herramienta matemática más adecuada para la planificación de la producción. Por tal motivo, en este trabajo se pretende demostrar la necesidad de la utilización de herramientas cuantitativas en el proceso de planificación y control de la producción y se presenta la concepción del procedimiento propuesto para la selección de la herramienta cuantitativa correcta para llevar a cabo la planificación y control de la producción.

## 2. MARCO METODOLÓGICO

Se entiende por *sistema de producción* como la interrelación de elementos y recursos, organizados y regulados, que tienen como finalidad la fabricación de un producto o la prestación de un servicio que compense las necesidades del cliente, logrando en la fábrica una mayor productividad, es decir, una mayor relación entre la cantidad de bienes y servicios producidos y la cantidad de recursos utilizados.

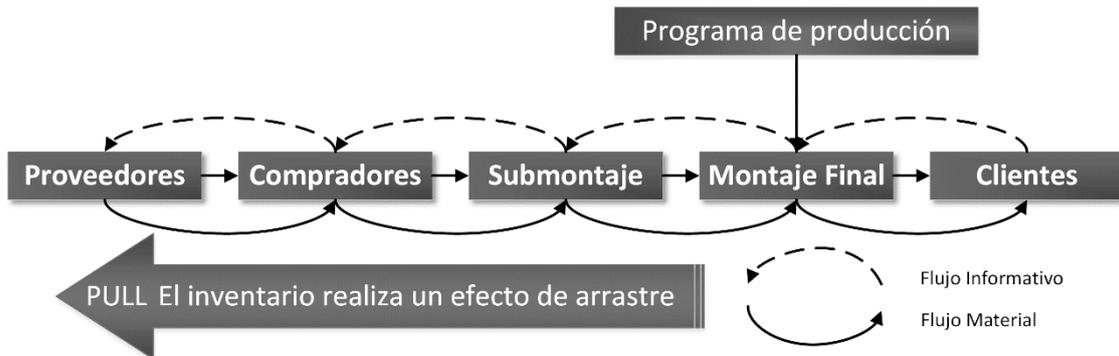
La realidad industrial es compleja y presenta una amplia variedad de situaciones, lo que ha llevado a clasificar los tipos de fabricación utilizando distintos criterios. Una de las clasificaciones más conocidas es según el flujo de producción, adoptándose dos categorías:

- Sistemas de producción *pull*.
- Sistemas de producción *push*.

Se considera *pull* a un sistema donde la demanda del producto final inicia el flujo de materiales a través de todo el sistema de producción. Se destaca el uso de “en tiempo real” para controlar el trabajo en los procesos y los inventarios. Los sistemas *pull* proporcionan visibilidad

de las operaciones, haciendo hincapié en bajos inventarios y tamaños de lotes pequeños (Mora, Tobar *et al.*, 2012). En la Figura 1 se observa el esquema típico de un sistema de producción tipo *pull*.

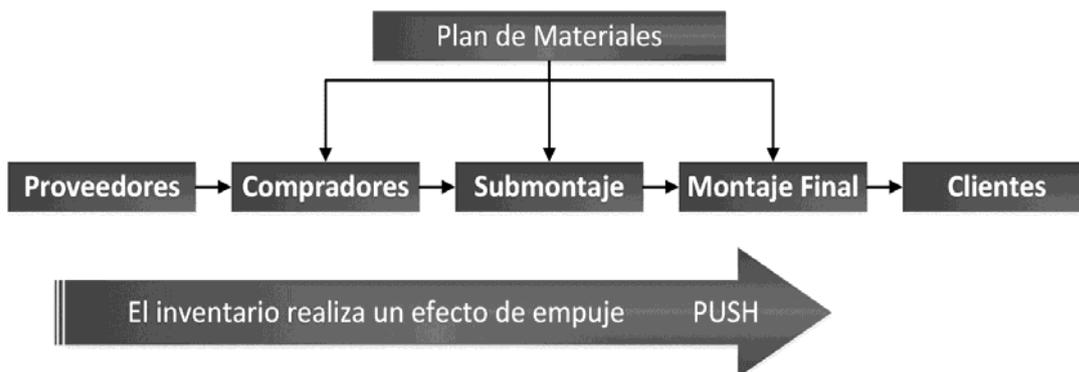
**Figura 1.** Esquema de un sistema de producción *pull*



**Fuente:** Marín y Delgado (2000)

Según Tamayo (2012), el sistema *push* actúa lanzando órdenes de producción o de compra cuando las necesidades reales aún no se han producido; podría dar lugar a situaciones de sobredimensionamiento del *stock*, obsolescencia de artículos y otros problemas causados como consecuencia de la actuación de las demoras de fabricación y las políticas de abastecimiento seguidas. En la Figura 2 se puede observar la estructura de un sistema de producción *push*.

**Figura 2.** Esquema de un sistema de producción *push*



**Fuente:** Marín y Delgado (2000)

Los sistemas productivos no pueden cumplir efectivamente con su objetivo fundamental de producir bienes si no realizan una adecuada planificación de la producción. Se puede decir que la planificación de la producción está enfrentando las tareas más estimulantes todos los días. Los productos cada día son más complejos y los sistemas manuales están siendo reemplazados con máquinas complicadas. En resumen, el mundo está pasando por una revolución de tecnología y los sistemas de conocimientos se están volviendo más dominantes. Además, los

ambientes de fabricación tradicionales están convergiendo en la fabricación conocimientos basada en sociedades entendidas (Garza y González, 2004).

Según Fuente (2006), la *planificación de la producción* no es más que, dada la previsión de ventas para un horizonte de tiempo, hallar la combinación de producciones, de *stocks* y de recursos globales de la empresa que consiguen cumplir con la demanda de la mejor forma posible. Durante muchos años los sistemas clásicos, como el método de la cantidad económica de pedido (EOQ, *Economic Order Quantity*) o el método de la cantidad de pedido periódica (POQ, *Periodic Order Quantity*), fueron empleados para superar los problemas surgidos como consecuencia de la incertidumbre de la demanda y de las dificultades en la correcta predicción de los plazos de realización de las tareas. Posteriormente, a partir de estos conceptos, se desarrollaron nuevos métodos que planteaban mejores soluciones a problemas más complejos de planificación y control de la producción (Turgay, Kubat *et al.*, 2007). Existen disímiles sistemas y herramientas que permiten efectuar la planificación y control de la producción tales como: MRP (planificación de requerimientos materiales), HPP (planificación jerárquica de la producción), Kanban/JIT (*just in time* o justo a tiempo), CONWIP, PL (programación lineal), entre otras herramientas. A continuación se comentan las más ahondadas en la literatura.

#### *MRP (Planificación de los Requerimientos Materiales)*

Un sistema MRP transforma un plan maestro de producción (MPS) en un programa detallado de necesidades de materiales y componentes requeridos para la fabricación de los productos finales utilizando, para ello, las listas de materiales. El MRP se basa en dos conceptos fundamentales: la explosión bruto a neto y la programación hacia atrás de las necesidades.

La planeación de requerimientos de materiales es un sistema de información que se usa para planear y controlar los procesos de manufactura. Existen 3 tipos de sistema de MRP:

- Tipo I, un sistema de control de inventarios.
- Tipo II, un sistema de control de la producción y de los inventarios.
- Tipo III, un sistema de planeación de los recursos de manufactura.

Cada uno de estos sistemas aumenta el alcance y el uso de la planeación de requerimientos de materiales (Jacobs y Weston, 2007).

#### *HPP (Planificación Jerárquica de la Producción)*

El HPP difiere marcadamente del MRP y no ha conseguido el mismo grado de aceptación. Si bien el MRP podría considerarse como un procedimiento jerárquico, la HPP lo es realmente y se basa en la división del problema de la planificación de la producción en varios niveles.

Las ventajas principales de la HPP son la reducción de la complejidad y la posibilidad de tratar con información incompleta. Existen estructuras diferentes para las arquitecturas de HPP que dependen del tipo de planificación. Presentan una estructura para sistemas *pull* basada sobre

la limitación de la capacidad. En cuanto a las limitaciones del modelo de HPP, se consideran las siguientes: el modelo no es aplicable a un sistema de múltiples etapas, en el que cada pieza sufre más de una operación durante su producción; solo se considera un único recurso. Esta es una limitación importante, ya que la mayoría de los casos prácticos implican más de un recurso productivo (Mora, Tobar *et al.*, 2012).

#### *KANBAN (tarjeta de información)*

Los entornos de producción JIT están caracterizados por el trabajo en pequeños lotes y el control de la producción por medio de un sistema de información denominado *Kanban*. En japonés, “Kanban” significa “etiqueta de información”. La etiqueta Kanban contiene información que sirve como orden de trabajo. En otras palabras, es un dispositivo de dirección automático que nos da información acerca de qué se va a producir, en qué cantidad, mediante qué medios y cómo transportarlo.

El objetivo principal es satisfacer la demanda real del público consumidor, al mismo tiempo que minimizar los tiempos de entrega, la cantidad en *stock* y los costos. Permitir que sea el mercado quien tire de las ventas, que sea el pedido el que ponga en marcha la producción, y no la producción la que se ponga a buscar un comprador. Es por esto que Kanban es considerado como un sistema de control de producción del tipo *pull*.

#### *CONWIP (inventario constante en proceso)*

La mayoría de los autores utilizan el término CONWIP para referirse a los sistemas que tratan de mantener constante el inventario en proceso. Por tanto, el objetivo de este sistema es reducir el inventario, con lo que se reducen los costes, pero manteniendo una tasa de salida razonable. Esto se puede conseguir aplicando la filosofía de “inventario constante en proceso”.

El sistema CONWIP emplea tarjetas para controlar el nivel de inventario en proceso. Las tarjetas son asignadas a cada pieza al comienzo de la línea. Cuando la pieza es procesada en la última estación, la tarjeta es liberada para ser de nuevo enviada al comienzo de la línea, donde será asignada a otra pieza para ser procesada. Ninguna pieza puede entrar en la línea sin que esté acompañada de su tarjeta (Rodríguez, Framiñán *et al.*, 2002).

#### *Programación Lineal*

La Programación Lineal, en este contexto, puede verse como un procedimiento o algoritmo matemático mediante el cual se resuelve un problema indeterminado, formulado a través de ecuaciones lineales, optimizando la función objetivo, también lineal. Básicamente, consiste en optimizar (minimizar o maximizar) una función lineal, denominada “función objetivo”, de tal forma que las variables de dicha función estén sujetas a una serie de restricciones que expresamos mediante un sistema de inecuaciones lineales. Presenta restricciones, además de las

funciones objetivos, que buscan que la variable de decisión se ajuste a las características del problema en cuestión.

La Programación Lineal es una herramienta fundamental de planificación, aunque una de sus limitaciones más relevantes es el requerimiento de que toda la información se conozca con certidumbre, algo que no siempre es posible suponer.

#### *Modelos de simulación*

Los modelos de simulación, aunque pueden representar una gran variedad de problemas, no pueden ser usados efectivamente para optimizar un problema dado, sino más bien para evaluar una medida de desempeño (Mula, Poler *et al.*, 2004).

La simulación de sistemas es una poderosa herramienta para la toma de decisiones permitiendo: predecir el resultado de las acciones que se tomen sobre el proceso o sistema de control, identificar áreas problemáticas antes de la implantación del sistema, evaluar ideas y su viabilidad, e identificar sus ineficiencias, optimizar los procesos, etc.

Todas las herramientas antes mencionadas, y aún otras más, permiten llevar a cabo la planificación de la producción, pero no todas pueden ser aplicadas en todo tipo de empresas ni de situaciones. Sin embargo, el estudio de la literatura ha arrojado que no existe todavía un procedimiento eficiente que permita a las entidades identificar qué herramienta cuantitativa es la que más se ajusta a sus características y cumple con los objetivos trazados por la entidad. Esto ha llevado, en ocasiones, a que las entidades no se auxilien de herramientas matemáticas para planificar y controlar sus producciones, provocando consecuentemente la ineficiencia de estos procesos en la práctica.

### **3. CONCEPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO**

El procedimiento diseñado en este artículo constituye una primera versión y podrá ser perfeccionado a medida que su uso se extienda en organizaciones, en las que por sus particularidades pudieran surgir limitantes para la aplicación de alguno de los pasos propuestos en el mismo.

#### **3.1. Premisas, objetivos y principios del procedimiento**

Para que un procedimiento sea eficaz desde su concepción hasta su posterior desarrollo e implementación, este debe cumplir con dos aspectos fundamentales: estar integrado a la gestión de la organización (debiendo para ello tener en cuenta un conjunto de estrategias y objetivos) y, a su vez, tener en consideración las bases teóricas para diseñar procedimientos, lo que se sustenta en especificar un conjunto de premisas y principios que justifican e identifican a la organización con los resultados que de su aplicación se deriven.

### *3.1.1. Premisas del procedimiento*

Las organizaciones que decidan aplicar el procedimiento deben garantizar, para el éxito del mismo, el cumplimiento de las siguientes premisas:

1. Cualquiera que sea el sistema de planificación y control de la producción que se quiera implantar, es imprescindible que este vaya acompañado por el impulso y el apoyo continuo de la alta dirección de la empresa.
2. La alta dirección debe diseñar un adecuado plan de formación y capacitación para toda la empresa que permita conocer las ventajas que se pueden obtener del sistema que se está implementando, así como también sus puntos débiles, con la finalidad de mitigar sus inconvenientes.
3. Contar con la información de entrada necesaria para cada etapa del procedimiento.

### *3.1.2. Objetivo del procedimiento*

Dotar a los directivos y profesionales de empresas manufactureras de un procedimiento que les permita seleccionar, según las características específicas de cada empresa y las condiciones en que las mismas operan, qué herramientas matemáticas son las que mejor se ajustan para llevar a cabo la planificación y control de la producción.

### *3.1.3. Principios del procedimiento*

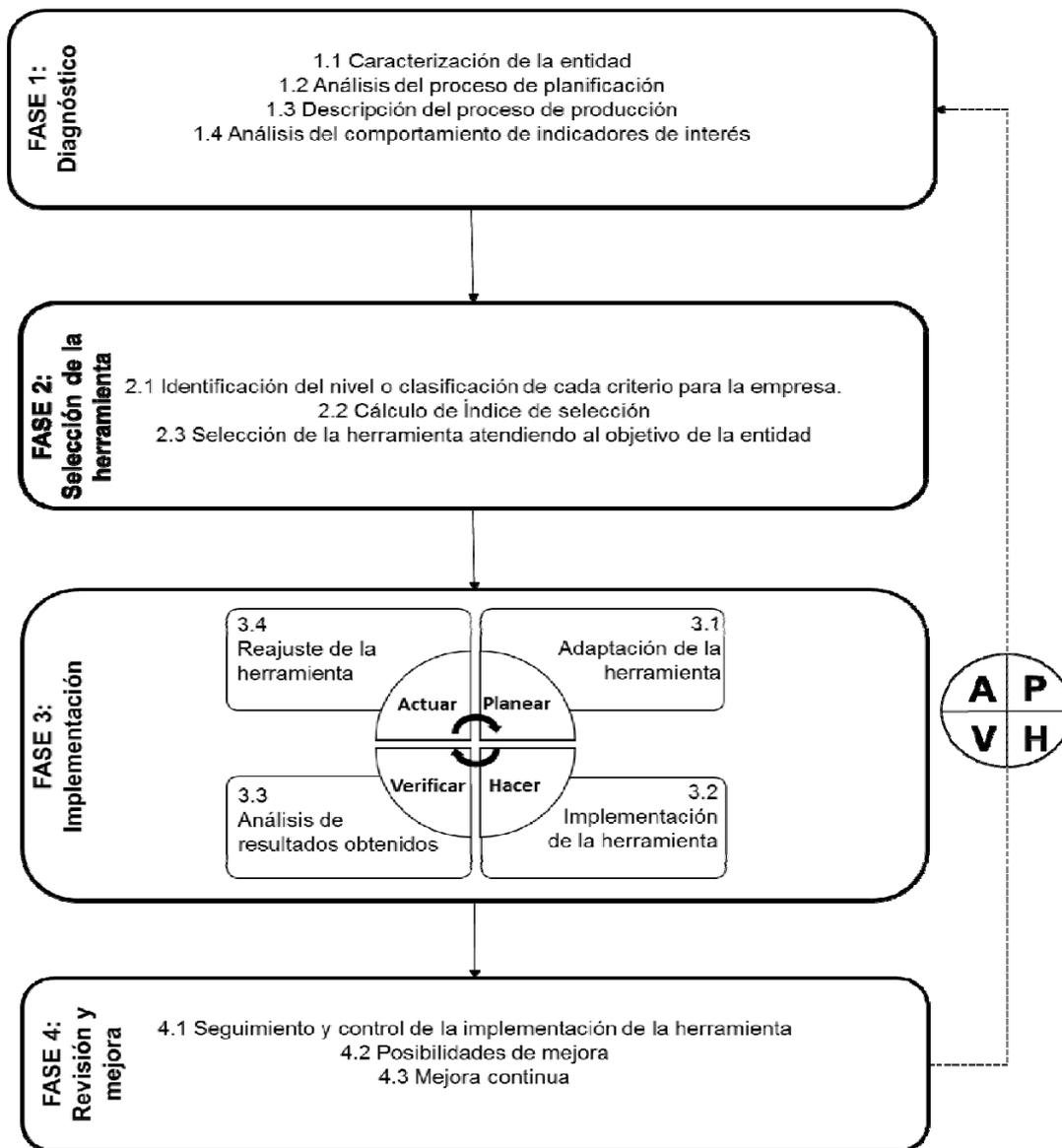
El procedimiento de planificación está basado en los siguientes principios:

1. Enfoque al cliente: las organizaciones dependen de sus clientes y, por lo tanto, deberían comprender las necesidades actuales y futuras de los clientes, satisfacer los requisitos de los clientes y esforzarse en exceder sus expectativas.
2. Enfoque basado en procesos: relaciona los recursos y actividades como un proceso, dando un resultado más eficiente para la organización.
3. Enfoque basado en hechos para la toma de decisión: se basa en hechos ocurridos anteriormente, que brindan fiabilidad para el proceso de toma de decisiones.
4. Mejoramiento continuo: mejora los resultados obtenidos, contribuyendo a elevar la eficiencia de la utilización de los recursos, introduciendo nuevas alternativas que permitan evaluar el funcionamiento del sistema y su respuesta.
5. Flexibilidad: permite realizar cambios dentro del procedimiento a partir de la mejora continua, para ajustarlo a los cambios de la organización.

## **3.2. Fases del procedimiento**

El procedimiento está formado por cuatro fases; en la Figura 3 se representa cada una de las fases atendiendo al orden secuencial en que son ejecutadas en el tiempo, así como las interrelaciones entre las mismas.

**Figura 3.** Procedimiento para la planificación y control de la producción



A continuación se exponen algunos elementos que en opinión de los autores resultan de interés para la comprensión del procedimiento.

### 3.2.1. Criterios de selección de las herramientas

Se definen aquellos criterios que determinan, en cierta medida, la adopción de cada sistema de planificación y control de la producción; los mismos fueron seleccionados a partir del estudio de las herramientas y sistemas de planificación, decantando aquellas cuyo aporte no es significativo para el empleo de la misma. Para cada uno de ellos se definieron niveles o clasificaciones, para poder acercar aún más la selección a la realidad de la empresa por la diversidad de escenarios que esta puede presentar, para conocer en qué medida presenta ese criterio o qué clasificación le corresponde en el mismo.

### 3.2.2. Ponderación de los criterios de selección

Para cada una de las clasificaciones o los niveles seleccionados, se asignó una puntuación teniendo en cuenta las escalas de Aragonés (2003), de manera que permita diferenciar el estado de los mismos y definir cuál pesa más a la hora de seleccionar la herramienta. Para cada uno de estos niveles o clasificaciones, se indica qué herramienta es la que mejor corresponde. En la Tabla 1 se muestran los criterios, sus correspondientes niveles o clasificaciones y la escala que fue asignada al mismo.

**Tabla 1.** Criterios, niveles y escala de selección de la herramienta de planificación y/o control

Nº	Criterio	Nivel/Clasificación	Escala	Herramientas
1	Horizonte de planificación	Estratégico	1	HPP
		Táctico	4	HPP, MRP, MRP II, PL, Simulación
		Operativo	7	HPP, Kanban, Conwip, PL, Simulación
2	Forma de administrar el flujo de producción	<i>Pull</i>	1	HPP, Kanban, Conwip, PL, Simulación
		<i>Push</i>	4	MRP, MRP II, Simulación, PL,
3	Clasificación de los ciclos de producción	Muy largo	1	MRP, MRP II, Simulación
		Largo	4	PL, Simulación, MRP, MRP II
		Mediano	7	PL, Simulación, HPP, MRP II
		Corto	10	HPP, Kanban, Conwip
		Muy corto	12	Kanban, Conwip
4	Lotes de producción	Muy grandes	1	MRP, MRP II, PL, Simulación
		Grandes	4	MRP, MRP II, PL, Simulación
		Medianos	7	PL, Simulación, HPP, MRP, MRP II
		Pequeños	10	HPP, Kanban, Conwip
		Muy pequeños	12	Kanban, Conwip
5	Variabilidad de la demanda	Muy variable	1	PL, Simulación, MRP II
		Variable	4	PL, Simulación, MRP, MRP II
		Poco variable	7	HPP, Kanban, Simulación
		Constante	10	HPP, Kanban, Conwip
6	Órdenes de fabricación	Centralizado	1	MRP, MRP II, Simulación, PL,
		Descentralizado	4	HPP, Kanban, Conwip, PL, Simulación

### 3.2.3. Peso de los criterios seleccionados

Los criterios anteriormente seleccionados no presentan la misma influencia a la hora de seleccionar la herramienta de planificación y control, por lo que se hace necesario el establecimiento de las prioridades o pesos de los mismos. Para determinarlos se empleó el “método de experto” (7 expertos) mediante procedimientos de decisión multicriterio. En la Tabla 2 se muestran los pesos asociados a cada criterio.

**Tabla 2.** Pesos de cada uno de los criterios de selección

Criterios	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Pesos	0,28571429	0,23809524	0,0952381	0,04761905	0,19047619	0,14285714

### 3.2.4. Índices de selección de la herramienta de planificación y control de la producción

La escala antes definida, así como el peso de cada criterio, determinan los intervalos de selección de las herramientas que están formados por un índice de selección inferior y superior, los cuales se calcularon a partir de una suma ponderada. El objetivo del intervalo es tratar que sea posible que, a partir de su posterior evaluación en un sistema cualquiera, se obtenga, con una buena aproximación, la herramienta de planificación que más se adecue a sus condiciones productivas y de mercado específicas. La fórmula utilizada para el cálculo de los índices de selección está compuesta por el sumatorio del peso de cada criterio por la correspondiente puntuación; la fórmula se muestra a continuación:

$$Ish = \sum_{i=1}^6 Wi * Pi$$

donde:

*Ish*: índice de selección de la herramienta;

*Wi*: peso correspondiente a cada criterio *i*;

*Pi*: puntuación seleccionada dentro del criterio *i*.

En la Tabla 3 se muestran los límites de selección de cada herramienta. Estas últimas fueron agrupadas por su función, atendiendo a si son herramientas que se utilizan para la planificación o el control; la selección se realizó atendiendo al objetivo que en ese momento persigue la empresa.

**Tabla 3.** Intervalo de selección de cada herramienta

Función	Herramienta	ISI	ISS
<b>Planificación</b>	MRP	3,14285717	3,71428577
	MRP II	2,5714286	4,00000007
	HPP	3,42857147	6,14285723
	Programación Lineal	2,14285718	11,7142858
<b>Control</b>	Kanban	5,57142866	6,42857153
	Conwip	6,14285723	6,42857153
	Simulación	1,85714288	5,85714293

**Nota:** ISI: índice de selección inferior; ISS: índice de selección superior.

El conjunto de herramientas propuestas a aplicar en cada caso han sido consideradas tomando como base las más usadas para la planificación y control de la producción, por tanto, esta agrupación no es exhaustiva, dejando lugar a la aplicación de otras que puedan sustentar y apoyar el proceso decisorio, siempre y cuando se domine su funcionamiento y tribute a los objetivos deseados.

Es importante destacar que para la aplicación del procedimiento diseñado en cualquier organización y alcanzar los resultados deseados, es indispensable la realización de todas las fases y de los pasos que componen cada una.

#### 4. APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO

El procedimiento ha sido validado hasta la fecha con su aplicación en la solución de problemas en una fábrica productora de helados (Problema 1) y una productora de toallas (Problema 2). A continuación se expone, a modo de ejemplo, la selección de la herramienta para el Problema 1, así como algunos de los resultados obtenidos.

##### 4.1. Identificación de las escalas de cada criterio y cálculo del índice de selección

Se evalúa la organización objeto de estudio, atendiendo a los criterios de selección determinados con anterioridad, definiéndose la puntuación obtenida para cada uno de ellos por parte de los expertos que participan en la selección, sustituyéndose estos valores en la fórmula del *ISH*, al igual que los pesos de cada criterio y calculándose de este modo el Indicador de Selección. En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos para la fábrica productora de helados.

**Tabla 4.** Evaluación de los criterios para la fábrica productora de helados

Criterio	Nivel o clasificación	Puntuación
Horizonte de planificación	Táctico	4
Forma de administrar el flujo de producción	<i>Push</i>	4
Clasificación de los ciclos de producción	Mediano	7
Lotes de producción	Medianos	7
Variabilidad de la demanda	Variable	4
Órdenes de fabricación	Centralizada	1

$$ISH = 4*0,2857 + 4*0,2381 + 7*0,0952 + 7*0,0476 + 4*0,1905 + 1*0,1429 = 4,00000007$$

##### 4.2. Selección de la herramienta

El objetivo de la entidad objeto de estudio era realizar la planificación, por lo que, atendiendo al índice de selección obtenido, las herramientas a seleccionar pudieran ser: HPP y Programación Lineal. Basando el análisis en encuentros con el personal encargado de la planificación en la entidad y los objetivos que persigue la planificación, esta empresa desea obtener el plan de producción mensual, por lo que se selecciona, entre estas dos herramientas, la Programación Lineal, puesto que permite obtener las producciones óptimas de cada surtido, le da una visión a la empresa de cómo se comportan las restricciones del proceso con esas producciones, permite, además, ver la ganancia o el costo en que incurría la empresa, etc. Otro criterio que influye en el uso de esta herramienta es que se dispone de la información necesaria para su ejecución, lo que es una desventaja para la otra herramienta posible a seleccionar.

Ya seleccionada la Programación Lineal, se procede a mostrar el modelo que permite obtener las producciones óptimas mensuales por surtido en la entidad objeto de estudio, el mismo puede ser empleado en entidades con características similares.

### 4.3. Estructura del modelo matemático

Para el diseño del modelo matemático de Programación Lineal, se tuvieron en cuenta las restricciones que influyen en la planificación a nivel táctico en la producción de helados y se tomaron de base modelos de planificación propuestos en la literatura consultada (Dante, Corominas *et al.*, 2008; Ortiz-Araya, Albornozo *et al.*, 2012).

Las variables de decisión son las  $X_i$ : cantidad de litros de producto  $i$  a producir mensualmente (en L). Se define la variable en litros pues es la unidad de medida que más se utiliza en este tipo de industria.

La función objetivo sería (en \$):

$$MaxZ = \sum_1^i p_i * x_i - \sum_1^i c_i * x_i$$

donde:

Z: ganancias del mes;

$p_i$ : precio de venta por litro de producto  $i$  (en \$/L);

$c_i$ : costo de producción por litro de producto  $i$  (en \$/L).

La función objetivo de este problema lo que pretende es maximizar los ingresos de la entidad; para ello, a los ingresos provocados por las ventas se les disminuyen los costos de fabricación del producto.

Las restricciones serían de demanda, de decisión de producción, de inventario de producto final y de capacidad:

- Demanda:  $x_i \geq D_i$  para todo  $i$  (litros), donde:

$D_i$ : demanda mensual estimada en litros para el surtido  $i$  (L/mes).

Esta restricción es la encargada de cumplir con la demanda establecida inicialmente, obligando a que la variable de decisión siempre sea igual o mayor que la demanda estimada.

- Decisión de producción:  $X_i \leq MD_i$  para todo  $i$  (litros):

El objetivo de esta restricción es evitar que se produzca cuando la demanda sea cero, para evitar el riesgo de producciones ociosas o cuando, por decisión de la entidad, en el mes a planificar se ha decidido no producir un surtidos y entonces evitar en ambos casos que el programa destine recursos a esas producciones.

- Inventario de producto final (en número de palés):

$$\sum_1^i \frac{x_i}{c_{ui} * c_i * c_{ai}} \leq (Capl - I_0 + Rm * d) * z$$

donde:

$c_{ui}$ : consumo unitario en litros del surtido  $i$  (L/surtido);

$c_i$ : cantidad de unidades del surtido  $i$  por caja (surtido/cajas);

$c_{ai}$ : cantidad de cajas del surtido  $i$  por palé (cajas/palés);

$CapI$ : capacidad de almacenamiento de producto final en palés (n° palés);

$I0$ : cantidad de palés en el almacén de producto terminados al inicio del período (n° palés);

$Rm$ : cantidad de palés que, como promedio, salen diariamente del almacén de producto terminado (palés/día);

$d$ : días que produce la entidad objeto de estudio (días/mes);

$z$ : coeficiente de utilización máximo del almacén de producto terminado.

El objetivo de esta restricción es que solo se pueda producir de acuerdo a la disponibilidad en el almacén de producto terminado y que el inventario permanezca de acuerdo al nivel de utilización máximo permisible para almacenar, pues por estudios se conoce que en ocasiones los almacenes, cuando sobrepasan esos niveles, las condiciones de trabajo se vuelven desfavorables, además de existir entidades que destinan un porcentaje del espacio de almacenamiento para otros surtidos o subproductos de las producciones.

- Capacidad:

Las restricciones de capacidad evitan que se planifique producir por encima de lo que es capaz de hacer la fábrica en un período de tiempo determinado. Para este tipo de restricción se han diseñado dos alternativas, teniendo en cuenta las variantes que se pueden presentar en las distintas líneas de producción:

Alternativa I: para líneas que producen uno o varios tipos de surtido y que, sin importar el tipo, presentan siempre la misma capacidad. Capacidad de la línea  $j$  (en L/mes):

$$\sum_1^i Xi \leq \sum_1^i Crj$$

donde:

$Crj$ : capacidad de producción mensual en litros de la línea  $j$  (L/mes).

Alternativa II: para líneas de producción que presentan cualquier combinación factible de las capacidades por los distintos surtidos. Utilización de la línea  $j$ :

$$\sum_1^i \frac{xi}{crij} \leq 1$$

donde:

$crij$ : capacidad de producción mensual de surtido  $i$  en la línea  $j$  (en L/mes).

Para la solución de esta problemática se utilizó el software *WinQSB* y, dentro de este, el módulo *Linear and Integer Goal Programing*. En la Figura 4 se muestra un fragmento de la salida obtenida al correr el modelo objeto de estudio. En la Tabla 5, por su parte, se muestran los resultados obtenidos con la aplicación del procedimiento.

**Figura 4.** Fragmento de la salida del WinQSB

	14:35:07	Saturday	June	07	2014			
	Goal Level	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(i)	Total Contribution	Reduced Cost	Allowable Min. c(i)	Allowable Max. c(i)
1	G1	X1	7.660,00	2,71	20.758,60	0	-M	6,32
2	G1	X2	1.012,00	2,71	2.742,52	0	-M	6,32
3	G1	X3	2.908,00	2,82	8.200,56	0	-M	6,32
4	G1	X4	706,00	4,82	3.402,92	0	-M	7,01
5	G1	X5	160.200,00	7,01	1.122.745,63	0	4,82	M
6	G1	X6	226.573,00	1,51	342.125,22	0	-M	2,62
7	G1	X7	67.348,00	1,44	96.981,13	0	-M	2,62
8	G1	X8	115.889,00	1,40	162.244,59	0	-M	2,62
9	G1	X9	42.778,00	2,10	89.833,80	0	-M	2,62
10	G1	X10	48.151,00	2,10	101.117,09	0	-M	2,62
11	G1	X11	39.614,00	1,94	76.851,16	0	-M	2,62
12	G1	X12	19.332,00	1,94	37.504,08	0	-M	2,62
13	G1	X13	12.182,00	1,94	23.633,08	0	-M	2,62
14	G1	X14	11.539,00	1,66	19.154,74	0	-M	2,62
15	G1	X15	11.610,00	1,66	19.272,60	0	-M	2,62
16	G1	X16	168.262,00	4,34	730.257,13	0	4,34	M
17	G1	X17	9.505,00	4,34	41.251,70	0	-M	4,34
18	G1	X18	534.514,50	1,66	887.294,06	0	1,66	3,18
19	G1	X19	25.680,00	1,66	42.628,80	0	-M	1,66
20	G1	X20	50.708,00	1,66	84.175,28	0	-M	1,66
21	G1	X21	12.430,00	1,66	20.633,80	0	-M	1,66

**Tabla 5.** Resultados obtenidos de la aplicación del procedimiento

Caso de estudio	Puntuación obtenida	Objetivo	Herramienta seleccionada	Resultados obtenidos
Problema 1 (Urquiola, 2014)	4,00000007	Planificar la producción	Programación Lineal	99% de aprovechamiento de la capacidad instalada; inventarios por encima del stock mínimo de seguridad; disponibilidad de todos los surtidos en cámara

## 5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Aunque creemos que se debe continuar validando el procedimiento descrito (y así animamos a los lectores), los resultados obtenidos en esta primera versión con los problemas estudiados muestran que la correcta selección de la herramienta de planificación o control pueden ser de gran utilidad para las organizaciones y contribuir a incrementar los indicadores de estas y a elevar el servicio que las mismas brindan al cliente.

- El procedimiento propuesto puede ser aplicado a cualquier empresa manufacturera que cumpla con las premisas planteadas.
- El procedimiento propuesto integra las herramientas matemáticas de planificación y control de la producción con los horizontes de planificación y la clasificación de los sistemas productivos atendiendo a la forma de administrar el flujo de producción.
- El procedimiento consta de cuatro fases, en las que se incluyen 7 herramientas que pueden ser empleadas para la planificación o el control de la producción.

## REFERENCIAS

- Aragónés, B.P. (2003) “Técnicas de ayuda a la toma de decisiones en proyectos”, *Documento de trabajo*, Departamento de Proyectos, Universidad Politécnica de Valencia, 30 p.
- Crespo, T.F.; García, J.M.V. (1996) “Sistemas de planificación y control de la fabricación: Análisis Comparativo”, *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa*, **2**: 101–124.
- Dante, O.; Corominas, A.; Lusa, A.; Martínez, C. (2008) “Modelo de planificación agregada de la producción, la plantilla, el tiempo de trabajo y la tesorería”, *II International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management, XII Congreso de Ingeniería de Organización*, **2**.
- Fuente, D. (2006) “Planificación de la Producción”, *Documento de Trabajo: Introducción a la Planificación de la Producción*. Departamento de Ingenieros Industriales, 132 p.
- Garza, R.R.; González, C.S. (2004) “Modelo matemático para la planificación de la producción en la cadena de suministro”, *Revista de Ingeniería Industrial*, **25**: 26–29.
- Gutiérrez, M., Rivera, F.A.; Durán, A.; Sastrón, F. (2012) “Paralelismo entre la teoría transformación-flujo-valor (TFV) y los tipos de fabricación”, *D-O*, **4**: 31–38.
- Hernández, S.G.; Téllez, S.B. (2000) “Planeación y control de la producción”, *Documento de clase: Sistemas para determinar los volúmenes óptimos de producción e inventarios mediante el uso de modelos, métodos y reglas en cualquier sistema de producción*.
- Jacobs, F.R.; Weston, F.C. (2007) “Enterprise resource planning (ERP) –A brief history”, *Journal of Operations Management*, **25**: 357–363.
- Marín, F.; Delgado, J. (2000) “Las técnicas justo a tiempo y su repercusión en los sistemas de producción”, *Economía Industrial*, **1**: 35–41.
- Mora, A.B.; Tobar, J.L.; Soto, J.M. (2012) “Comparación y análisis de algunos sistemas de control de la producción tipo pull, mediante simulación”, *Scientia et Technica*, **51**: 100–106.
- Mula, J.B.; Poler R.E.; Cruz, F.E. (2002) “Modelos y métodos para la planificación de la producción de la cadena de suministro bajo incertidumbre: una introducción al estado del arte”, *II Conferencia de Ingeniería de Organización*, **2**: 447–456.
- Mula, J.B.; Poler, R.E.; García, J.P. (2004) “Aplicaciones de la teoría de los conjuntos difusos en la planificación de la producción: un estudio de la literatura”, *VIII Congreso de Ingeniería de Organización*, 101–110.
- Mula, J.B.; Poler, R.E.; García, J.P. (2005) “Evaluación de sistemas para la planificación y control de la producción”, *Información Tecnológica*, **17**: 19–34.
- Ortiz-Araya, V.; Albornoz, V.M.; Bravo, D. (2012) “Determinación de un plan maestro de producción a nivel táctico para una cadena de suministro industrial utilizando una metodología de planificación jerarquizada”, *Revista de Ingeniería Industrial*, **12**.
- Rodríguez, P.L.G.; Framiñán, J.M.; Ruiz-Usano, R. (2002) “Control de la producción mediante un sistema con inventario en proceso constante: CONWIP. Estado de la cuestión”, *II Conferencia de Ingeniería de Organización*, **2**: 457–465.
- Tamayo, A.G. (2012) “Diagnóstico y clasificación de sistemas de producción. Aplicación en Laboratorios NOVATEC”, *Trabajo de Diploma*, Ingeniería Industrial, Cujae.
- Turgay, S.; Kubat, C.; Taskin, H. (2007) “Modelling and simulation of MRP II activities in multi agent systems”, *Production Planning & Control*, **18**: 25–34.
- Urquiola, G.I. (2014) “Diseño de un procedimiento para la planificación y control de la producción. Aplicación en la fábrica de helados Nestlé”, *Trabajo de Diploma*, Ingeniería Industrial, Cujae.