

PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

STEPHEN N. CHAPMAN



PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

Stephen N. Chapman

TRADUCCIÓN:

Erika Montserrat Jasso Hernand Borneville

REVISIÓN TÉCNICA:

Silvina Hernández García

Facultad de Ingeniería

Universidad Nacional Autónoma de México

Francisco García Mora

UPIICSA

Instituto Politécnico Nacional



México • Argentina • Brasil • Colombia • Costa Rica • Chile • Ecuador
España • Guatemala • Panamá • Perú • Puerto Rico • Uruguay • Venezuela

CHAPMAN, STEPHEN N.

Planificación y control de la producción.

PEARSON EDUCACIÓN, México, 2006

ISBN: 970-26-0771-X

Área: Ingeniería

Formato: 18.5 × 23.5 cm

Páginas: 288

Authorized translation from the English language edition, entitled *The fundamentals of production planning and control* by Stephen N. Chapman published by Pearson Education, Inc., publishing as PRENTICE HALL, INC., Copyright © 2006. All rights reserved.
ISBN 013017615 X

Traducción autorizada de la edición en idioma inglés, *The fundamentals of production planning and control* por Stephen N. Chapman, publicada por Pearson Education, Inc., publicada como PRENTICE-HALL INC., Copyright © 2006. Todos los derechos reservados.

Esta edición en español es la única autorizada.

Edición en español

Editor: Pablo Miguel Guerrero Rosas

e-mail: pablo.guerrero@pearsoned.com

Editor de desarrollo: Bernardino M. Gutiérrez Hernández

Supervisor de producción: José D. Hernández Garduño

Edición en inglés

Editorial Director: Jeff Shelstad

Senior Sponsoring Editor: Alana Bradley

Executive Marketing Manager: Debbie Clare

Managing Editor: John Roberts

Production Manager: Arnold Vila

Manufacturing Buyer: Indira Gutierrez

Cover Design: Bruce Kenselaar

Composition/Full-Service Project Management: Pine Tree Composition, Inc.

Printer/Binder: Courier-Stoughton

PRIMERA EDICIÓN, 2006

D.R. © 2006 por Pearson Educación de México, S.A. de C.V.

Atacomulco No. 500, 5° piso

Col. Industrial Atoto

53519, Naucalpan de Juárez, Edo. de México

E-mail: editorial.universidades@pearsoned.com

Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana. Reg. Núm. 1031

Prentice Hall es una marca registrada de Pearson Educación de México, S.A. de C.V.

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de esta publicación pueden reproducirse, registrarse o transmitirse, por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea electrónico, mecánico, fotoquímico, magnético o electroóptico, por fotocopia, grabación o cualquier otro, sin permiso previo por escrito del editor.

El préstamo, alquiler o cualquier otra forma de cesión de uso de este ejemplar requerirá también la autorización del editor o de sus representantes.

PEARSON
Educación

ISBN 970-26-0771-X

Impreso en México. *Printed in Mexico.*

® 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 09 08 07 06

Resumen de contenido

CAPÍTULO 1	Introducción a la planificación y el control	1
CAPÍTULO 2	Principios básicos de pronóstico	17
CAPÍTULO 3	Planificación de ventas y operaciones	45
CAPÍTULO 4	El programa maestro	71
CAPÍTULO 5	Administración de inventarios	99
CAPÍTULO 6	Planificación de Requerimientos Materiales (MRP)	125
CAPÍTULO 7	Administración de la capacidad	163
CAPÍTULO 8	Control de la actividad de producción	179
CAPÍTULO 9	Sistemas de producción esbelta y justo a tiempo (JIT)	195
CAPÍTULO 10	Fundamentos de la teoría de restricciones	219
CAPÍTULO 11	Funciones de “asociación”: compras y distribución	233
CAPÍTULO 12	Integración e implementación del sistema	249

Contenido

Prefacio xiii

CAPÍTULO 1 Introducción a la planificación y el control 1

- 1.1 Operaciones de manufactura y operaciones de servicio 2
- 1.2 Influencia del cliente en el diseño: opciones de ambientes o entornos de producción 3
- 1.3 Categorías de proceso 4
- 1.4 Factores generadores y calificadores de pedidos 7
- 1.5 Aspectos del ambiente de negocios 9
- 1.6 Análisis de procesos y flujos de información 10
- 1.7 Flujos de información general 12
- 1.8 Estructura del libro 12
 - Términos clave 13
 - Resumen 14
 - Referencias 14
 - Preguntas de análisis 14

CAPÍTULO 2 Principios básicos de pronóstico 17

- 2.1 Principios fundamentales del pronóstico 17
- 2.2 Principales categorías de pronóstico 18
 - Pronósticos cualitativos* 18
 - Pronósticos cuantitativos: método causal* 22
 - Pronósticos cuantitativos: series de tiempo* 23
- 2.3 Errores de pronóstico 36
- 2.4 Apoyo por computadora 38
 - Términos clave 40
 - Resumen 40
 - Referencias 41
 - Preguntas de análisis 41
 - Ejercicios 41

CAPÍTULO 3 Planificación de ventas y operaciones 45

- 3.1 Propósito de la planificación de ventas y operaciones 46
- 3.2 Diseño general de la planificación de ventas y operaciones 47
- 3.3 Métodos de planificación de ventas y operaciones 48
 - La visión de fabricación para inventario de una PV&O* 48
 - La visión de fabricación bajo pedido de una PV&O* 49
- 3.4 Estrategias para planificación de ventas y operaciones 50
 - Algunas técnicas* 50
 - Métodos de análisis de disyuntivas* 51
- 3.5 Balance de recursos en la planificación de ventas y operaciones 55
- 3.6 Análisis: un ejemplo simple 57
 - Seguimiento* 58
 - Nivelación* 58
 - Combinación* 59
- 3.7 Aspectos cualitativos 60
- 3.8 Algunos aspectos del entorno empresarial 63
 - Términos clave 64
 - Resumen 64
 - Referencias 64
 - Preguntas de análisis 65
 - Ejercicios 65

CAPÍTULO 4 El programa maestro 71

- 4.1 Antecedentes y vínculos con el PV&O 72
- 4.2 Horizonte del programa maestro 73
- 4.3 Barreras de tiempo 74
- 4.4 Fuentes de la demanda 76
- 4.5 Metodología básica 76
- 4.6 Impacto de los entornos de producción 78
- 4.7 Enfoque general para el desarrollo del programa maestro 79
- 4.8 Lógica de disponibilidad para promesa 80
- 4.9 Opciones de planificación en un entorno ATO 83
- 4.10 El programa maestro de dos niveles 85
- 4.11 Notas sobre la responsabilidad del programa maestro 87
- 4.12 Introducción a la administración de la demanda 89
- 4.13 Elementos de la administración de la demanda 90
 - Impacto de los entornos de operación* 92

Términos clave	94
Resumen	94
Referencias	94
Preguntas de análisis y problemas	95

CAPÍTULO 5 Administración de inventarios 99

5.1	Conceptos básicos de la administración de inventarios	100
5.2	Categorías de inventarios	101
5.3	El modelo básico de ajuste del lote de inventario. Cantidad económica de pedido (CEP)	104
5.4	Modelos básicos de reabastecimiento de inventarios independientes de la demanda	107
5.5	Control de inventarios	112
	<i>Métodos de almacenamiento</i>	113
	<i>Mantenimiento de la precisión de la información de inventario</i>	114
	<i>Cómo lograr registros precisos de inventario</i>	117
	Términos clave	120
	Resumen	120
	Referencias	121
	Preguntas y problemas de análisis	121

CAPÍTULO 6 Planificación de Requerimientos Materiales (MRP) 125

6.1	Antecedentes y conceptos básicos	126
	<i>El problema respecto de los puntos de reorden</i>	126
6.2	Lista de materiales	130
6.3	La “explosión” del sistema MRP	131
	<i>Reglas comunes para los tamaños de lote</i>	139
6.4	Otros aspectos relacionados con el sistema MRP	141
	<i>Generación de información</i>	141
	<i>Actualización de información</i>	141
	<i>Mensajes de excepción</i>	143
	<i>Otras fuentes de demanda</i>	144
6.5	Retos potenciales del sistema MRP	149
6.6	Planificación de recursos empresariales (ERP)	150
6.7	Aspectos del entorno de negocios	152
	Términos clave	153
	Resumen	153
	Referencias	154
	Preguntas y problemas de análisis	154

CAPÍTULO 7	Administración de la capacidad	163
7.1	Definiciones de la capacidad	164
7.2	Planificación gruesa de la capacidad	165
7.3	Planificación de requerimientos de capacidad (PRC)	169
7.4	Control de entrada/salida (E/S)	171
7.5	Medidas de capacidad	172
7.6	Método general para la administración de la capacidad	173
	Términos clave	174
	Resumen	174
	Referencias	175
	Preguntas y problemas de análisis	175
CAPÍTULO 8	Control de la actividad de producción	179
8.1	Información general del CAP	180
8.2	Asignación de prioridades	183
	<i>Programación en entornos MRP y de arrastre</i>	186
8.3	Programación	186
8.4	Carga	188
	<i>Carga infinita</i>	188
	<i>Carga finita</i>	188
8.5	Acciones correctivas	191
	Términos clave	192
	Resumen	192
	Referencias	192
	Preguntas y problemas de análisis	193
CAPÍTULO 9	Sistemas de producción esbelta y justo a tiempo (JIT)	195
9.1	Conceptos fundamentales	196
9.2	Impactos en la capacidad	204
9.3	El sistema <i>pull</i> (o de arrastre)	205
	<i>Revisión del ejemplo de bicicletas</i>	207
	<i>El inconveniente del cambio</i>	208
9.4	El sistema <i>kanban</i>	208
	<i>Cómo funciona</i>	209
	<i>Reglas de kanban</i>	211
	<i>Número de tarjetas kanban</i>	212
	<i>Alternativas a las tarjetas kanban</i>	213
	<i>Establecimiento de prioridades con kanban</i>	214

9.5	Uso del sistema <i>kanban</i> para la mejora de procesos	214
9.6	Producción esbelta y programación maestra	215
9.7	¿Son compatibles los sistemas <i>kanban</i> y MRP?	216
	Términos clave	217
	Resumen	217
	Referencias	217
	Preguntas de análisis	218

CAPÍTULO 10 Fundamentos de la teoría de restricciones 219

10.1	Principios fundamentales de la teoría de restricciones	220
10.2	Comprensión y administración de restricciones	221
10.3	Mejora de los procesos mediante los principios de la teoría de restricciones	223
10.4	Impactos sobre la estrategia de operación	225
10.5	Tipos generales de factores restrictivos	226
10.6	Logística y la teoría de restricciones	226
10.7	Programación y la teoría de restricciones	228
10.8	Múltiples amortiguadores de tiempo	228
10.9	Puntos de control y lotes	230
10.10	Principales pasos en el uso del método tambor-amortiguador-cuerda	231
	Términos clave	231
	Resumen	232
	Referencias	232
	Preguntas de análisis	232

CAPÍTULO 11 Funciones de “asociación”: compras y distribución 233

11.1	Aspectos de la información de compras	234
11.2	Responsabilidades de la función de compras en la adquisición de materiales	236
11.3	Planificación de los requerimientos de distribución	238
	<i>Estructura básica de la PRD</i>	240
	<i>Requerimientos clave de información</i>	241
	<i>La lista de distribución</i>	243
	<i>Uso de la lista de distribución para la PRD</i>	244
	<i>PRD en un entorno pull de producción esbelta</i>	246
	Términos clave	246
	Resumen	246
	Referencias	247
	Preguntas y problemas de análisis	247

CAPÍTULO 12	Integración e implementación del sistema	249
12.1	Selección y diseño general del sistema	249
12.2	Sistemas <i>push</i> , <i>pull</i> o una mezcla de ambos	252
	<i>Sistema híbrido #1: MRP con principios de producción esbelta</i>	253
	<i>Sistema híbrido #2: Kanban con planificación MRP</i>	253
	<i>Sistema híbrido #3: Uso de MRP para la capacidad y para artículos con tiempos de espera amplios</i>	254
	<i>Sistema híbrido #4: Sistema pull con un control MRP de “picos”</i>	254
	<i>Enfoque en la “personalización”</i>	255
12.3	Métodos generales de implementación	256
	<i>Principales pasos en el proceso de implementación</i>	257
	Resumen	261
	Preguntas de análisis	262
Índice	263	

Prefacio

Hace muchos años tuve mi primer trabajo en la industria, en el área de planificación y control. Las únicas armas con que contaba eran mi entusiasmo, mi energía, un fuerte deseo de triunfar, y absolutamente ningún conocimiento real. Mi educación formal no tenía casi nada que ver con la industria, ni con el comercio. Sólo puedo pensar que quien me contrató vio mi energía y entusiasmo, y supuso que el conocimiento vendría después. Pues bien, llegó, pero no fácilmente. Aprendí de algunos cursos universitarios que tomé por las tardes, descubrí muchas cosas en el material de la APICS (American Productions and Inventory Control Society) y, por desgracia, también aprendí mucho de mis errores.

Cuando rememoro aquellos difíciles años, recuerdo que pensaba con frecuencia: “Debe haber una manera más fácil de obtener una comprensión fundamental de estos conceptos, y de cómo se relacionan unos con otros y con el negocio, sin tener que pasar por todos los problemas que yo he vivido”. Esos pensamientos persistieron al avanzar en mi carrera, primero en administración de planificación y control industrial, y después a lo largo de muchos años de brindar consultoría. Finalmente completé también la educación formal: terminé un doctorado en operaciones a la avanzada edad de 40 años. Cuando ingresé a la academia, continué involucrándome muy activamente en la industria, tanto en la consultoría como en la investigación. Siempre encontraba gente joven (en la industria y en la universidad) que me recordaba a mí mismo en el comienzo de mi carrera, por su necesidad de obtener una comprensión básica de la planificación y el control.

Era consciente de la amplitud de los estupendos recursos de información que estaban a disposición del interesado. Mi posición como académico y como miembro del consejo de curriculum y certificación de la APICS fue muy importante para mantenerme al día mediante las publicaciones en ese campo. Mi percepción respecto de gran parte de ese material es que está bien realizado y su cobertura es extensa. También hay una gran variedad de literatura sobre el tema, a menudo demasiado detallada para las necesidades de alguien como era yo al principio de mi carrera.

El reconocimiento de ese hecho trajo a mi mente el plan para este libro. Su intención es proporcionar un enfoque de conocimientos básicos. Existen muchos y muy buenos libros acerca de la administración general de operaciones, que ofrecen al lector una gran cantidad de conocimientos además de la planificación y el control. Asimismo, existe cierta literatura extremadamente provechosa, cuyo enfoque hace mayor hincapié en la planificación y el control, pero la profundidad de su análisis puede agobiar, muchas veces, a quienes son relativamente nuevos en el campo. Una vez que me percaté de la carencia de un enfoque preciso que cubriera principalmente los principios fundamentales, se me ocurrió llenar ese vacío. Además de los principios fundamentales rela-

cionados con el área de la planificación y el control, consideré importante explicar la manera en que esos principios y métodos interactúan dentro del contexto del ambiente de negocios al cual brindan apoyo. Cubrir esa necesidad es también uno de los objetivos más importantes de este libro.

Por lo tanto, esta obra pretende ser útil a quienes tienen interés en la planificación y el control, pero que apenas empiezan su aprendizaje y que, en consecuencia, tal vez se sientan agobiados por la profundidad y detalle de otras fuentes. Este libro proporciona algunas referencias a varias de esas fuentes, pero no en demasía. En realidad, este texto refleja parte del conocimiento que he obtenido a lo largo de muchos años, con base en muchas fuentes, y en muchos éxitos y fracasos personales. En lugar de estar escrito en un estilo académico, intenta presentar el material de una forma lógica que, aunque no es exhaustiva desde el punto de vista académico, espero que proporcione el entendimiento y el enfoque integral que me tomó varios años acumular.

RECONOCIMIENTOS

Dado que este libro representa numerosos años de conocimiento y experiencia acumulados, existen muchísimas personas involucradas a las que quisiera agradecer. Sin embargo, algunas vienen a mi mente como fuentes importantes de aprendizaje y, por lo tanto, su influencia se ve reflejada favorablemente en este libro. Quisiera dar mi reconocimiento a algunos de ellos: Ronald Pannesi, University of North Carolina; Philip Carter, Arizona State University; Steve Melnyk, Michigan State University; William Berry, Ohio State University, y muchos colegas con los que he trabajado en los comités de certificación de la APICS durante varios años. Quisiera agradecer también a Cecil Bozarth (NC State University) por contribuir con varios de los ejercicios que aparecen al final de los capítulos.

Además, quisiera dar las gracias a los siguientes revisores, cuyos amables comentarios ayudaron a dar forma al manuscrito: Antonio Arreola-Risa, Texas A&M University; Lisa Betts, Kent State University; Geza Paul Bottlik, University of Michigan–Ann Arbor; Carol L. Davis, Ross Video; Michael R. Godfrey, University of Wisconsin–Oshkosh; Vijay R. Kannan, Utah State University; Moutaz Khouja, University of North Carolina–Charlotte; William Kime, University of New Mexico; R. Lawrence LaForge, Clemson University; Nicolas C. Pretruzzi, University of Illinois en Urbana–Champaign; Srinivas Talluri, Michigan State University; Ping Wang, James Madison University, y Fredrik P. Williams, University of North Texas.

Por último, quisiera agradecer a la persona más importante, tanto en mi aprendizaje como en la culminación de este libro: mi esposa, Jeannine. El apoyo y aliento que me ha brindado a lo largo de mi carrera y durante el tiempo en que escribí este libro, jugaron un papel fundamental.

Stephen N. Chapman, PhD, CFPIM
Universidad Estatal de Carolina del Norte

CAPÍTULO I

Introducción a la planificación y el control

Esquema del capítulo

- 1.1 Operaciones de manufactura y operaciones de servicio
- 1.2 Influencia del cliente en el diseño: opciones de ambientes o entornos de producción
- 1.3 Categorías de proceso
- 1.4 Factores generadores y calificadores de pedidos
- 1.5 Aspectos del ambiente de negocios
- 1.6 Análisis de procesos y flujos de información
- 1.7 Flujos de información general
- 1.8 Estructura del libro

Introducción— Este capítulo es una introducción a la naturaleza de la planificación y el control desde el punto de vista de su evolución y aplicación en muchas organizaciones del mundo actual; en él se analiza, además, el uso e implementación de los principios fundamentales de los sistemas de control y planificación. La principal función de prácticamente toda organización (pequeña, grande, de manufactura, de servicio, comercial o sin fines de lucro) es la generación, a partir de ciertos procesos, de algún tipo de producto. A fin de que tales organizaciones sean efectivas y eficientes en la atención a los clientes, sus directivos deben comprender y aplicar algunos principios fundamentales de planificación para la generación del producto, y también para controlar el proceso que lo origina. El objetivo de este libro es identificar y explicar estos principios fundamentales. Aunque los enfoques de planificación y control que se analizan en la obra son utilizados sobre todo en compañías de manufactura, muchos también se emplean o han sido adaptados para su utilización en compañías de servicios. Las diferencias de operación que conducen a distintos usos son, asimismo, motivo de estudio, al igual que varias cuestiones ambientales que influyen fuertemente en el diseño y uso de los métodos para planificación y control seleccionados.

I.1 OPERACIONES DE MANUFACTURA Y OPERACIONES DE SERVICIO

A pesar de que este texto se centra sobre todo en la manufactura, los principios que se analizan en él también son útiles (en muchos casos) en las organizaciones de servicios. Por organizaciones de servicios nos referimos, por supuesto, a aquellas cuyo producto principal no son bienes manufacturados sino servicios destinados a las personas; por ejemplo, los servicios legales, contables, financieros, de seguros y de peluquería son “productos” no manufacturados. Resulta evidente que existen algunas diferencias importantes entre los ambientes de servicios y de manufactura, y que tales diferencias afectan la formalidad y el enfoque que se utiliza en la aplicación de estos principios, a pesar de lo cual éstos suelen seguir teniendo utilidad. Este libro aborda el análisis de los principios en su aplicación más formal y estructurada, lo cual tiende a reflejar el ambiente de manufactura. Cuando las aplicaciones tengan cabida en un entorno de servicios, se hará también un intento por describir los casos pertinentes. Desde ese punto de vista, la obra es válida tanto para operaciones de manufactura como de servicios. Resulta interesante observar en este análisis que, a medida que las organizaciones de servicios se han vuelto más grandes y han desarrollado múltiples “sucursales” —como en el caso de los bancos—, algunas (particularmente las “casas matrices” u oficinas principales de bancos, compañías aseguradoras, etcétera), han podido organizarse para aprovechar parte de las eficiencias desarrolladas en los ambientes de manufactura típicos. En ocasiones, a las compañías que siguen este esquema se les denomina organizaciones de “cuasi manufactura”.

En cierta medida, resulta más complicado implementar métodos de planificación y control en las organizaciones de servicios; esto se debe —por lo menos— a cuatro factores principales. En general, dichos elementos determinan, además, la manera en que se diseñan los métodos de planificación y control para organizaciones de servicios:

Oportunidad (timing). En las organizaciones de servicios suele existir poco tiempo entre el reconocimiento de la demanda y la entrega esperada del producto del proceso. Los clientes ingresan a un establecimiento de servicios y esperan la entrega casi instantánea del producto resultado del proceso. Muchas veces este tipo de organizaciones intentan controlar la situación, en especial si su capacidad de ofrecer el servicio es relativamente fija y/o muy costosa. Las citas y reservaciones en algunos establecimientos de servicios son ejemplos de la forma en que se pretende controlar la demanda del producto resultante de un proceso.

Contacto con el cliente. Este factor guarda estrecha relación con el tema de la oportunidad: en los ambientes de servicio, el cliente está mucho más involucrado en el diseño del “producto” o resultado de la experiencia. Además, casi siempre el punto de contacto está representado por la persona que entregará el servicio. En este sentido, el empleado de una organización de servicios puede considerarse tanto vendedor como trabajador operativo.

Calidad. En las organizaciones de servicios, una dimensión clave de la calidad radica en que buena parte de ésta puede ser intangible, lo cual ocasiona que sea mucho más difícil medirla con efectividad.

Inventario. Por lo regular, las organizaciones “puras” de servicios (aquellas cuya producción prácticamente no involucra bienes físicos) no pueden darse el lujo de

inventariar los productos que generan. Por ejemplo, es imposible inventariar un corte de cabello. En el área de manufactura, por otro lado, muchas personas podrían sentirse sorprendidas ante la idea de considerar los inventarios como un lujo, dado que suelen verse presionados por reducciones de los mismos; no obstante, desde la perspectiva de la planificación en las empresas de manufactura, en realidad el inventario puede considerarse como una “capacidad almacenada”. Básicamente, el inventario (sobre todo de bienes terminados) puede verse como la aplicación de capacidad de la organización antes de la demanda real de sus productos. En este contexto, permitirá que la empresa proporcione una aplicación más regulada de los procesos de producción, haciéndolos —por lo tanto— más eficientes y, con frecuencia, más efectivos.

I.2 INFLUENCIA DEL CLIENTE EN EL DISEÑO: OPCIONES DE AMBIENTES O ENTORNOS DE PRODUCCIÓN

El diseño del sistema de planificación y control se verá impactado por varios factores, además de los mencionados antes. Entre los más importantes se encuentran el volumen y la variedad de la producción esperada, factores que, a su vez, tienden a ser definidos en su mayor parte según la cantidad de influencia que el cliente ejerce en el diseño del producto o servicio que le es entregado a partir de los procesos de la organización. En algunos casos, el reconocimiento de la influencia que tiene el cliente sobre el diseño forma parte de la estrategia básica de la empresa, pero en otros es una reacción ante las directrices del mercado. Muchos automóviles, por ejemplo, se adquieren como bienes terminados en el lote de un distribuidor, debido sobre todo a que los clientes no quieren ordenar un automóvil que cuente exactamente con las opciones que desean, y luego tener que esperar a que se los entreguen. El grado de influencia del cliente tiende a describirse por medio de las siguientes categorías, enumeradas aquí según su orden de influencia, de menor a mayor:

Fabricación para almacenamiento (conocida también por sus siglas en inglés, ***MTS, Make to Stock***). Como sugiere el nombre de esta categoría, existen productos cuya fabricación llega a su forma final, y que se almacenan como productos terminados. La base colectiva de clientes puede tener cierta influencia sobre el diseño general en una fase temprana del bosquejo del producto; sin embargo, un cliente individual sólo tiene que tomar —esencialmente— una decisión cuando el producto está terminado: adquirirlo o no adquirirlo. Una vez más, estos patrones de compra pueden provocar modificaciones generales en el diseño del producto, lo cual no ocurre, por lo general, en el caso de un cliente individual. Los ejemplos de este tipo de productos son muy comunes, como se observa en prácticamente cualquier tienda minorista de herramientas, ropa, suministros para oficina, etcétera.

Armado bajo pedido (ATO, Assemble to Order). En este caso el cliente cuenta con mayor influencia sobre el diseño, toda vez que puede seleccionar varias opciones a partir de subarmados predefinidos. El productor “ensamblará” esas opciones para formar el producto final que desea el cliente. Como en el caso de la MTS, la base colectiva de clientes puede influir sobre el diseño general de las opciones y productos finales, pero el cliente individual sólo puede hacer su selección a partir

de las opciones especificadas. Los automóviles y las computadoras personales son buenos ejemplos de este tipo de productos. Si un cliente ordena un automóvil a un distribuidor, por ejemplo, con frecuencia podrá seleccionar entre diversos colores, estilos de carrocería, motores, transmisiones y otras opciones “puras”, como la computadora de viaje. En algunas industrias este enfoque se denomina empaquetado bajo pedido, en virtud de que es el empaquetado (desde el punto de vista de producto terminado) el que depende del cliente. En el caso de artículos como cereales para desayuno o implementos para repostería (harina, levadura en polvo, etcétera), el producto no cambia, pero puede ser comercializado en envases de varios tamaños y diversos tipos de empaque, de acuerdo con la necesidad del cliente. Un ejemplo de servicio ATO podrían ser algunos restaurantes donde el cliente puede seleccionar la guarnición para su platillo. Es posible que el cliente tenga pocas alternativas respecto de la preparación de dichas guarniciones, pero sin duda tendrá muchas en cuanto a cuál seleccionar.

Fabricación bajo pedido (MTO, Make to Order). Esta condición permite que el cliente especifique el diseño exacto del producto o servicio final, siempre y cuando en su fabricación se utilicen materias primas y componentes estándar. Un ejemplo podría ser un fabricante de muebles especiales, o una panadería. En la panadería, por ejemplo, el cliente podría solicitar la preparación de un pastel con características particulares para una ocasión especial, como un cumpleaños o aniversario. Es posible que se le den muchas opciones de diseño para el pastel y su decoración, aunque con ciertas limitaciones respecto de su tamaño, sabor, etcétera.

Ingeniería bajo pedido (ETO, Engineer to Order) En este caso el cliente tiene prácticamente completo poder de decisión sobre el diseño del producto o servicio. En general, no se verá limitado a la utilización de componentes o materia prima estándar, sino que incluso podrá hacer que el productor le entregue algo diseñado “desde cero”.

1.3 CATEGORÍAS DE PROCESO

Por su naturaleza, la influencia del cliente —analizada líneas arriba— no sólo impacta el diseño del producto o servicio, sino que también tiene profundas repercusiones en el diseño de los procesos utilizados para generar el producto o servicio. Básicamente existen cinco categorías para describir el proceso utilizado en la producción, aunque en la práctica se dan diversas combinaciones de estos tipos fundamentales. En general, las cinco categorías que se toman en consideración, son:

Proyecto. Los procesos basados en un proyecto casi siempre suponen la generación de un producto de tipo único, como la construcción de un nuevo edificio o el desarrollo de una nueva aplicación de software. Por lo general, los proyectos tienen un amplio alcance, y suelen ser administrados por equipos de individuos, reunidos exclusivamente para esa actividad con base en sus habilidades particulares. Los enfoques de planificación y control para la administración de proyectos son tan especializados que no se abordan en este libro; para conocer más sobre el tema, consulte una de las muchas y muy buenas referencias sobre administración de proyectos, como “5-Phase Project Management”, de Weiss y Wysocki.

Proceso de trabajo. Los procesos de trabajo (o procesos de taller de trabajo) por lo general tienen como objetivo lograr flexibilidad. El equipo utilizado en ellos suele ser de propósito general, lo cual significa que puede ser empleado para múltiples requerimientos de producción diferentes. La habilidad para generar el producto de acuerdo con las especificaciones del cliente se centra casi siempre en los trabajadores, quienes tienden a ser altamente calificados en un proceso de trabajo. Los procesos de trabajo por lo general se concentran en la producción de una gran variedad de requerimientos especiales, como podría ocurrir en los ambientes de diseño ETO o MTO. La alta variedad de diseño exige procesos flexibles y mayores habilidades entre la fuerza laboral. El trabajo en estas condiciones se desarrollará casi siempre de forma un tanto “desorganizada” debido a la alta variabilidad del diseño de cada labor. También es a causa de la variabilidad en el diseño y en los requerimientos de trabajo que los vínculos de información tienden a ser informales y laxos. Un ejemplo sería un taller de maquinaria de propósito general, una pastelería *gourmet* o un proveedor de alimentos preparados.

Procesamiento por lotes o intermitente. Muchos de los centros de manufactura del mundo actual caen en esta categoría de “término medio”. El equipo tiende a ser más especializado que el de un taller de trabajo, pero lo suficientemente flexible para producir cierta variedad de diseños. Dado que la mayor parte de la “habilidad” para generar el producto descansa en el equipo más especializado, por lo regular no es necesario que los trabajadores sean tan calificados como los de los talleres de trabajo. Con frecuencia estas empresas se organizan en un esquema de grupos homogéneos con base en las habilidades de los trabajadores y la maquinaria, dando lugar a que el trabajo se mueva de un área a otra a medida que se desarrolla el proceso. Esta categoría muchas veces se denomina “por lote” en virtud de que los productos generalmente se fabrican en lotes discretos. Por ejemplo, un proceso por lote puede generar varios cientos de unidades de un modelo de producto, empleando varias horas antes de cambiar la configuración para producir otro lote de un modelo ligeramente diferente. Algunos procesos por lote pueden producir MTO y otros MTS; sin embargo este entorno por lo general es más apropiado para el contexto ATO. Existen muchos ejemplos de productos fabricados bajo este esquema, incluyendo ropa, bicicletas, muebles, etcétera.

Procesamiento repetitivo o de flujo. Como el nombre lo indica, este tipo de infraestructura de proceso tiende a ser utilizada para un gran volumen de un rango muy estrecho de diseños. El equipo tiende a ser altamente especializado y caro, requiere poca mano de obra, y ésta tiende a no ser calificada. El gasto en equipo especial se coloca en la categoría de gastos generales, lo que permite que el costo relativamente fijo se distribuya sobre un gran volumen. Esto provoca que el costo unitario sea menor, dando lugar a un precio competitivo. El procesamiento repetitivo se utiliza por lo general en diseños del tipo fabricado para almacenamiento (MTS), como refrigeradores y otros electrodomésticos.

Continuo. Al igual que los procesos basados en proyectos, el proceso continuo se encuentra en el extremo de los tipos de procesamiento, por lo que se concentra en aplicaciones altamente especializadas. El equipo es muy especializado y se requiere muy poca mano de obra. Los procesos químicos de alto volumen y la refinación de petróleo se encuentran dentro de esta categoría. Este libro abarca sólo

TABLA 1.1 Resumen de las categorías de procesos

	<i>Proceso de trabajo</i>	<i>Por lotes</i>	<i>Repetitivo</i>
Equipo	De propósito general	Semiespecializado	Altamente especializado
Habilidad de la fuerza laboral	Altamente calificada	Semicalificada	No calificada
Enfoque administrativo	Solucionador de problemas técnicos	Liderazgo de equipos	Eficiencia (mantener el proceso funcionando)
Volumen de la producción por diseño	Bajo	Medio	Alto
Variedad de diseños producidos	Alto	Medio	Bajo
Entorno del diseño	ETO, MTO	MTO, ATO, MTS	ATO, MTS
Flujo del trabajo	Variable, desorganizado	Más definido	Altamente definido y fijo

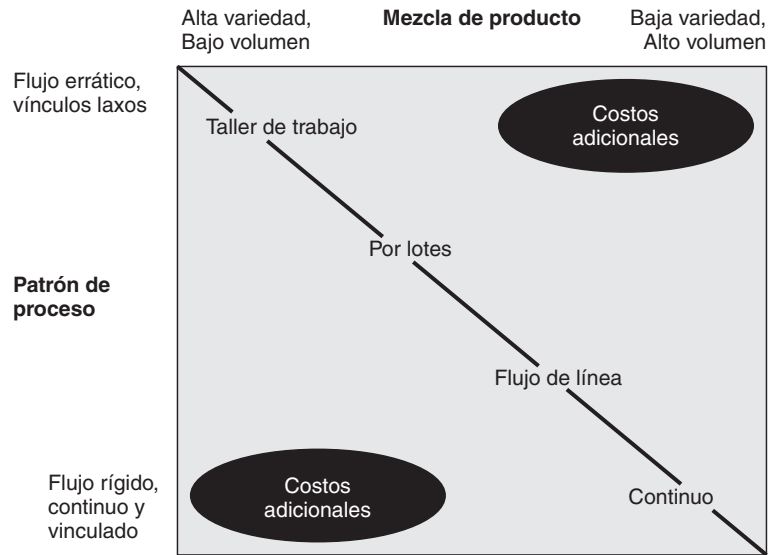
unos cuantos temas relacionados con la planificación y el control especializado de esta categoría.

Aunque éstos son los tipos más comunes, debe hacerse notar que algunos productos se fabrican dentro de operaciones “híbridas”, que pueden considerarse como combinaciones de ellos. Por ejemplo, algunos químicos pueden producirse dentro de un proceso continuo, pero luego ser empacados en un ambiente por lotes. La *tabla 1.1* resume algunos de los puntos y diferencias clave entre los tres tipos de procesos intermedios: proceso de trabajo, por lote y repetitivo.

Además, existen varias implicaciones para la planificación y el control que deberán ser altamente especializadas y diferentes a través de estos tipos de entornos de procesamiento. Prácticamente todos los aspectos de planificación y control se verán impactados, aunque la magnitud de la influencia dependerá del tipo de entorno de producción.

Una forma sencilla de ilustrar las diferencias en el volumen y la variedad relativos a los distintos tipos de procesos fue desarrollada hace varios años por Robert Hayes y Steven Wheelwright, por lo que se le conoce como Matriz de producto/proceso Hayes-Wheelwright. Como puede observarse en un ejemplo de esta matriz en la *figura 1.1*, el eje horizontal muestra el rango de productos, que parte de una amplia variedad de diseños con bajos volúmenes (MTO), hasta aquellos con poca variedad de diseño y altos volúmenes (MTS). El eje vertical indica el rango de los procesos, partiendo de aquellos con maquinaria de propósito general con flujo variable, hasta los que utilizan flujo fijo. La diagonal señala el tipo óptimo de procesamiento que suele utilizarse para cada tipo de producto.

Es preciso aclarar que la generación de un producto o servicio fuera de la diagonal no es imposible, pero pocas veces es recomendable desde el punto de vista del negocio. No es que *no* se pueda producir fuera de la diagonal, sino que no se *debería* hacerlo. Un ejemplo ilustrará esto. Piense en un productor de hamburguesas de un cuarto de libra para un restaurante de comida rápida. Su producción caería en el cuadrante inferior derecho de la matriz, toda vez que se trata de un artículo de poca variedad y

FIGURA I.1 Matriz Hayes-Wheelwright

alto volumen, producido por lo general con base en un proceso repetitivo y bastante rígido en un restaurante de comida rápida. Ahora bien, la pregunta que podría hacerse es si un restaurante *gourmet* de lujo podría también producir una hamburguesa de este tipo. Es claro que tendría tanto el equipo como las habilidades para producir un producto como éste; sin embargo, al hacerlo se ubicaría en el cuadrante superior derecho. El costo adicional en este caso estará representado por la mano de obra altamente capacitada y costosa de un restaurante de lujo, lo que implica un costo de oportunidad (una mano de obra con tales características sería mejor utilizada para producir alimentos con mayor margen de utilidad). En este caso, el restaurante *gourmet* podría producir el producto, pero no podría competir apropiadamente en el mercado sensible al precio propio de los consumidores de un producto estándar de alto volumen como éste.

Para explicar las otras posiciones “fuera de la diagonal” (parte inferior izquierda de la matriz), podríamos hacernos la siguiente pregunta: “¿Puede un restaurante típico de comida rápida producir un platillo de primera a base de costilla de cerdo?”. Tal vez la respuesta sea afirmativa, pero para hacerlo seguramente requeriría una inversión en equipo y capacitación para los empleados. Por lo tanto, podría ser posible, pero no sin costos adicionales excesivos.

I.4 FACTORES GENERADORES Y CALIFICADORES DE PEDIDOS

Otro aspecto del entorno de negocios que impactará el diseño y la administración del sistema de planificación y control está representado por los impulsores de mercado para el producto o servicio. Para comenzar este análisis, primero debe reconocerse que existen varias dimensiones por medio de las cuales los clientes que forman parte del mercado pueden evaluar la conveniencia de adquirir cierto producto o servicio de un productor dado. Algunas de las más importantes dimensiones de la competencia incluyen:

1. Precio. Generalmente está relacionado con el costo del producto o servicio. Hay dos tipos principales de categorías de precio:
 - a. Precio estándar, como un precio de lista.
 - b. Precio a la medida, por lo general negociado.
2. Calidad. Existen dos aspectos importantes a considerar.
 - a. Calidad tangible, que incluye aquellos aspectos para los cuales pueden desarrollarse mediciones específicas, entre ellas mediciones de calidad estándar como conformidad, confiabilidad y durabilidad.
 - b. Calidad intangible, que incluye aquellos aspectos que pueden tener valor para el cliente, aunque sea difícil medirlos de manera específica; por ejemplo, reputación (marca), estética, receptividad y servicio al cliente.
3. Entrega. Nuevamente existen dos aspectos principales:
 - a. Velocidad: qué tan rápido puede ser entregado el producto o servicio.
 - b. Confiabilidad: una vez que se realiza una promesa de entrega, ¿se cumple?
4. Flexibilidad. Dos cuestiones principales deben ser consideradas:
 - a. Volumen: ¿el productor puede generar fácilmente un amplio rango de volúmenes de productos?
 - b. Variedad: ¿el productor puede generar fácilmente un amplio rango de diseños y/o opciones de productos?

Es preciso hacer notar que las cuatro importantes dimensiones de esta lista son aspectos clave para la función de producción de la organización. El interés en algunos de ellos tiende a ser fuertemente compartido por áreas de responsabilidad funcional no productivas, como mercadotecnia e ingeniería. Un muy buen ejemplo es la calidad intangible, muchos aspectos de la cual con frecuencia son responsabilidad de funciones distintas a producción.

También hay que señalar que resulta prácticamente imposible para cualquier productor ser el “mejor” en el mercado en todas estas dimensiones de competencia al mismo tiempo. Como parte del desarrollo de la estrategia de operaciones de la empresa, el productor debe determinar cuáles de estas dimensiones representan ventajas para la captación de pedidos, y cuáles son sólo calificadores de pedidos para su mercado, según se defina en la estrategia corporativa.

Calificadores de pedidos. Los calificadores de pedidos representan la dimensión por medio de la cual un cliente potencial determina cuáles proveedores de un producto o servicio cumplen cierto criterio que los avala como proveedores. Los calificadores sólo permiten la consideración, y cumplir el criterio de calificación del pedido no significa necesariamente que el proveedor tendrá éxito en ganar la orden. No cumplir con el criterio, por otro lado, asegura prácticamente que el pedido irá a parar a otras manos.

Generadores de pedidos. Una vez que los proveedores potenciales han sido evaluados conforme a su criterio de calificación de pedidos, el cliente selecciona al afortunado final con base en ciertas reglas determinadas desde su particular punto de vista.

Por ejemplo, suponga que una persona está interesada en adquirir un televisor básico a color. Primero podría verificar los artículos que ofrecen los productores con reputación de calidad y confiabilidad (calificadores de pedidos). Luego podría revisar fotografías de muestra y productos de los fabricantes que califican desde su perspectiva de calidad y confiabilidad, e ir reduciendo más los posibles productos con base en las características y apariencia básica de los televisores (otro calificador). Por último, podría adquirir el televisor entre los posibles productos calificados guiándose por su precio (un criterio generador de pedidos).

I.5 ASPECTOS DEL AMBIENTE DE NEGOCIOS

Una conclusión fundamental a partir del análisis anterior, es que resulta de enorme importancia que el productor comprenda su(s) mercado(s) y diseñe sus sistemas de manera que cumplan, por lo menos, los criterios mínimos de calificación de pedidos en su mercado, pero luchando, al mismo tiempo, por ser el mejor en aquellas dimensiones que representan verdaderos generadores de pedidos. Si bien este enfoque puede parecer básico y simple, existen muchos aspectos que lo complican, entre ellos:

- **“Aprendizaje” del cliente.** Muchas veces las empresas en competencia intentan abordar el mercado de la misma forma que todas las demás (haciendo hincapié en las mismas dimensiones competitivas), pero de vez en cuando un competidor puede intentar obtener participación de mercado subrayando que es el “mejor” en él. Cuando esto sucede, también la expectativa del cliente puede cambiar. Por ejemplo, si la velocidad de entrega es el factor que genera los pedidos, a medida que los productores modifiquen su sistema para mejorar la velocidad de entrega, los clientes pueden llegar a esperar un tiempo de entrega en constante disminución, “elevando el nivel” de todas las compañías en el mercado continuamente.
- **Maniobras de competidores.** Algunas maniobras de los competidores pueden descalificar los factores generadores de pedidos, convirtiéndolos sólo en criterios de calificación y, por lo tanto, estableciendo nuevos factores generadores de pedidos. Por ejemplo, suponga que un factor generador de pedidos en cierto mercado ha sido el precio. Los competidores han trabajado duro para reducir costos, lo cual les permite cobrar menores precios. Imagine también que todos los competidores desarrollaron sus propios controles de costos para cobrar precios prácticamente iguales, hasta el punto en que los clientes perciben muy poca diferencia. En un mercado como éste, los clientes pueden volverse sensibles a otro factor generador de precios, como la velocidad de entrega. Si todos los competidores presentan básicamente el mismo precio, pero uno de ellos tiene un servicio de entrega más rápido, el factor generador de pedidos ahora será la velocidad de entrega, dejando el precio como un simple criterio de calificación. En ocasiones, los planes de marketing y publicidad efectivos también pueden modificar las percepciones del cliente en lo que respecta a las dimensiones generadoras de pedidos.
- **Mercados múltiples.** Es probable que numerosos productos o servicios de una compañía atiendan toda una diversidad de mercados. En tales casos pueden existir múltiples calificadores de pedidos en múltiples mercados, todos ellos sujetos a los cambios descritos en los primeros dos puntos. El productor efectivo necesita estar consciente de ello, y supervisar de manera continua todos los mercados, así

como los sistemas de control y planificación de la compañía necesarios para darles soporte.

- **Cambios de diseño de producto.** Los nuevos productos y los cambios de diseño de los productos —especialmente cuando la tecnología impacta las expectativas del cliente— suelen modificar también los factores generadores y calificadores de pedidos. Un buen ejemplo de ello es la manera en que la tecnología de Internet ha alterado la percepción del cliente en cuanto a cómo adquirir diversos bienes y servicios.

A medida que el análisis se desarrolle en los siguientes capítulos, se presentarán varias referencias a diversos enfoques para diseñar y administrar la planificación y el control de una operación que se verá impactada por algunas de las cuestiones de que hemos venido hablando. Por ejemplo, el enfoque del inventario y de la capacidad puede ser muy diferente para una compañía que compite con base en el precio, que para una empresa que lo hace con base en la velocidad de entrega. Las compañías que compiten a partir del precio tal vez prefieran tener muy poca capacidad o inventario extra —debido al costo involucrado—, pero un enfoque “esbelto” de la capacidad y del inventario puede tener un impacto negativo en la velocidad de entrega. En contraste, una compañía que compite en función de la entrega puede estar dispuesta a aceptar el costo extra de mantener inventario o capacidad adicional, con tal de garantizar su capacidad de cumplir la expectativa del cliente en cuanto a velocidad de entrega.

1.6 ANÁLISIS DE PROCESOS Y FLUJOS DE INFORMACIÓN

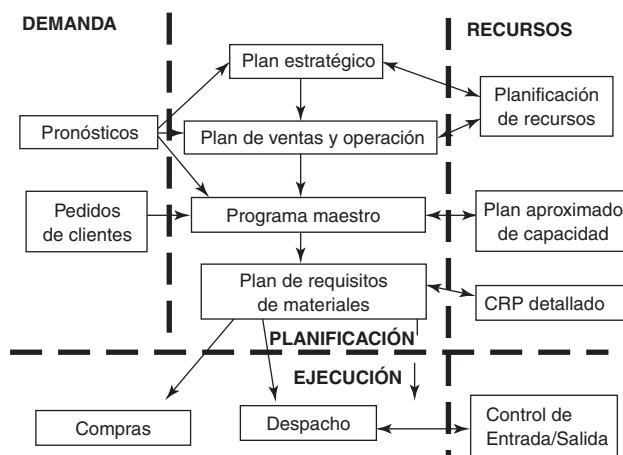
En el razonamiento anterior se mencionó cómo el ambiente de negocios (ambiente externo) puede tener un impacto sobre el diseño de los métodos de planificación y control. Existen además varios aspectos que deben determinarse respecto del análisis de los procesos internos que se utilizan para generar bienes y servicios destinados al cliente. El primero de estos aspectos es el *análisis de procesos y su mejoramiento*, en el cual se involucran varios factores, entre ellos:

- **Puntos de control y de rendición de informes.** Éstos son los puntos del proceso donde se capturan las actividades de producción. Por lo general requieren transacciones formales y estructuradas entre procesos, y muchas veces exigen también la programación formal de la actividad de producción. Algunos sistemas, como la *Planificación de requerimientos materiales*, pueden demandar muchos de estos puntos, mientras que otros, como el *Justo a tiempo*, tal vez necesiten muy pocos. Esto se verá más claro a medida que desarrollemos el análisis de éstos y otros sistemas.
- **Análisis y mejoramiento de los procesos.** A medida que la producción y los procesos productivos se modifican en respuesta a las condiciones de negocio mencionadas arriba, se hace necesario optimizar dicho cambio sistemáticamente, con el propósito de garantizar que corresponda a las necesidades de negocio de la mejor manera posible. Algunos de los métodos para lograrlo incluyen:
 1. **Mapeo de procesos.** El mapeo de procesos implica desarrollar un flujo detallado de la información y las actividades utilizadas para producir alguna actividad

definida. Con frecuencia indica tiempos para estas actividades, y determina la asignación de responsabilidades. El desarrollo y análisis de estos mapas de procesos puede emplearse para establecer

- *la integridad*: ¿se toman en consideración todas las actividades y transacciones de mayor importancia?
 - *la eficiencia*: ¿existen actividades o transacciones innecesarias que, por lo tanto, incrementan el costo sin añadir valor?
 - *la redundancia*: ¿existen actividades múltiples que básicamente ejecutan la misma tarea o recopilan la misma información más de una vez?
 - *la efectividad*: ¿todas las actividades y transacciones se realizan de la mejor manera?
2. **Mejoramiento de procesos.** Durante los años recientes se han desarrollado varios métodos para evaluar y mejorar procesos. Algunos de ellos evolucionaron dentro de un enfoque conocido como **Kaizen**, término japonés que tiene el significado general de “mejora continua”. Su objetivo tiende a incrementar la mejoría, en oposición a un mejoramiento radical de procesos.
 3. **Reingeniería de procesos.** Si un proceso sufre problemas sustanciales quizá sea necesario rediseñarlo por completo. Utilizando sólo la definición de las entradas y salidas requeridas es posible desarrollar un nuevo proceso, de manera que los insumos se empleen más efectivamente para cumplir las demandas de salida. A diferencia del Kaizen, la reingeniería de procesos por lo general implica un cambio radical en el proceso.
 4. **Mapeo de cadena de valor.** Por lo general, se considera que este enfoque para el análisis y el mejoramiento de procesos tiene relación con la *Producción esbelta*, pero podría ser utilizado de forma efectiva en prácticamente cualquier ambiente. El análisis inicia con el cliente, y casi siempre incluye el tiempo de compás, en ocasiones llamado también “el pulso del cliente”. Se obtiene tomando la demanda promedio del cliente para cierto periodo (un día, por ejemplo), y dividiendo este número entre la cantidad de tiempo disponible para la producción durante ese periodo. El resultado representa la cantidad promedio de producto que debe producirse por unidad de tiempo para cumplir la demanda del cliente. Además, el mapa de cadena de valor incluye el nivel de inventario y los tiempos de espera de material a lo largo del proceso, y los compara con el tiempo de valor añadido. Esta comparación proporciona una muy buena estimación de la oportunidad de mejoramiento. Por último, el mapa de cadena de valor presenta flujos de información que, por lo general, no son parte de un mapa de procesos regular. Una vez que se ha completado el mapa de cadena de valor del estado presente, existe la oportunidad de realizar mejoras adecuadas en el proceso.

Es importante observar que la ejecución de todas las actividades de mejora y mapeo debe darse en el contexto de una visión basada en una estrategia empresarial, así como la necesidad de que todas las medidas que se tomen respecto de los procesos mejorados se encuentren vinculadas con los imperativos estratégicos de la empresa.

FIGURA 1.2 Flujo general de las actividades de planificación y control

I.7 FLUJOS DE INFORMACIÓN GENERAL

El diagrama de la figura 1.2 ilustra el flujo de información general para planificación y control de muchas empresas de manufactura.

Todas las actividades que se mencionan en él se explicarán a detalle en capítulos posteriores; sin embargo, en términos generales, a medida que el diagrama avanza de arriba hacia abajo, el nivel de detalle se incrementa y los horizontes de tiempo tienden a disminuir. La parte central presenta las principales actividades de planificación, mientras que las secciones laterales muestran la forma como fluyen la oferta (recursos) y la demanda. Observe que muchas de las flechas tienen doble sentido, lo que significa que la información fluye de ida y vuelta, en lo que se conoce como planificación de “lazo cerrado”. La parte inferior del diagrama indica actividades de ejecución, que son aquellas que se dan después de que la planificación se ha completado y la producción ha dado inicio.

Básicamente, la figura muestra las actividades y flujos de información internos. No obstante, a medida que más empresas adopten los conceptos de la administración de cadenas de suministro, buena parte de esta información fluirá entre las organizaciones y no sólo dentro de ellas. Con frecuencia la información sobre compras estará ligada de manera directa a los proveedores, y la información sobre pedidos de clientes fluirá directo desde los mismos.

I.8 ESTRUCTURA DEL LIBRO

En general, el método para desarrollar el análisis de los principios de planificación y control se lleva a cabo en el orden con que se realiza el análisis real en muchas empresas. Va del largo plazo —con métodos más generales— a las herramientas de decisión más detalladas y de corto plazo. Específicamente, el siguiente capítulo analiza los métodos para pronosticar la demanda de productos y servicios, mientras que el capítulo 3 presenta algunos enfoques de la planificación de alto nivel. El capítulo 4 analiza los mé-

todos de la programación maestra, que suelen representar el primer punto de contacto entre los pedidos específicos de los clientes y la operación (aunque esto de alguna forma depende del software específico que se utiliza). Esta programación maestra de pedidos se convierte, más tarde, en planes específicos de materiales (capítulo 6) y, por lo general, representan la necesidad del inventario y su control, como se analiza en el capítulo 5.

Los planes de materiales son muy importantes; sin embargo varias cuestiones administrativas y de sistemas deben tomarse en cuenta para poder ejecutarlos. Específicamente, la cantidad adecuada del tipo apropiado de capacidad es básico, como se analiza a detalle en el capítulo 7. En casi todos los procesos de manufactura, la sola planificación resulta insuficiente. Una vez que los planes han finalizado y se han liberado a producción, necesitan ser controlados cuidadosamente para asegurar que los requerimientos del cliente se atienden con máxima eficiencia e interferencia operacional mínima. El análisis de los métodos para el control de la producción se incluye en el capítulo 8.

En los capítulos 9 y 10 se analizan los enfoques alternativos para administrar una empresa de manufactura. De manera específica, el capítulo 9 aborda los sistemas *Justo a tiempo* (JIT) y Kanban, los cuales evolucionaron, en fecha reciente, en lo que se conoce como “producción esbelta”. En el capítulo 10 estudiaremos el método fundamental de la teoría de restricciones.

El capítulo 11 ofrece un panorama general de dos de las actividades más importantes de “asociación” de planificación y control, en particular los aspectos fundamentales de compras y distribución. La actividad de compras es el área donde la producción suele dar inicio, en especial por lo que concierne al abastecimiento de los servicios y el material necesarios —como la “materia prima”— para la producción. La actividad de distribución, por otro lado, está relacionada con la vinculación entre la producción y la entrega final al cliente.

Por último, el capítulo 12 ofrece un breve análisis del enfoque general para la implementación de sistemas de planificación y control. También aborda la relación entre el ambiente de producción/mercado y el tipo de sistema de planificación y control seleccionado; además, ofrece un breve panorama del método altamente integrado de estos aspectos que han utilizado muchas compañías modernas gracias al desarrollo de grandes y completos sistemas de cómputo y equipo. Un ejemplo importante de tal integración incluye los sistemas de **Planificación de Requerimientos Empresariales (ERP)**, por las siglas en inglés de *Enterprise Requirement Planning*) y las cadenas de suministro, en los que todos los flujos de información y de materiales, desde la materia prima hasta el uso del cliente final, son considerados, evaluados y planificados. Un nivel tal de planificación y control a lo largo de la organización requiere compartir bastante información a lo largo de la cadena de suministro, y exige que la información sea precisa y oportuna. Los sistemas internos de planificación y control, tema principal de este libro, son los necesarios para proporcionar esta información de manera precisa y oportuna.

TÉRMINOS CLAVE

Armado bajo pedido (ATO)	Factor calificador de pedidos	Procesamiento de flujos
Empaquetado bajo pedido	Factor generador de pedidos	Procesamiento por lotes
Fabricación bajo pedido (MTO)	Ingeniería bajo pedido (ETO)	Proyecto
Fabricación para almacenamiento (MTS)	Kaizen	Taller de trabajo
	Procesamiento continuo	

RESUMEN

Este capítulo estableció varios de los impulsores clave del entorno y de la organización que emplean los directivos para diseñar y administrar, de manera más efectiva, los sistemas de planificación y control que utilizan sus compañías. En el análisis se incluyeron aspectos de producción organizacional (manufactura vs. servicio), así como la cantidad de influencia del cliente en el diseño del producto o servicio. También se abordaron las categorías de opciones de procesamiento, que van desde los proyectos utilizados para productos/servicios únicos con muy

bajo volumen, hasta la producción de flujo utilizada para la generación de grandes volúmenes de productos estándar. Un aspecto adicional de la influencia del cliente es la dimensión de la competencia —base de su decisión de compra (factor generador de pedidos)— de compañías que lograron un nivel básico de desempeño en criterios de calificación de pedidos. También se analizó la naturaleza dinámica del comportamiento del cliente, y el cambio de proceso con base en el cliente y en aspectos tecnológicos.

REFERENCIAS

Hayes, R. H. y S. C. Wheelwright, *Restoring Our Competitive Edge: Competing Through Manufacturing*. New York: John Wiley, 1984.

Hill, T. *Manufacturing Strategy*. New York: Irwin McGraw-Hill, 2000.

Vollman, T. E., W. L. Berry y D. C. Whybark, *Manufacturing Planning and Control Systems*, New York: Irwin McGraw-Hill, 1997.

Weiss J. W. y R. K. Wysocki, *5-Phase Project Management*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley, 1992.

PREGUNTAS DE ANÁLISIS

1. Analice el impacto potencial que tendría cada uno de los siguientes puntos sobre el diseño de un sistema de planificación y control. ¿El impacto sería distinto si la organización estuviera más enfocada en la generación de productos que en la prestación de servicios?
 - a. Cercanía de la ubicación con los clientes.
 - b. Introducción de una nueva tecnología que impacta el diseño.
 - c. Clientes que demandan una entrega más rápida.
 - d. Clientes que demandan menores precios.
2. Analice el impacto potencial que la evolución de las organizaciones de “cuasi manufactura” puede tener sobre la planificación y el control. Un ejemplo de esta cuasi manufactura es el desarrollo de grandes organizaciones de crédito al consumo (típicamente clasificadas como organizaciones de servicio) entre los fabricantes de automóviles.
3. ¿Cuáles son las posibles consecuencias sobre la planificación y el control si la organización cuenta con una amplia mezcla de tipos de producto (MTS, ATO, MTO)?
4. Describa las posibles implicaciones de costos de fabricar un producto estándar dentro de un ambiente de taller de trabajo.

5. Analice las posibles implicaciones sobre la planificación y el control si la base de clientes cambia al grado de que un factor calificador de pedidos se desplaza para convertirse en un factor generador de pedidos.
6. ¿Es posible que exista más de un factor generador de pedidos dentro de un mercado definido? ¿Por qué?
7. ¿Cuál es el impacto potencial sobre la planificación y el control si la organización tiene varios tipos de clientes, cada uno con una característica generadora de pedidos distinta?
8. Analice la forma en que una modificación en el diseño de un producto puede dar lugar a un cambio en el diseño del sistema de planificación y control.
9. ¿Un cambio en el diseño del proceso implica necesariamente una modificación correspondiente en el diseño de un sistema de planificación y control? ¿Por qué?

CAPÍTULO 2

Principios básicos de pronóstico

Esquema del capítulo

- 2.1 Principios fundamentales del pronóstico
- 2.2 Principales categorías de pronóstico
- 2.3 Errores de pronóstico
- 2.4 Apoyo por computadora

Introducción– El punto de inicio de prácticamente todos los sistemas de planificación se da a partir de la demanda real o esperada de los clientes. Sin embargo, en casi todos los casos el tiempo necesario para generar y entregar el producto o servicio excederá la expectativa del cliente. Si se quiere evitar que esto suceda, la producción tendrá que dar principio antes de que se conozca la demanda real del consumidor. Así, la producción deberá iniciar a partir de la demanda esperada o, en otras palabras, de un pronóstico de la demanda. En este capítulo analizaremos algunos de los principios y métodos fundamentales de pronóstico para los sistemas de planificación y control.

2.1 PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DEL PRONÓSTICO

En primer lugar, empezaremos por enunciar una definición básica del pronóstico:

La formulación de pronósticos (o proyección) es una técnica para utilizar experiencias pasadas con la finalidad de predecir expectativas del futuro.

Observe que en esta definición el pronóstico no es realmente una predicción, sino una proyección estructurada del conocimiento pasado. Existen varios tipos de pronóstico, utilizados para distintos propósitos y sistemas. Algunos son modelos agregados de largo plazo que se emplean, precisamente, en la planificación de largo plazo, como la determinación de necesidades de capacidad general, el desarrollo de planes estratégicos, y la toma de decisiones estratégicas de compra de largo plazo. Otros son pronósticos de corto plazo para demanda de productos particulares, utilizados para la programación y el lanzamiento de la producción, antes de conocer las órdenes reales del cliente.

Sin importar el propósito del sistema para el que se utilizará el pronóstico, es muy importante comprender algunas de sus características fundamentales:

- **Los pronósticos casi siempre son incorrectos.** Pocas veces tiene importancia si un pronóstico es correcto o no; lo sustancial es concentrar nuestra atención en “qué tan equivocado esperamos que sea” y en “cómo planeamos darle cabida al error potencial en el pronóstico”. Buena parte del análisis de la capacidad de almacenamiento y/o inventario temporal que la empresa puede utilizar, se relaciona directamente con el tamaño del error de pronóstico.
- **Los pronósticos son más precisos para grupos o familias de artículos.** Casi siempre es más fácil desarrollar un buen pronóstico para una línea de productos que para un producto individual, ya que los errores de proyección respecto de productos individuales tienden a cancelarse entre sí a medida que se les agrupa. Por lo general es más preciso, por ejemplo, pronosticar la demanda de todos los sedanes familiares, que pronosticar la demanda de un modelo de sedán específico.
- **Los pronósticos son más precisos cuando se hacen para periodos cortos.** En general son menos las perturbaciones potenciales respecto del futuro próximo que pueden impactar la demanda de productos. La demanda en periodos futuros más amplios casi siempre resulta menos confiable.
- **Todo pronóstico debe incluir un error de estimación.** En la primera característica de este listado se indicó la importancia de responder a la pregunta: “¿qué tan incorrecto es el pronóstico?” Por lo tanto, es muy importante que el pronóstico vaya acompañado de una estimación numérica del error de pronóstico. Para estar completo, un buen pronóstico contiene tanto una estimación básica como una estimación de su error.
- **Los pronósticos no son sustituto de la demanda calculada.** Si usted cuenta con información de la demanda real para un periodo dado, no realice nunca cálculos con base en el pronóstico para ese mismo marco temporal. Utilice siempre la información real cuando esté disponible.

2.2 PRINCIPALES CATEGORÍAS DE PRONÓSTICO

Existen dos tipos fundamentales de pronósticos: **cualitativos** y **cuantitativos**. Debajo de los tipos cuantitativos hay dos subcategorías: de series de tiempo y causales. Aunque en este capítulo se ofrecen descripciones básicas de muchos de los tipos más comunes de pronósticos en todas las categorías, su objetivo principal es analizar los pronósticos cuantitativos de series de tiempo.

Pronósticos cualitativos

Como indica su nombre, los **pronósticos cualitativos** son aquellos que se generan a partir de información que no tiene una estructura analítica bien definida. Este tipo de pronósticos resulta especialmente útil cuando no se tiene disponibilidad de información histórica, como en el caso de un producto nuevo que no cuenta con una historia de ventas. Para ser más específicos, a continuación se listan algunas de las características clave de los datos que provienen de pronósticos cualitativos:

- Por lo general el pronóstico se basa en un juicio personal o en alguna información cualitativa externa.
- El pronóstico tiende a ser subjetivo; toda vez que suele desarrollarse a partir de la experiencia de las personas involucradas, con frecuencia estará sesgado con base en la posición potencialmente optimista o pesimista de dichas personas.
- Una ventaja de este método radica en que casi siempre permite obtener algunos resultados con bastante rapidez.
- En ciertos casos, la proyección cualitativa es especialmente importante, ya que puede constituir el único método disponible.
- Estos métodos suelen utilizarse para productos individuales o familias de productos, y rara vez para mercados completos.

Algunos de los métodos más comunes de pronóstico cualitativo incluyen encuestas de mercado, Delphi o consenso de panel, analogías de ciclo de vida y valoración informada.

Las **encuestas de mercado** son, casi siempre, cuestionarios estructurados que se envían a los clientes potenciales del mercado. En ellos se solicita su opinión acerca de productos o productos potenciales, y muchas veces intentan también averiguar la probabilidad de que los consumidores demanden ciertos productos o servicios. Si se estructuran bien, se aplican a una buena muestra representativa de la población definida, y se les analiza correctamente, pueden ser muy efectivas, especialmente en el corto plazo. Un importante defecto de las encuestas de mercado es que son bastante caras, y su aplicación es lenta si se realizan correctamente.

Los pronósticos **Delphi o consenso de panel** utilizan paneles de expertos específicos en el mercado o área para la cual se desarrolla la encuesta. Los expertos intentan transferir al análisis su conocimiento individual respecto de los factores que afectan la demanda, interactuando entre sí para tratar de llegar a un consenso en cuanto al pronóstico de la demanda para los productos o familias de productos en cuestión. La principal diferencia entre los dos métodos radica en el proceso. Mientras que el pronóstico de panel tiende a reunir a los expertos en una junta formal para que se lleve a cabo la discusión, el método Delphi permite que cada experto realice una serie de pronósticos individuales: uno a uno desarrollan su pronóstico particular con sus propios motivos definidos; después, el conjunto de pronósticos generados por la colectividad es distribuido entre todos los expertos, lo cual permite que cada uno modifique sus proyecciones con base en la información de los demás. La idea es obtener, mediante la repetición de esta serie de pasos, un consenso acerca del pronóstico.

Como puede imaginar a partir de la descripción del proceso, estos métodos tienden a ser bastante caros, principalmente debido a los requerimientos de tiempo que tendría un grupo de expertos en el tema. Tales especialistas suelen cobrar tarifas muy altas por su tiempo y observaciones. La ventaja es que tienden a ser bastante precisos cuando se realizan correctamente.

El método de pronóstico conocido como **analogía por ciclo de vida** es una aplicación muy especial que se utiliza cuando el producto o servicio es nuevo. El concepto es bastante simple: se basa en el hecho de que casi todos los productos y servicios tienen un ciclo de vida bien definido. Generalmente los productos describen un crecimiento durante la etapa temprana posterior a su introducción en el mercado. En

cierto punto, el producto o servicio madura, lo que implica un bajo o nulo crecimiento adicional, hasta que, en un momento dado, la demanda declina hasta el punto donde ya no es ofertado. Las principales preguntas que surgen al considerar este ciclo de vida incluyen:

- ¿Cuál es el marco de tiempo? ¿Cuánto durará el crecimiento y la madurez?
- ¿Qué tan rápido será el crecimiento? ¿Qué tan rápido será la decadencia?
- ¿Qué tan grande será la demanda global, especialmente durante la fase de maduración?

Un método que puede ser efectivo para responder estas preguntas consiste en vincular la demanda del nuevo producto o servicio con uno del pasado que se espera sea similar. Esto será efectivo sobre todo si el nuevo producto o servicio está reemplazando a otro en el mercado, y va dirigido a la misma población. En tal caso, el método asume que el ciclo de vida del nuevo producto o servicio será esencialmente y a grandes rasgos el mismo que para el producto o servicio anterior al que está reemplazando.

Tal vez este método no sea particularmente preciso, pero puede ser un buen punto de partida cuando no se cuenta con una historia de la demanda del producto.

La **valoración o juicio informado** se encuentra entre los métodos de pronóstico más comúnmente utilizados, pero por desgracia también está entre los menos confiables. Una de las formas en que suele ponerse en práctica consiste en que un ejecutivo de ventas solicite a cada vendedor que desarrolle una proyección de ventas para su área, tomando como marco temporal cierto periodo futuro. Luego, el ejecutivo combina las proyecciones individuales en un pronóstico de ventas global para la compañía.

¿Por qué este método tiende a ser tan deficiente? Existen varios aspectos que pueden afectar el juicio de los vendedores individuales, algunas veces sin que sean conscientes de ello. Por ejemplo:

- Algunas veces los vendedores utilizarán el pronóstico como una oportunidad de establecer metas optimistas. Por ejemplo, si creen realmente que pueden vender 5,000 productos durante el periodo determinado, pueden ofrecer el pronóstico de 6,000 como su meta. En ocasiones esta actitud puede verse estimulada por su preocupación acerca de que la planificación de la compañía incluya recursos apropiados para producir suficientes unidades del producto que ellos venden. Si establecen un pronóstico de venta de 5,000 unidades y la compañía sólo fabrica esa cantidad, algunos vendedores podrían sentirse en desventaja al descubrir que el potencial del mercado en realidad es mayor de lo que pensaron. Casi todos los vendedores desean, por sobre todas las cosas, contar con producto disponible cuando existe un mercado potencial para él.
- Por otro lado, algunos vendedores tienen miedo de que sus pronósticos se utilicen como una cuota de ventas. Por ejemplo, si ellos realmente se sienten capaces de vender 5,000 productos en cierto periodo, podrían dar como pronóstico una cifra bastante menor. Si, por decir algo, dan un pronóstico de 4,000 unidades y en realidad venden 5,000, pensarán que las ventas por arriba del pronóstico harán que se les perciba como mejores vendedores. Si sólo venden 4,000, siempre podrán decir: “Ves, te lo dije”.

- Muchos vendedores realmente buscan obtener la mejor cifra; sin embargo, se encuentran impactados de forma inconsciente por los acontecimientos recientes. Si, por ejemplo, han tenido una semana de ventas muy mala justo antes de enviar el pronóstico, presentarían proyecciones pesimistas y menores. Lo opuesto también puede suceder si han tenido una semana muy buena.

EJEMPLO ANECDÓTICO 2.1

El siguiente ejemplo se basa en una situación real que experimentó hace poco un gerente de control de producción:

Francisco, el gerente de ventas, acaba de enviar a José, gerente de control de producción, el pronóstico de ventas de los principales productos para el siguiente año (por lo general la compañía no hace planificación de Ventas y Operación). Cuando José estaba desarrollando sus planes iniciales de producción de largo plazo para atender el pronóstico, observó algo que le sorprendió. En los últimos tiempos, la compañía había venido vendiendo aproximadamente 10,000 productos X cada año. El producto X se vendía a un pequeño grupo conformado por más o menos seis compañías, el cual lo utilizaba para fabricar otro producto. El pronóstico del producto X para el siguiente año se había establecido en 16,000 unidades. José llamó entonces a Francisco, desarrollándose la siguiente conversación:

JOSÉ: “Francisco, necesitamos hablar sobre el producto X. Me presentaste un pronóstico de ventas de 16,000 unidades para el año próximo. ¿A qué se debe esto?”

FRANCISCO: “A que eso es lo que proyectamos vender.”

JOSÉ: “¿Cuentas con nuevos clientes para el producto, o esperas tenerlos?”

FRANCISCO: “No.”

JOSÉ: “¿Alguno de tus clientes actuales tiene nuevos usos para el producto?”

FRANCISCO: “No, que yo sepa.”

JOSÉ: “¿Alguno de tus clientes tiene planes de expansión o piensa crecer?”

FRANCISCO: “Nuevamente: no, que yo sepa.”

JOSÉ: “¿Tú o alguno de los consumidores del producto X tienen planes de ingresar a nuevos mercados?”

FRANCISCO: “Sé que nosotros no los tenemos, y no creo que alguno de los clientes los tenga.”

JOSÉ: “Entonces no comprendo. ¿A qué se debe el pronóstico de 16,000 unidades?”

FRANCISCO: “¡A que eso es lo que decimos que venderemos!”

Ahora José enfrenta un grave problema. ¿Cuántas unidades deberá establecer en su planificación de producción? En la fabricación del producto X se utiliza cierto acero especial de alto costo para cuya entrega, además, hay que esperar un largo plazo. José tiene que hacer un pedido de este acero lo antes posible si quiere cubrir las necesidades de la empresa para el siguiente año. Desde su punto de vista existen cuatro escenarios: dos negativos y dos positivos:

- Fabricar 16,000 unidades y que la demanda sea de 16,000 unidades. Esto es bueno.
- Fabricar 16,000 unidades y que la demanda sea de 10,000. Esta situación es negativa, ya que habría un gran inventario de alto costo que permanecería inactivo.
- Fabricar 10,000 unidades y que la demanda sea de 10,000. Esto es bueno.

- Fabricar 10,000 unidades y que la demanda sea de 16,000. Otro escenario negativo, por muchos motivos evidentes.

¿Qué debe hacer? Algunas veces las personas que escuchan esta historia dicen que debería fabricar 13,000 unidades (el promedio), pero ésta probablemente sería una mala idea si se toma en cuenta cualquiera de los cuatro escenarios.

La respuesta correcta, naturalmente, es planificar la fabricación de 10,000 unidades. ¿Por qué? Analicemos la conversación. Lo que José realmente está haciendo es desarrollar un pronóstico a través de las preguntas que le hace a Francisco, método que este último debió utilizar también desde el principio para realizar su proyección. Tomando en cuenta las respuestas a su interrogatorio, José siente que es altamente improbable que la demanda sea mayor de lo que ha sido en el pasado. Un año después, José demostró que tenía razón, ya que las ventas del producto X apenas llegaron a 10,000 unidades.

Pronósticos cuantitativos: método causal

El primero de los dos métodos de pronóstico cuantitativo que analizaremos se denomina **causal**. Algunas de las características clave de este método son:

- Se basa en el concepto de relación entre variables; es decir, en la suposición de que una variable medida “ocasiona” que la otra cambie de una forma predecible.
- Parte de un supuesto importante de causalidad, y de que la variable causal puede ser medida de manera precisa. La variable medida que ocasiona que la otra variable cambie con frecuencia se denomina “indicador líder”. Por ejemplo, el inicio de la construcción de nuevas viviendas suele utilizarse como indicador líder para desarrollar pronósticos en muchos otros sectores de la economía.
- Si se desarrollan indicadores líderes apropiados, este método con frecuencia ofrece excelentes resultados en cuanto a pronósticos.
- Como un beneficio colateral, el proceso de desarrollar el modelo permite, muchas veces, que quienes se encargan de él obtengan un importante conocimiento adicional de mercado. Por ejemplo, si usted se encuentra desarrollando un modelo causal de viajes de vacaciones tomando como base el indicador líder del precio de la gasolina, es probable que aprenda sobre los mecanismos que controlan los precios de la gasolina y los patrones de los viajes típicos de vacaciones.
- Este método rara vez se utiliza para un producto; es más común emplearlo para mercados o industrias completas.
- Muchas veces su puesta en práctica consume demasiado tiempo y resulta muy cara, principalmente debido a la necesidad de desarrollar relaciones y obtener información causal.

Algunos de los enfoques más comunes de pronóstico causal son:

Modelos de entrada-salida. Pueden ser modelos muy grandes y complejos, ya que analizan el flujo de los bienes y servicios a través de la economía completa. Desde este punto de vista, requieren una cantidad importante de información, lo que hace que su desarrollo sea largo y costoso. Por lo general se utilizan para proyectar necesidades para mercados enteros o para segmentos de la economía, y no para productos específicos.

Modelos econométricos. Estos modelos implican el análisis estadístico de varios sectores de la economía. Su uso es similar al de los modelos de entrada-salida.

Modelos de simulación. La popularidad de la simulación de sectores de la economía mediante computadoras está creciendo, y su uso se ha incrementado a partir del desarrollo de equipos de cómputo y modelos de simulación por computadora más potentes y menos costosos. Se pueden utilizar para productos individuales pero, una vez más, la recopilación de información tiende a ser costosa y lenta. El valor real de estos modelos radica en que son rápidos y económicos de utilizar una vez que la información ha “poblado” al modelo.

Regresión. Es un método estadístico para desarrollar una relación analítica definida entre dos o más variables. El supuesto, como en otros modelos causales, es que una de las variables “causa” que la otra se mueva. Con frecuencia la variable independiente, o causal, se denomina *indicador líder*. Un ejemplo común son los informes noticiosos sobre construcciones de vivienda, ya que suelen considerarse un indicador líder sobre la cantidad de actividad económica en varios mercados relacionados (por ejemplo, en la industria maderera o de fabricación de cemento).

Dado que se basan en información externa, los métodos de pronóstico causales en ocasiones se denominan **pronósticos extrínsecos**.

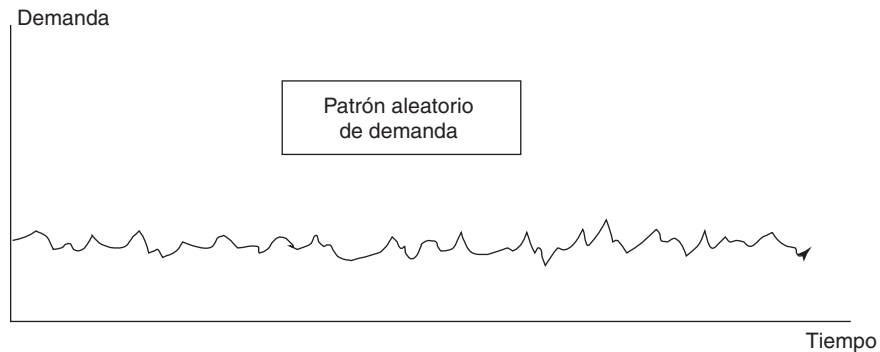
Pronósticos cuantitativos: series de tiempo

Los pronósticos de series de tiempo se encuentran entre los más utilizados por los paquetes de pronóstico vinculados con la proyección de demanda de productos. Todos ellos parten, básicamente, de un supuesto común: que la demanda pasada sigue cierto patrón, y que si este patrón puede ser analizado podrá utilizarse para desarrollar proyecciones para la demanda futura, suponiendo que el patrón continúa aproximadamente de la misma forma. Por último, esto implica el supuesto de que la única variable real independiente en el pronóstico de series de tiempo es, precisamente, el tiempo. Dado que se basan en información interna (ventas), en ocasiones se les denomina **pronósticos intrínsecos**.

Los pronósticos de series de tiempo también son los más utilizados por los responsables de operaciones cuando se encuentran con la necesidad de hacer proyecciones para realizar planes de producción razonables. El motivo es simple: las otras dos principales categorías de pronósticos (cualitativos y causales) requieren cierto conocimiento del mercado y/o ambiente externo. Tal conocimiento rara vez está a la mano de un responsable de operaciones, quien típicamente tiene puesta su atención sólo en los procesos internos. Sin embargo, la demanda previa casi siempre tiene franca disponibilidad para este responsable de operaciones.

Casi todos los modelos de pronósticos de series de tiempo intentan capturar de manera matemática los patrones subyacentes de la demanda pasada. Uno de ellos es el **patrón aleatorio**, que parte del supuesto de que la demanda siempre posee un elemento aleatorio. Esto significa lo que la mayoría de la gente sabe de forma intuitiva: el cliente que demanda bienes y servicios de una compañía, no lo hace de forma completamente uniforme y predecible (figura 2.1).

El segundo patrón es un **patrón de tendencia**. Las tendencias pueden ser crecientes o decrecientes, y tener naturaleza lineal o no lineal. Algunos ejemplos de tendencias se ilustran en la figura 2.2.

FIGURA 2.1 Patrón aleatorio de demanda

El tercero de los patrones principales es el cíclico, del cual un caso especial —pero muy común— es el **patrón estacional** (vea la figura 2.3). Aunque se les denomina estacionales (ya que para muchas compañías el patrón más común de este tipo sigue las estaciones del año), estos patrones en realidad son patrones cíclicos, ya que pueden estar ligados o no a la estaciones del año. En consecuencia, los patrones cíclicos son aquellos que siguen cierto ciclo de demanda, creciente o decreciente.

Si colocáramos un patrón aleatorio junto a un patrón de tendencia y a uno estacional, obtendríamos un patrón de demanda similar al patrón que enfrentan muchas compañías para sus productos o servicios. Por ejemplo, un patrón aleatorio estacio-

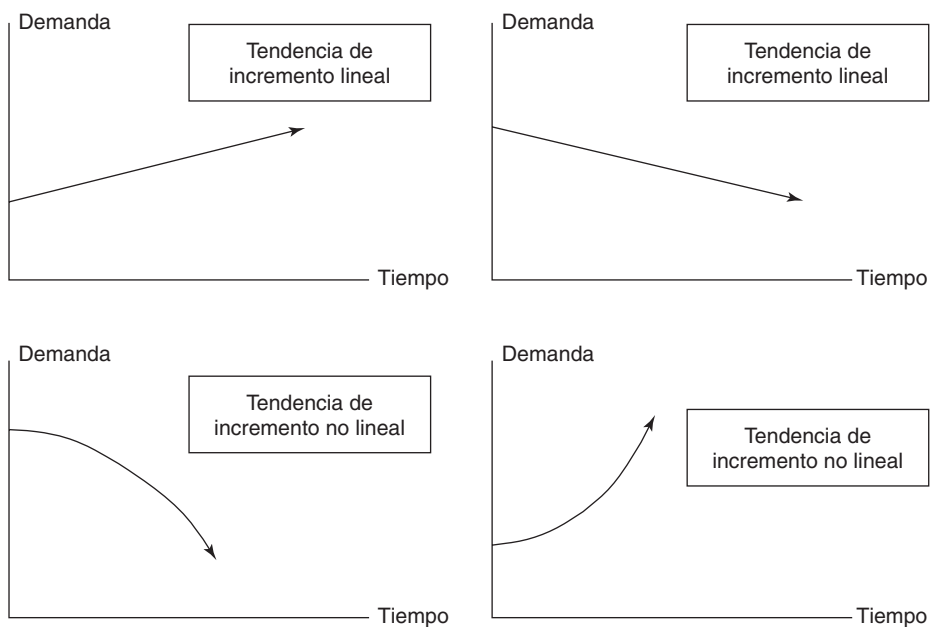
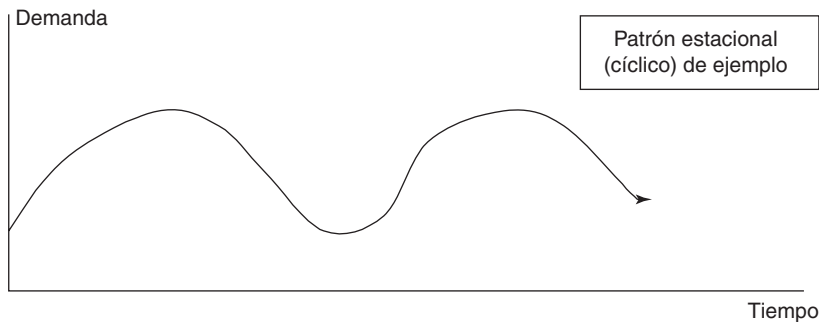
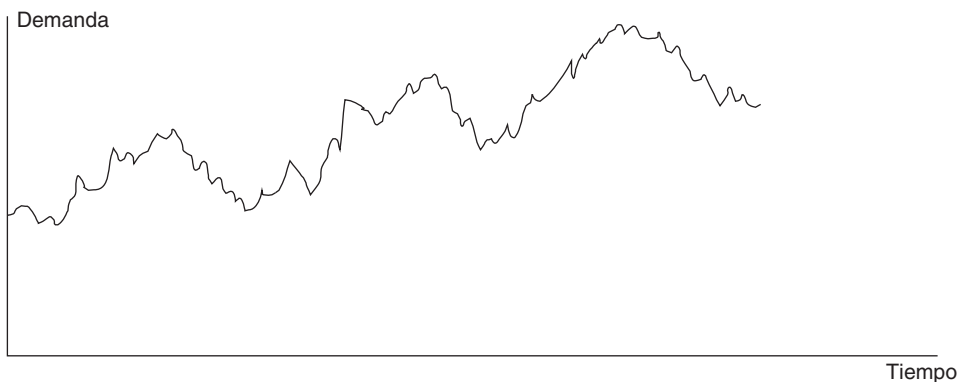
FIGURA 2.2 Ejemplos de tendencias

FIGURA 2.3 Patrón estacional de demanda

nal con una tendencia de incremento lineal se vería similar al que se ilustra en la figura 2.4.

Una vez que se han descrito los patrones básicos, podemos analizar algunos de los métodos de series de tiempo más simples que se han desarrollado para pronosticar la demanda, tomando en cuenta la existencia de dichos patrones. El primer conjunto de métodos de pronóstico incluye los métodos sencillos que se utilizan para intentar suavizar los patrones de demanda aleatorios, suponiendo que no existen patrones de tendencia o estacionales. Si no hay patrones de tendencia o estacionales en la demanda, el encargado de la proyección podría sentirse tentado a emplear la demanda real del último periodo como pronóstico para el siguiente. El problema con este método es que las organizaciones estarían continuamente incrementando o disminuyendo la producción para ajustarla al patrón aleatorio y, debido a la aleatoriedad, rara vez darían en el blanco. Es por este motivo que los métodos de suavizado intentan, como el nombre lo indica, atenuar el patrón de demanda irregular.

Estos métodos implican importantes ventajas y desventajas que deben tomarse en cuenta. Si el método de suavizado es mínimo (es decir, si permite que permanezca casi toda la aleatoriedad), se obtendrán resultados muy poco estables. Por el otro lado, si se realiza demasiado suavizado, los posibles cambios reales en la demanda no serán capturados en el pronóstico.

FIGURA 2.4 Demanda compuesta con patrones de estacionalidad, tendencia y aleatoriedad

Los **promedios móviles simples** son, como su nombre lo indica, nada más que el promedio matemático de los últimos periodos recientes de la demanda real. La ecuación general para obtenerlos tiene la siguiente forma:

$$F_t = \frac{A_{t-n} + A_{t-n+1} + \cdots + A_{t-1}}{n}$$

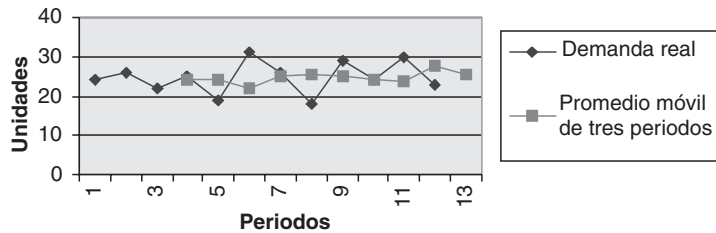
Donde: F es el pronóstico
 t es el periodo de tiempo actual, lo que significa que F_t es el pronóstico para el periodo de tiempo actual.
 A_t es la demanda real en el periodo t , y
 n es el número de periodos que se utiliza.

El concepto es mucho más fácil de comprender a partir de un ejemplo (vea la tabla 2.1). Suponga que estamos utilizando un promedio móvil de tres periodos. En consecuencia, el pronóstico para cualquier periodo será el promedio de la demanda actual para los tres periodos previos.

Los cálculos para construir la tabla son bastante sencillos. Para obtener el pronóstico para el periodo 4 tomamos la demanda real de los tres periodos previos (periodos 1 a 3), y obtenemos el promedio: $(24 + 26 + 22)/3 = 24$. El pronóstico para el periodo 5 proviene del promedio de la demanda de los periodos 2 a 4: $(26 + 22 + 25)/3 = 24.3$. El proceso se denomina de promedio móvil porque a medida que pasa el tiempo aquel se desplaza para utilizar los periodos de demanda más recientes. De forma gráfica, el proceso se observa como se ilustra en la figura 2.5.

TABLA 2.1 Ejemplo de un pronóstico de promedio móvil de tres periodos

<i>Periodo</i>	<i>Demanda</i>	<i>Pronóstico de promedio móvil de tres periodos</i>
1	24	
2	26	
3	22	
4	25	24.0
5	19	24.3
6	31	22.0
7	26	25.0
8	18	25.3
9	29	25.0
10	24	24.3
11	30	23.7
12	23	27.7
13		25.7

FIGURA 2.5 Ejemplo de promedio móvil de tres periodos

Es necesario señalar dos puntos importantes respecto de la gráfica, así como del método de promedio móvil.

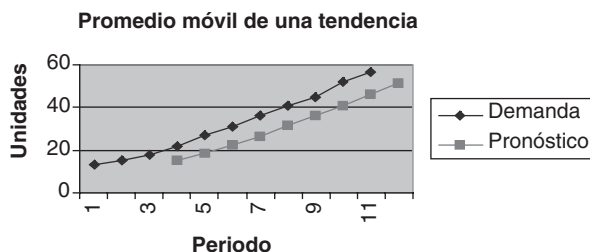
- Primero: resulta bastante evidente que la línea de pronóstico es más suave que la línea de demanda, lo que demuestra el impacto de tomar un promedio. Mientras más periodos se utilicen para calcular el promedio móvil, el resultado será más suave. El motivo es que, al emplear más periodos en el promedio, cualquiera de los puntos de demanda tendrá una menor influencia general.
- Segundo: el pronóstico siempre *quedará rezagado* en relación con toda demanda real. Esto no resulta tan obvio en la gráfica, pero suponga que utilizamos el mismo método para graficar un patrón de demanda con una tendencia ascendente, como en la *tabla 2.2*.

La gráfica de la *figura 2.6* muestra claramente la forma en que el pronóstico está rezagado de manera constante respecto de la tendencia en la información.

La implicación de este efecto de rezago es que modelos como el de promedios móviles simples por lo general no deben utilizarse para pronosticar la demanda, cuan-

TABLA 2.2 Pronóstico de promedio móvil para información con una tendencia

<i>Periodo</i>	<i>Demanda</i>	<i>Pronóstico de promedio móvil de tres periodos</i>
1	13	
2	15	
3	18	
4	22	15.3
5	27	18.3
6	31	22.3
7	36	26.7
8	41	31.3
9	45	36.0
10	52	40.7
11	57	46.0
12		51.3

FIGURA 2.6 Gráfica de pronóstico de promedio móvil con una tendencia

do la información claramente sigue algún tipo de tendencia o patrón cíclico regular. Es importante hacer notar que los métodos de pronóstico no deben elegirse de forma arbitraria, sino que es preciso seleccionarlos y desarrollarlos para que se ajusten lo más posible a la información existente.

Los **promedios móviles ponderados** son básicamente lo mismo que los promedios móviles simples, aunque con una excepción importante. Con los promedios móviles ponderados el peso asignado a cada punto de demanda pasado que se utilice en el cálculo puede variar. De esta forma es posible asignar mayor influencia a ciertos puntos de información, por lo general al punto de demanda más reciente. La ecuación básica para calcular promedios móviles ponderados es el siguiente (la W viene de *weight*, peso):

$$F_1 = W_1A_{t-1} + W_2A_{t-2} + \cdots + W_nA_{t-n} \quad \text{donde} \quad \sum_{i=1}^n W_i = 1$$

En términos más sencillos, cada uno de los pesos es menor a uno, pero su suma total debe ser equivalente a 1. Tomando los mismos puntos de datos que en el primer ejemplo (los puntos de datos de promedios móviles de tres periodos de la tabla 2.1), aplicaremos un promedio móvil ponderado, con pesos de 0.5, 0.3 y 0.2 (con el peso 0.5 aplicado a la información de demanda más reciente) (vea la tabla 2.3).

Una vez más, los cálculos son bastante fáciles. Por ejemplo, el pronóstico del periodo 4 se calcula como $0.2(24) + 0.3(26) + 0.5(22) = 23.6$. Observe que este valor es menor que el pronóstico correspondiente del periodo 4 si empleáramos un promedio móvil simple. El motivo es, naturalmente, que un mayor peso se coloca en la cifra de demanda más reciente, la que también resulta ser el más pequeño de los tres puntos de demanda que se utilizan.

La información de la tabla se presenta de forma gráfica en la figura 2.7.

Como antes, resulta obvio que el pronóstico se encuentra suavizado, y también que está rezagado respecto de los cambios reales de la demanda.

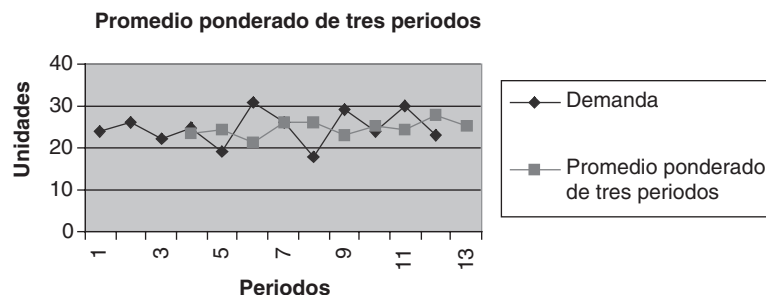
El **suavizado exponencial simple** es otro método utilizado para suavizar las fluctuaciones aleatorias en el patrón de demanda. Las dos fórmulas (matemáticamente equivalentes) que se emplean más comúnmente para calcularlo son:

$$F_t = F_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - F_{t-1}) \quad \text{o} \quad F_t = \alpha A_{t-1} + (1 - \alpha)F_{t-1} \quad \text{donde} \quad 0 \leq \alpha \leq 1$$

TABLA 2.3 Ejemplo de pronóstico de promedio móvil ponderado

<i>Periodo</i>	<i>Demanda</i>	<i>Pronóstico de promedio móvil de tres periodos</i>
1	24	
2	26	
3	22	
4	25	23.6
5	19	24.3
6	31	21.4
7	26	26.2
8	18	26.1
9	29	23
10	24	25.1
11	30	24.3
12	23	28
13		25.3

La segunda forma muestra que el pronóstico suavizado exponencial incorpora un promedio ponderado de la historia pasada $[(1 - \alpha)F_t]$. Como la información de varios periodos tempranos sigue contenida en el pronóstico, y toda vez que fue ponderada numerosas ocasiones a medida que el pronóstico se desarrollaba periodo a periodo, se podría considerar como ponderado de forma exponencial, de ahí el nombre. Sin embargo, la primera forma es más fácil de explicar desde la perspectiva de lo que el método hace desde un punto de vista lógico. Básicamente el pronóstico se obtiene tomando el pronóstico del periodo previo (F_{t-1}), y añadiéndole una parte del error del pronóstico del periodo anterior. El **error de pronóstico**, por supuesto, es la diferencia entre la demanda real para algún periodo y el pronóstico para ese mismo periodo ($A_{t-1} - F_{t-1}$). La parte del término de error se obtiene mediante la multiplicación por α , que es la letra griega alfa y se denomina **constante de suavización**. El valor de alfa siempre se encuentra entre cero y uno, dado que si equivale a cero no se

FIGURA 2.7 Gráfica del ejemplo del promedio móvil ponderado

añade ninguna parte del error y el pronóstico siempre es el mismo número, mientras que si equivale a uno se añadiría el error completo de pronóstico y no se realizaría ninguna suavización. Como podría esperarse, mientras más alto sea el valor de alfa, mayor será el error de pronóstico que se agrega. Esto hace que el pronóstico sea más sensible a los cambios reales en la demanda, pero también puede conllevar una mayor reacción (y perturbación) en la organización, ya que continuamente busca reaccionar ante un pronóstico más errático. El impacto del valor alfa sobre el pronóstico puede observarse claramente tomando el mismo conjunto de datos utilizado antes, y obteniendo los pronósticos de suavización exponencial empleando valores de alfa primero de 0.2, luego 0.5 y por último 0.8. La tabla usa el promedio móvil simple en los primeros dos periodos para desarrollar un pronóstico inicial de 25 unidades para el periodo 3, después de lo cual se puede utilizar la suavización exponencial para calcular los pronósticos restantes.

Observe que la suavización exponencial asume que se cuenta con una cantidad de pronóstico (F_{t-1}). Sin embargo, cuando se empieza a desarrollar el pronóstico casi nunca se cuenta con tal pronóstico inicial. Esto quiere decir que deberá iniciarse el proceso utilizando otro método de pronóstico, después de lo cual podrá emplearse el resultado como el F_{t-1} inicial.

La gráfica resultante que muestra la información de la demanda y los datos de pronóstico se ilustra en la figura 2.8.

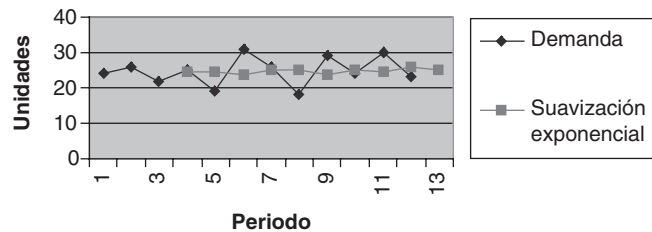
Como puede observarse, con un valor de alfa tan pequeño, existe muy poco cambio en la línea gráfica del pronóstico. Cuando alfa es igual a 0.5 (vea la tabla 2.5) es posible ver una sensibilidad mayor.

TABLA 2.4 Ejemplo de suavización exponencial ($\alpha = 0.2$) con información de la tabla 2.1

<i>Periodo</i>	<i>Demanda</i>	<i>Suavización exponencial con alfa = 0.2</i>
1	24	
2	26	
3	22	
4	25	24.4
5	19	24.5
6	31	23.4
7	26	24.9
8	18	25.1
9	29	23.7
10	24	24.8
11	30	24.6
12	23	25.7
13		25.2

FIGURA 2.8 Suavización exponencial con $\alpha = 0.2$

Suavización exponencial con una constante de suavización de 0.2

**TABLA 2.5** Utilización de $\alpha = 0.5$ con la misma información de la demanda

<i>Periodo</i>	<i>Demanda</i>	<i>Suavización exponencial con alfa = 0.5</i>
1	24	
2	26	
3	22	
4	25	23.5
5	19	24.3
6	31	21.6
7	26	26.3
8	18	26.2
9	29	22.1
10	24	25.5
11	30	24.8
12	23	27.4
13		25.2

La línea gráfica para el pronóstico evidentemente es más sensible de lo que era para un alfa de 0.2, pero muestra incluso más sensibilidad cuando alfa se modifica a 0.8, como se ilustra en la [tabla 2.6](#).

FIGURA 2.9 Gráfica de la información de demanda con $\alpha = 0.5$

Suavización exponencial con una constante de suavización de 0.5

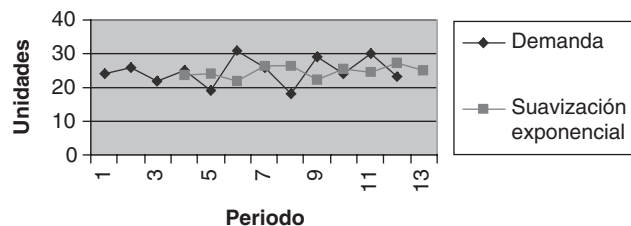
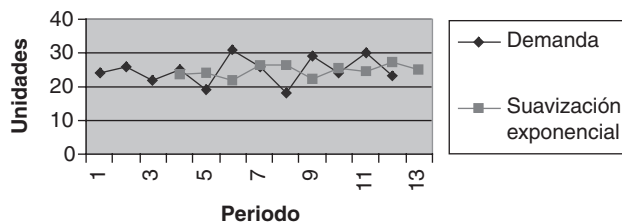


TABLA 2.6 Utilización de $\alpha = 0.8$ con la misma información de la demanda

<i>Periodo</i>	<i>Demanda</i>	<i>Suavización exponencial con $\alpha = 0.8$</i>
1	24	
2	26	
3	22	
4	25	22.6
5	19	24.5
6	31	20.1
7	26	28.8
8	18	26.6
9	29	19.7
10	24	27.1
11	30	24.6
12	23	28.9
13		24.2

FIGURA 2.10 Gráfica de la información de demanda con $\alpha = 0.8$

Suavización exponencial con una constante de suavización de 0.8



La **regresión**, conocida en ocasiones como “línea de mejor ajuste”, es una técnica estadística para intentar ajustar una línea a partir de un conjunto de puntos mediante el uso del mínimo error cuadrado total entre los puntos reales y los puntos sobre la línea. Una de las bondades de la regresión es que permite determinar ecuaciones de líneas de tendencia. La mejor manera de demostrar cómo puede utilizarse es a través de un ejemplo. En la *tabla 2.7* añadimos también un factor estacional a la información para poder ilustrar un método que nos permita manejar información estacional utilizando el mismo conjunto de datos. Iniciamos con un conjunto de datos que contiene 2 años de información de demanda, presentada por trimestres. Observe que los trimestres 1 y 5 representan la misma estación, igual que los trimestres 2 y 6, y así sucesivamente.

Al introducir la información histórica de la demanda en Microsoft Excel (o en cualquier otro de los numerosos paquetes estadísticos con funciones para calcular regresiones) y aplicar el análisis de regresión, se encontró que los datos presentan una intersección de 268.3 con un coeficiente variable X de 18.8. La forma general de la ecuación de regresión es $Y = aX + b$, donde ‘a’ es la pendiente de la línea, y ‘b’ es la in-

TABLA 2.7 Demanda histórica para utilización con regresión

<i>Trimestre</i>	<i>Demanda</i>
1	256
2	312
3	426
4	278
5	298
6	387
7	517
8	349

TABLA 2.8 Pronóstico de regresión con información de la tabla 2.7

<i>Trimestre</i>	<i>Demanda</i>	<i>Pronóstico de regresión</i>
1	256	287.1
2	312	305.9
3	426	324.7
4	278	343.5
5	298	362.3
6	387	381.1
7	517	399.9
8	349	418.7
9		437.5

tersección X. Esto significa que la línea de regresión tiene una ecuación de $Y = 18.8$ (trimestre) + 268.3. Al aplicar esta fórmula obtenemos la tabla 2.8, que incluye el pronóstico de regresión.

Como cabe suponer, un pronóstico de línea recta calculado utilizando un modelo de regresión lineal no muestra la estacionalidad de la información; esto puede observarse claramente en la figura 2.11.

Para incorporar la estacionalidad en el pronóstico es necesario desarrollar multiplicadores estacionales para cada trimestre. Para hacer esto primero encontramos la proporción de la demanda real respecto del pronóstico de regresión en la tabla 2.9.

Por ejemplo, el valor del primer trimestre, 0.89, proviene de $256/287.1$. Luego se calcula un promedio para los trimestres correspondientes. Esto significa que para el primer trimestre del año (representado por los trimestres 1 y 5), el multiplicador estacional es $(0.89 + 0.82)/2$, que equivale a 0.86. En la tabla 2.10 se presentan otros multiplicadores.

Ahora es posible aplicar los multiplicadores estacionales al pronóstico de regresión básico para desarrollar un pronóstico de regresión ajustado estacionalmente; sólo hay que hacer una sencilla operación de los multiplicadores estacionales por el pronóstico de regresión, como se muestra en la tabla 2.11.

FIGURA 2.11 Gráfica de la información de la tabla 2.7 con una línea de regresión lineal asociada

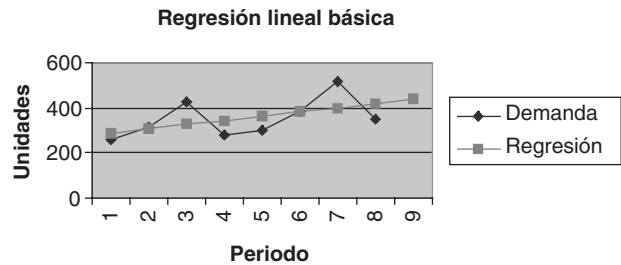


TABLA 2.9 Cálculo de proporciones estacionales

Trimestres	Demanda	Pronóstico de regresión	Proporción de la demanda al pronóstico
1	256	287.1	0.89
2	312	305.9	1.02
3	426	324.7	1.31
4	278	343.5	0.81
5	298	362.3	0.82
6	387	381.1	1.02
7	517	399.9	1.29
8	349	418.7	0.83
9		437.5	

TABLA 2.10 Multiplicadores estacionales finales

Trimestres	Demanda	Pronóstico de regresión	Proporción de la demanda al pronóstico	Multiplicadores estacionales
1	256	287.1	0.89	0.86
2	312	305.9	1.02	1.02
3	426	324.7	1.31	1.30
4	278	343.5	0.81	0.82
5	298	362.3	0.82	0.86
6	387	381.1	1.02	1.02
7	517	399.9	1.29	1.30
8	349	418.7	0.83	0.82
9		437.5		0.86

TABLA 2.11 Pronóstico de regresión ajustado estacionalmente

<i>Trimestres</i>	<i>Demanda</i>	<i>Pronóstico de regresión</i>	<i>Multiplicadores estacionales</i>	<i>Pronóstico de regresión ajustado estacionalmente</i>
1	256	287.1	0.86	246.1
2	312	305.9	1.02	311.3
3	426	324.7	1.30	422.9
4	278	343.5	0.82	282.2
5	298	362.3	0.86	310.5
6	387	381.1	1.02	387.8
7	517	399.9	1.30	520.8
8	349	418.7	0.82	343.9
9		437.5	0.86	376.3

Si observamos ahora la comparación gráfica entre la demanda real y el pronóstico de regresión ajustado estacionalmente en la figura 2.12, nos daremos cuenta rápidamente de cuán cerca se encuentran. Además, el pronóstico para el periodo 9 nos proporciona bastante confianza, en virtud de lo estrechamente que se ajustan los otros trimestres (de hecho, en esta gráfica resulta difícil distinguir que en realidad se trata de dos líneas independientes).

Para demostrar cuán cerca se encuentran, en la tabla 2.12 se muestra el porcentaje de error entre el pronóstico estacional y la demanda real.

Antes de abandonar el tema de la regresión, quizá sería útil aclarar cualquier confusión que pudiera existir debido a que la regresión se clasificó como un método de pronóstico tanto en la categoría causal como en la de series de tiempo. Existe una diferencia fundamental entre ambas, incluso cuando el cálculo matemático de las líneas de regresión sea el mismo. La diferencia es que, en la regresión de series de tiempo, la variable independiente siempre es el tiempo, mientras que en la regresión causal la variable independiente siempre es otra variable, generalmente un indicador líder de la economía.

También es preciso hacer notar que aun cuando el análisis de los índices estacionales se presentó en el contexto de la regresión de series de tiempo, el concepto de desarrollar y aplicar índices estacionales puede utilizarse prácticamente en cualquiera de los modelos de series de tiempo.

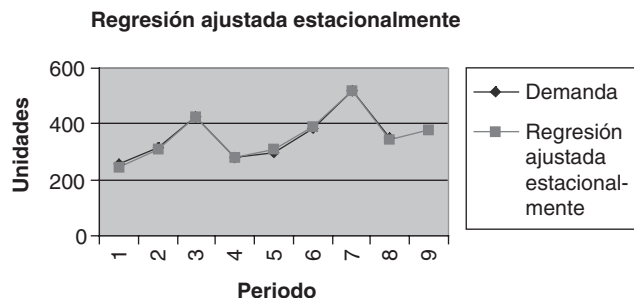
FIGURA 2.12 Gráficas de regresión ajustadas estacionalmente

TABLA 2.12 Cálculo del error para el pronóstico de regresión ajustado estacionalmente

<i>Trimestre</i>	<i>Demanda</i>	<i>Pronóstico</i>	<i>Error</i>	<i>Porcentaje de error</i>
1	256	246.1	9.9	4%
2	312	311.3	0.7	0%
3	426	422.9	3.1	1%
4	278	282.2	-4.2	-1%
5	298	310.5	-12.5	-4%
6	387	387.8	-0.8	0%
7	517	520.8	-3.8	-1%
8	349	343.9	5.1	1%

2.3 ERRORES DE PRONÓSTICO

Al principio del capítulo se mencionó que todo pronóstico debe contener dos números: el pronóstico en sí mismo y el estimado de error. Toda vez que la primera regla del pronóstico es que es probable que la proyección sea incorrecta, una pregunta clave es: “¿qué tan incorrecta puede ser?” Responder esta interrogante es muy importante desde el punto de vista de la planificación y el control, dado que representa un factor fundamental para dirigir el negocio. Podría ser necesario implementar métodos de planificación de un inventario temporal, de capacidad del almacenamiento temporal u otros para ajustar la demanda real que difiera de la pronosticada.

Existen varias técnicas importantes para calcular el error. Entre las más útiles se incluyen:

Error promedio de pronóstico (MFE, por sus siglas en inglés, *Mean Forecast Error*). Como su nombre lo indica, este número se calcula a partir del error de pronóstico promedio matemático sobre un periodo específico. La fórmula es:

$$MFE = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)}{n}$$

Hemos visto el término $(A_t - F_t)$ con anterioridad. Representa la diferencia entre la demanda real y el pronóstico para cualquier periodo, y también se le conoce como **error de pronóstico**. El MFE implica sumar todos los errores de pronóstico individuales, y dividirlos entre el número total de errores. La importancia de este número no radica en su valor real, sino en su signo: si es positivo, indica que la demanda real fue mayor al pronóstico sobre el rango de números incluidos. Otra forma de explicar esto es que el método de pronóstico se sesgó sobre el extremo inferior. Si su signo es negativo, naturalmente, significa que los pronósticos fueron mayores que la demanda en promedio, lo que implica que el método de pronóstico se sesgó sobre el extremo superior. Por este motivo, el MFE en ocasiones se conoce también como pronóstico de **sesgo**.

TABLA 2.13 Cálculo de los errores de pronóstico

<i>Trimestre</i>	<i>Demanda (A)</i>	<i>Pronóstico (F)</i>	<i>Error (A-F)</i>
1	12	14	-2
2	15	13	2
3	13	12	1
4	16	13	3
5	14	15	-1
6	11	14	-3

Como puede observarse en la tabla 2.13, hay un buen motivo por el que el MFE realmente no representa el error de pronóstico promedio.

$$\text{MFE} = (-2 + 2 + 1 + 3 + -1 + -3)/6 = 0/6 = 0$$

Sumando todos los errores se obtiene cero, lo que hace que el MFE sea igual a cero. Sin embargo, resulta claro que los errores de pronóstico existen, de modo que el MFE no es un buen método para encontrarlos. No obstante, demuestra que el método de pronóstico no estaba sesgado en este caso, toda vez que el método de pronóstico no subestimó ni sobreestimó la demanda total sobre el rango completo de la demanda histórica.

Desviación Media Absoluta (MAD, por sus siglas en inglés, *Mean Absolute Deviation*). Una vez más, la fórmula puede deducirse a partir del nombre del término. Literalmente significa el promedio de las desviaciones absolutas matemáticas de los errores de pronóstico (desviaciones). La fórmula, por lo tanto, es:

$$\text{MAD} = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n}$$

Esto representa un número muy importante, ya que nos indica el error de pronóstico promedio (siempre positivo) sobre el periodo en cuestión. Si utilizamos la misma información básica de la tabla anterior, podemos calcular el error de pronóstico verdadero en la tabla 2.14.

TABLA 2.14 Cálculo del valor absoluto de los errores de pronóstico

<i>Periodo</i>	<i>Demanda (A)</i>	<i>Pronóstico (F)</i>	<i> A-F </i>
1	12	14	2
2	15	13	2
3	13	12	1
4	16	13	3
5	14	15	1
6	11	14	3

$$\text{MAD} = (2 + 2 + 1 + 3 + 1 + 3)/6 = 12/6 = 2$$

A partir de estos cálculos sabemos que para los seis periodos utilizados el método de pronóstico no estuvo sesgado (cálculo MFE), con un error promedio de pronóstico de dos unidades (de acuerdo con el cálculo MAD).

Señal de seguimiento. Similar al concepto de límites de control para las tablas de control de proceso estadístico, la señal de seguimiento proporciona un límite un tanto subjetivo para que el método de pronóstico se “desvíe” antes de emprender alguna acción. Se calcula a partir del MFE y el MAD:

$$\text{Señal de seguimiento} = (n \cdot \text{MFE})/\text{MAD}$$

En algunos casos esta fórmula se escribe utilizando la “suma corrida de los errores de pronóstico”, término conocido por sus siglas en inglés, RSFE (*Sum of the Forecast Errors*). La fórmula entonces se convierte en:

$$\text{Señal de seguimiento} = \text{RSFE}/\text{MAD}$$

Este número claramente es una proporción sin valor unitario; solamente se utiliza como una señal. Una regla empírica para el uso de la señal de seguimiento es que si el valor de la misma es mayor que 4 o menor que -4 , el método de pronóstico pudiera no ser efectivo para el seguimiento de la demanda sobre el periodo en cuestión. Solamente constituye un aviso para analizar y ajustar el método de pronóstico según sea necesario.

La señal de seguimiento hace hincapié en una importante disyuntiva: evaluar y modificar el método de pronóstico con demasiada frecuencia sería costoso y probablemente consumiría mucho tiempo pero, ¿qué tanto es “con demasiada frecuencia”? En la misma línea, permitir que el método proceda demasiado tiempo sin evaluación podría producir un serio deterioro de los pronósticos. La señal de seguimiento, por lo tanto, permite averiguar, de manera sistemática, en qué oportunidades debe evaluarse o no el método de pronóstico.

2.4 APOYO POR COMPUTADORA

La velocidad, la confiabilidad y el relativamente bajo costo de las computadoras actuales vuelven muy atractivo el uso de poderosos paquetes de cómputo que utilizan fórmulas de series de tiempo. Algunos paquetes modernos incluyen varias fórmulas de series de tiempo, integradas con una variedad de factores de suavización. Una vez que la información de la demanda es ingresada en el paquete, el sistema encontrará el mejor método con base en el menor MAD (o en algún otro cálculo de error). Los resultados que proporcionan estos paquetes pueden convertirse entonces en entradas directas para otros sistemas de planificación y control, convirtiéndose muy probablemente en un excelente comienzo para el proceso de planificación.

Estos paquetes de cómputo permiten desarrollar un método rápido y económico para el proceso, mismo que debe seguirse con o sin el paquete de cómputo. De manera específica, es importante comprender el uso del pronóstico, los patrones de demanda

pasada (cuando existen) y la necesidad de intentar encontrar o desarrollar un método de pronóstico que se ajuste mejor a cada propósito particular. Una vez desarrollado, el método deberá ser validado contra la información pasada, y modificarse según sea necesario.

EJEMPLO RESUELTO

El patrón de demanda de 10 periodos para cierto producto se presenta como 127, 113, 121, 123, 117, 109, 131, 115, 127 y 118. Pronostique la demanda para el periodo 11, utilizando cada uno de los siguientes métodos: promedio móvil de 3 meses; promedio móvil ponderado de 3 meses con pesos de 0.2, 0.3 y 0.5; suavización exponencial con una constante de suavización de 0.3, y regresión lineal. Calcule el MAD para cada método, a fin de determinar el método que sería preferible de acuerdo con las circunstancias. También calcule el sesgo en la información, si existe, para los cuatro métodos, y explique su significado.

Solución: Se creó una hoja de cálculo de Excel para calcular los pronósticos para cada método, utilizando las fórmulas y métodos señalados en el capítulo. La siguiente tabla muestra el resultado del análisis. Observe que, debido a que la tendencia general de la información es bastante “uniforme” y a la aparente ausencia de estacionalidad y de cualquier otra característica cíclica, el coeficiente para el periodo en la ecuación de regresión fue muy pequeño (0.0182), provocando que los pronósticos de regresión fueran muy cercanos entre sí. El valor de pronóstico inicial de suavización exponencial de 115 se seleccionó como la demanda real del periodo anterior (no se muestra en la tabla), que fue de 115 unidades.

<i>Periodo</i>	<i>Demanda</i>	<i>PM 3 Meses</i>	<i>PMP 3 Meses</i>	<i>Suav. exp.</i>	<i>Regresión</i>
1	127			115	120.0
2	113			118.6	120.0
3	121			116.9	120.1
4	123	120.3	119.8	118.1	120.1
5	117	119.0	120.4	119.6	120.1
6	109	120.3	119.6	118.8	120.1
7	131	116.3	114.2	115.9	120.1
8	115	119.0	121.6	120.4	120.1
9	127	118.3	118.6	118.8	120.2
10	118	124.3	124.2	121.3	120.2
11		120.0	120.1	120.3	120.2

Los MADs para cada uno de los métodos de pronóstico se calcularon utilizando la fórmula que se analizó en el capítulo. El resultado fue el siguiente:

<i>Método</i>	<i>MAD</i>
Promedio móvil de 3 meses	7.1
Promedio móvil ponderado de 3 meses	7.9
Suavización exponencial	7.1
Regresión lineal	5.7

Dados los datos y la información del problema, es probable que el método a utilizar sea el de regresión, ya que ofrece un MAD relativamente bajo en comparación con otros métodos. Por supuesto, a medida que se obtenga más información, esto puede cambiar.

El cálculo del MFE para cada método arrojó resultados interesantes. Los primeros tres métodos (promedio móvil, promedio móvil ponderado y suavización exponencial) obtuvieron un número positivo (0.23, 0.16 y 1.76, respectivamente). La interpretación de esto es que los tres métodos están sesgados o, de manera específica, que producen pronósticos demasiado bajos respecto de la demanda sobre el rango de puntos de información dado. Esto no debería sorprendernos, toda vez que el coeficiente de regresión es ligeramente positivo (señal de que existe una leve pendiente positiva en la información). Tomando en cuenta nuestro análisis acerca de cómo estos tres métodos tienden a retrasarse respecto de la información, es lógico que el método de pronóstico se encuentre un poco atrasado (sesgado hacia abajo).

En contraste, el método de regresión introduce esta ligera tendencia hacia arriba, de forma que el MFE equivale a cero, lo que indica una falta de sesgo en este método.

TÉRMINOS CLAVE

Analogía del ciclo de vida	Modelo de entrada-salida	Pronósticos causales
Consenso de panel	Modelo econométrico	Pronósticos extrínsecos
Constante de suavización	Patrón aleatorio	Pronósticos intrínsecos
Desviación media absoluta	Patrón de tendencia	Regresión
Encuestas de mercado	Promedio móvil ponderado	Señal de seguimiento
Error de pronóstico	Promedios móviles	Simulación
Error promedio de pronóstico	Pronóstico	Suavización exponencial
Estacionalidad	Pronóstico cualitativo	Valoración informada
Método Delphi	Pronóstico cuantitativo	

RESUMEN

Este capítulo presenta un panorama general de algunas de las principales características de los pronósticos, clasificándolos en tres categorías principales: cualitativos, causales y de series de tiempo. Tanto los métodos cualitativos como los causales tienden a requerir bastante información sobre los mercados externos y el entorno. Dado que buena parte de esta información no se encuentra disponible fácilmente para el gerente de operaciones, los métodos de series de tiempo (que sólo exigen información de la demanda pasada), son más atractivos. Además de esta ventaja cuenta con otras, como la relativa facilidad de cálculo, especialmente con computadoras. Se les

emplea sobre todo para determinar la demanda de productos específicos, lo que —una vez más— resulta útil para las actividades de planificación detalladas que deben ejecutar los gerentes de operaciones.

Una característica importante que compar-ten todos los métodos de pronóstico, es que deben ser considerados incorrectos. La clave para los futuros métodos de planificación radica en averiguar qué tan incorrectos son en realidad. Por este motivo siempre debe existir un estima-do de error presente en el pronóstico. También se analizaron algunos de los métodos más comu-nes de cálculo y uso del error.

REFERENCIAS

Fogarty, D. W., J. H. Blackstone Jr., y T. R. Hoffmann. *Production and Inventory Management*. Cincinnati, Ohio: South Western, 1991.

Willis, Raymond E., *A Guide to Forecasting for Planners and Managers*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1987.

PREGUNTAS DE ANÁLISIS

1. Identifique algunos de los indicadores líderes que podrían utilizarse como entrada principal para pronósticos causales en la economía. Analice su utilización.
 2. ¿Qué tipo de pronósticos probablemente serían más utilizados para la planificación de ventas y operaciones (PV&O), y por qué podrían considerarse los más apropiados?
 3. ¿Qué valor aporta a una operación utilizar un método de pronóstico que sólo hace proyecciones para familias de productos?
 4. Considere al menos tres productos —introducidos recientemente— que podrían utilizar la analogía del ciclo de vida. ¿Qué productos “copiarían”? ¿Por qué es apropiado el ciclo de vida para estos productos?
 5. Cuando una compañía realiza su modelo de pronóstico, ¿cómo debería incluir información que indicara que la economía se aproxima a una recesión? ¿Debería impactar esto los datos de proyección de series de tiempo? ¿De qué manera?
 6. Analice los argumentos para utilizar una constante de suavización grande para la suavización exponencial en lugar de una pequeña. ¿En qué circunstancias sería mejor cada una de ellas? ¿Por qué?
 7. Describa con sus propias palabras por qué es mejor utilizar el MAD que el MEF para describir el error de pronóstico. ¿Cuál es el principal uso de cada uno de estos métodos para cálculo de error? ¿Realmente deberían utilizarse juntos? ¿Por qué?
-

EJERCICIOS

1. Dada la siguiente información:

<i>Periodo</i>	<i>Demanda</i>
1	43
2	37
3	55
4	48

- a. Calcule el promedio móvil de tres periodos para el periodo 5.
 - b. Calcule el pronóstico de suavización exponencial para el periodo 5, utilizando un valor alpha de 0.4. Suponga que el pronóstico para el periodo 4 fue el promedio móvil de los primeros tres periodos.
 - c. ¿Cuál método es más apropiado para manejar esta información? ¿Por qué?
2. Dada la siguiente información de demanda:

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8
Demanda	17	22	18	27	14	18	20	25

- a. Calcule el promedio móvil ponderado de cuatro periodos para el periodo 9, utilizando pesos de 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4, donde 0.4 es el peso del periodo más reciente.

- b. Calcule el pronóstico para el periodo 9, utilizando el método de pronóstico de promedio móvil de 3 meses.
- c. ¿Cuál método recomendaría utilizar y por qué?
3. Dada la misma información del problema anterior:

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8
Demanda	17	22	18	27	14	18	20	25

- a. Utilice Excel o algún otro paquete de cómputo estadístico para calcular la ecuación de regresión de los datos.
- b. Utilice la ecuación de regresión y pronostique la demanda para el periodo 9.
4. Un método de pronóstico arrojó los siguientes resultados:

<i>Periodo</i>	<i>Demanda</i>	<i>Pronóstico</i>
1	132	127
2	141	130
3	137	133
4	159	135
5	146	139
6	162	144
7	166	149
8	175	155
9	194	161
10	181	169

- a. Utilice la información para calcular el MAD.
- b. Obtenga la ecuación de regresión para la información de demanda.
- c. Utilice la ecuación de regresión y pronostique la demanda para el periodo 11.
- d. ¿El método de regresión es mejor que el método utilizado? ¿Por qué?
5. La siguiente información de demanda de un producto se recopiló sobre un periodo de 3 años:

<i>Mes</i>	<i>Demanda, año 1</i>	<i>Demanda, año 2</i>	<i>Demanda, año 3</i>
1	72	84	97
2	67	98	119
3	85	86	138
4	99	113	124
5	87	121	143
6	135	140	162
7	127	133	157
8	131	156	178
9	102	125	136
10	96	134	141
11	88	118	122
12	79	102	120

- a. Utilice la información para generar un pronóstico basado en regresión. Asegúrese de observar que existe un factor estacional en la demanda.
6. Se presenta la siguiente información para un producto:

	1998		1999	
	<i>Pronóstico</i>	<i>Demanda</i>	<i>Pronóstico</i>	<i>Demanda</i>
Trimestre I	212	232	222	245
Trimestre II	341	318	316	351
Trimestre III	157	169	160	145
Trimestre IV	263	214	251	242

- a. ¿Cuál es el MAD para la información anterior?
- b. Dada la información anterior, ¿cuál sería el pronóstico para el primer trimestre de 2000 si la compañía cambia a suavización exponencial con un valor alfa de 0.3?
7. Se presenta la siguiente información para un producto:

	2001		2002	
	<i>Pronóstico</i>	<i>Demanda</i>	<i>Pronóstico</i>	<i>Demanda</i>
Trimestre I	200	226	210	218
Trimestre II	320	310	315	333
Trimestre III	145	153	140	122
Trimestre IV	230	212	240	231

- a. ¿Cuáles son los indicios estacionales que deben utilizarse para cada trimestre?
- b. ¿Cuál es el MAD para la información anterior?
8. Considere los resultados de pronóstico que se muestran a continuación. Calcule el MAD y el MEF utilizando la información para los meses de enero a junio. ¿El modelo de pronóstico subestima o sobreestima?

<i>Mes</i>	<i>Demanda real</i>	<i>Pronóstico</i>
Enero	1040	1055
Febrero	990	1052
Marzo	980	900
Abril	1060	1025
Mayo	1080	1100
Junio	1000	1050

CAPÍTULO 3

Planificación de ventas y operaciones

Esquema del capítulo

- 3.1 Propósito de la planificación de ventas y operaciones
- 3.2 Diseño general de la planificación de ventas y operaciones
- 3.3 Métodos de planificación de ventas y operaciones
- 3.4 Estrategias para planificación de ventas y operaciones
- 3.5 Balance de recursos en la planificación de ventas y operaciones
- 3.6 Análisis: un ejemplo simple
- 3.7 Aspectos cualitativos
- 3.8 Algunos aspectos del entorno empresarial

Introducción– Los planes estratégicos de la compañía y los planes de negocio más específicos que se derivan de aquellos, especificarán la mezcla de producto y servicio que la empresa debe buscar, e indicarán también los cambios planeados en la penetración del mercado, en la aproximación al mercado, y en otros aspectos clave del negocio. Sin embargo, los planes estratégicos y de negocio tienden a ser demasiado generales para especificar las necesidades en materia de recursos o el momento en que éstos se requieren, e incluso resultan de naturaleza tan amplia que no permiten coordinar de manera apropiada los planes de acción y los recursos necesarios para varias de las funciones clave de la empresa, incluyendo operaciones, marketing/ventas, finanzas, tecnología de información y recursos humanos.

Buena parte de la más detallada planificación de recursos, incluyendo el tipo y cantidad de éstos, así como la oportunidad con que se cuenta con ellos, se logra mediante la **Planificación de Ventas y Operaciones (PV&O)**. Esta actividad de planificación se conoce por distintos nombres, dependiendo del negocio y del tipo de producción que lleva a cabo la empresa, entre ellos: **planificación agregada**, **planificación de la producción** y, en el caso de las operaciones centradas directamente en el servicio, **planificación del personal**. En este libro hemos optado por el nombre de planificación de ventas y operaciones (PV&O) porque indica de forma más efectiva las disyuntivas que suelen presentarse en estas dos importantes funciones en la empresa. De hecho, planificación de la producción no puede considerarse realmente como un sinónimo de PV&O, toda vez que, como se demostrará en este capítulo, el desarrollo de un plan

de producción es tan sólo una parte del proceso de PV&O en la empresa. Otras funciones (como recursos humanos, tecnología de información y finanzas) son extremadamente importantes en el proceso, pero sobre todo debido a que representan oportunidades y/o restricciones en la habilidad de la empresa para crear planes de acción estratégicos.

3.1 PROPÓSITO DE LA PLANIFICACIÓN DE VENTAS Y OPERACIONES

La actividad de PV&O rara vez se utiliza para la programación real de la actividad de producción. En lugar de ello, su propósito principal consiste en planificar y coordinar recursos, incluyendo el tipo, la cantidad y la pertinencia de los mismos. En consecuencia, el horizonte temporal de la PV&O casi siempre es dictado por el momento futuro en que la empresa requerirá contar con un estimado de las necesidades de recursos, con el objetivo de actuar apropiadamente para garantizar su disponibilidad. Diseñar y construir el equipo de manufactura —como máquinas herramientas especializadas— con frecuencia toma más de un año, lo que implica que las empresas que lo utilizan necesitan tener planes que tomen en cuenta ese horizonte temporal. Lo mismo puede suceder respecto de algunas personas con habilidades únicas, ya sea porque identificarlas y reclutarlas tome mucho tiempo, o porque su desarrollo exija un amplio programa de entrenamiento. Los departamentos de finanzas también necesitan saber cuándo se requerirán ciertos fondos, a fin de planificar las actividades de financiamiento y/o inversión. De manera más específica, la PV&O tiende a ser una fuente importante para la planificación de:

1. Niveles de inventario
2. Flujo de efectivo
3. Necesidades de recursos humanos
 - a. Número de personas
 - b. Niveles de habilidad
 - c. Tiempo en que se necesitan
 - d. Programas de entrenamiento
4. Necesidades de capital
5. Niveles de producción
6. Planificación de la capacidad (por ejemplo, equipo)
7. Actividades de ventas y marketing
 - a. Promociones de ventas
 - b. Publicidad
 - c. Fijación de precios
 - d. Introducción de nuevos productos
 - e. Expansión de mercados

En otros casos, especialmente en empresas de servicios que sólo requieren personal, el horizonte temporal podría ser mucho menor, sobre todo si el personal es relativamente fácil de obtener y/o entrenar. Es posible que algunas de éstas tengan tal flexibilidad que la actividad de PV&O no se encuentre formalizada, y se haga uso de ella básicamente cuando sea necesario, según la perspectiva del director general o del gerente de operaciones.

En un artículo titulado “Cómo implementar la planificación de ventas y operaciones”, Richard Ling señala los principales objetivos de la PV&O:

1. Medir y dar apoyo al plan de negocio
2. Dar soporte al cliente
3. Garantizar que los planes son realistas
4. Administrar efectivamente el cambio
5. Administrar el inventario de bienes terminados y/o de reserva para dar mejor apoyo al servicio al cliente
6. Controlar costos
7. Medir el desempeño
8. Desarrollar el trabajo en equipo

3.2 DISEÑO GENERAL DE LA PLANIFICACIÓN DE VENTAS Y OPERACIONES

En la PV&O, los productos y/o servicios suelen acumularse o agregarse en líneas o “familias” de artículos (de ahí el origen del término “planificación agregada”). El determinante clave radica en agrupar productos o servicios que utilizarán recursos similares. Esto tiene sentido cuando se observa que la función de la actividad es planificar recursos. Por ejemplo, una empresa puede fabricar diferentes estilos de mesas, quizá utilizando distintos acabados y maderas diversas. Desde una perspectiva de ventas y marketing, tal vez estos productos sean distintos para diferentes tipos de clientes, pero si en su fabricación se emplean los mismos recursos (por ejemplo, personal y equipo), la PV&O podría agruparlos lógicamente dentro de una familia. Aunque un método común de agregación es el de conformar familias de productos, algunas empresas usan las utilidades o incluso las horas de mano de obra como unidades para el análisis.

Existe por lo menos otro motivo importante para la agregación. La principal fuente de estimación de demanda que dirige el desarrollo del plan, son los pronósticos. Éstos tienden a ser más precisos cuando se desarrollan de manera agregada (o conjunta), en comparación con los planes para productos o servicios específicos. Estos pronósticos deben desarrollarse y luego coordinarse mediante planes estratégicos que puedan influir significativamente la demanda real. Ejemplos de planes que pueden impactar la demanda incluyen:

- campañas de promoción
- promociones
- cambios de precio
- movimientos estratégicos hacia nuevos mercados
- movimientos en contra de la competencia
- desarrollo de nuevos productos
- nuevos usos de los productos actuales.

Resulta evidente que estos planes tienen que ser coordinados cuidadosamente, de manera que cualesquiera recursos necesarios para su cumplimiento estén disponibles. Esta coordinación es una función principal de la PV&O.

En relación con el diseño, existen otros aspectos a considerar, entre ellos la agregación o acumulación del tiempo. Por ejemplo, es preferible analizar “bloques” de tiempo que representen una semana, un mes o cualquier otra unidad de tiempo. Una vez más, la determinación de qué unidad de tiempo utilizar depende de una disyuntiva básica entre el nivel de detalle que es útil para la planificación y la cantidad de esfuerzo necesario para obtener la información. La regla general aconseja acumular/agregar tantos datos como sea posible, hasta el punto en que puedan realizarse planes útiles de recursos. La agregación de unidades de producción y de tiempo facilita el desarrollo del plan, y tiende a ser más precisa en el agregado, pero no debe llevarse al punto en el que provoque la pérdida de información útil. La cantidad apropiada de agregación depende en gran medida del tipo de producto o servicio, de la naturaleza de los clientes que se atienden, y del proceso que se utiliza para entregar el producto o servicio.

3.3 MÉTODOS DE PLANIFICACIÓN DE VENTAS Y OPERACIONES

Al desarrollar la PV&O, el principal objetivo es establecer decisiones sobre el volumen de ventas, las metas del servicio al cliente, los ritmos de producción, los niveles de inventario y los pedidos pendientes. Para lograr este proceso es importante que ventas, marketing, operaciones, finanzas y desarrollo de productos trabajen en conjunto, guiados por el plan estratégico y por la visión de futuro de la empresa.

Una vez que el proceso de planificación estratégica se culmina en una empresa, por lo general el resultado se utiliza para realizar un plan de negocios, el cual casi siempre se expresa en términos financieros. Ya que muchas de las decisiones planteadas en la PV&O impactarán los planes financieros, es importante que estos dos procesos de planificación concuerden. Dado que en casi todas las empresas el plan de negocios es “propiedad” de la alta dirección, resulta evidente que los responsables deben involucrarse también en el proceso de PV&O. Además, hay otros motivos por los que es importante el involucramiento de la alta dirección: su participación transmite un “mensaje” claro a toda la empresa, en el sentido de que el proceso y el resultado del mismo son actividades trascendentales y que, por lo tanto, los planes que se obtengan a partir de él deberán seguirse.

La visión de fabricación para inventario de una PV&O

El diagrama de la figura 3.1 ofrece un ejemplo sencillo de cómo se presentan los resultados de un proceso de PV&O.

En este ejemplo hay varias cuestiones que debemos tomar en cuenta. En primer lugar, observe que la historia de ventas de los últimos tres meses muestra que, en términos generales, se vendieron 11,000 unidades más de lo anunciaba el plan, y que la producción fue de 4,000 unidades menos que las requeridas por aquel. Esto significa que durante esos 3 meses el inventario se habría reducido en 15,000 unidades, dado que tendrían que haber utilizado inventario de bienes terminados para satisfacer los requerimientos de los clientes. También resulta fácil observar los cálculos de mes a mes. Por ejemplo, en el primer mes de la tabla (Agosto), las ventas fueron de 314,000 unidades, mientras que la pro-

FIGURA 3.1 PV&O de fabricación para inventario (ejemplo)

Familia: polybobs estándar

Unidad de medición: 1,000 unidades
Inventario terminado meta: 15 días disponible**HISTORIA**

VENTAS	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J
Pronóstico	300	310	300	320	300	310	310	310	320	320	320	320
Ventas reales	314	302	305									
Diferencia: Mes	14	-8	5									
Acumulado		6	11									

PRODUCCIÓN	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J
Plan de producción	300	310	300	325	310	310	310	310	320	320	320	320
Producción real	303	305	298									
Diferencia: Mes	3	-5	-2									
Acumulado		-2	-4									

INVENTARIO	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J
Plan	150	150	150	140	150	150	150	150	150	150	150	150
Real	139	142	135									
Días disponible	14	14	13.5									

ducción sólo fue de 303,000 unidades (una diferencia de 11,000 unidades). Esto es lo que hizo disminuir el inventario planeado, de 150,000 a 139,000 unidades.

También se puede observar cómo se planeó hacer frente al déficit en el nivel meta de 15 días (15,000 unidades) en inventario. En noviembre se planificó producir 5,000 unidades más que las ventas esperadas, y luego producir 10,000 más que las ventas para diciembre. Se esperaba que para finales de diciembre la compañía estaría una vez más dentro de la meta.

Naturalmente, estos planes requieren una revisión al final de cada mes, dado que es improbable que las ventas y la producción sean exactamente iguales a las proyecciones. Además, las condiciones, las políticas y otros planes de negocio podrían cambiar. En este sentido, la PV&O puede considerarse un plan dinámico, que se desarrolla a lo largo del tiempo para reflejar las condiciones en cada momento particular. De hecho, a medida que transcurra cada mes, casi todas las empresas acostumbran añadir un mes adicional al final del plan para mantener permanentemente el mismo horizonte temporal.

La visión de fabricación bajo pedido de una PV&O

Cuando el producto es de fabricación bajo pedido, por lo general no existe inventario de bienes terminados. Se levanta el pedido y a continuación se inicia la producción para satisfacerlo. Al conjunto de pedidos que está en espera de producción suele denominársele **cartera de pedidos**. Estas condiciones dan lugar a una ligera variación en la PV&O, tal como se ilustra en la figura 3.2.

FIGURA 3.2 PV&O para fabricación bajo pedido (ejemplo)

Familia: polybobs de lujo

Unidad de medición: individual

Cartera de pedidos meta: 3 semanas

HISTORIA

VENTAS	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J
Pronóstico	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Ventas reales	82	79	81									
Diferencia: Mes	2	-1	1									
Acumulado		1	2									

PRODUCCIÓN	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J
Plan de producción	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Producción real	80	81	81									
Diferencia: Mes	0	1	1									
Acumulado		1	2									

CARTERA DE PEDIDOS	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J
Plan	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Real 62	64	62	62									
Semanas de cartera de pedidos	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

3.4 ESTRATEGIAS PARA PLANIFICACIÓN DE VENTAS Y OPERACIONES

Aunque tal vez en este momento contamos ya con una “visión” de los requerimientos de producción y de la manera en que éstos se “ajustan” a las ventas, necesitamos desarrollar planes más específicos en cuanto a la forma como el plan se cumplirá del modo más efectivo y eficiente. El resto del capítulo se enfoca en algunos de los métodos y disyuntivas que pueden utilizarse para analizar la planificación de la producción sin olvidar, en ningún momento, que nuestra principal atención debe estar en la planificación de recursos.

Algunas técnicas

Hay varios métodos matemáticos para el desarrollo de planes. En el pasado, algunas compañías acostumbraban incorporar tanta información como fuera posible en algoritmos matemáticos, con el objetivo de obtener una combinación óptima de productos que maximizara una función objetivo, muchas veces definida en términos de rentabilidad. Aunque este método todavía se utiliza en algunos entornos donde la capacidad y la producción están bien definidas y no son demasiado complejas (como en ciertos procesos industriales, digamos, la producción de químicos), muchas compañías prefieren otras opciones por varios motivos:

- Los entornos suelen ser demasiado complejos para capturar todas las variables y condiciones principales de manera apropiada, sin volver al modelo demasiado complejo de configurar, resolver y administrar.

- Al simplificar se realizan varios supuestos para que el modelo matemático sea manejable; sin embargo, este modelo más simple pocas veces refleja apropiadamente el propio entorno.
- Muchos gerentes no cuentan con la debida capacitación en técnicas de modelado, lo que les impide comprender cabalmente cómo administrar el proceso.

En cualquier caso, las técnicas de optimización matemática se encuentran fuera del alcance de este libro. Si el lector tiene interés en aprender más sobre ellas, le recomendamos que consulte alguno de los excelentes libros sobre ciencias administrativas o investigación de operaciones que existen.

Un segundo método consiste en simular el entorno de producción con apoyo de una computadora, lo que permite encontrar soluciones rápidas y efectivas para los escenarios que se introducen al programa. Este método está obteniendo más popularidad a medida que crece la disponibilidad de computadoras más rápidas, eficientes y económicas, y gracias a que los paquetes para programación de simulaciones se vuelven más poderosos y fáciles de utilizar. Aunque casi siempre es difícil comenzar a construir el modelo de simulación, una vez que esto se logra el método puede ser bastante efectivo en el desarrollo de enfoques del tipo “qué ocurriría si...” para el proceso de planificación.

El tercero de los métodos, de más uso en realidad, es un subconjunto del segundo. Implica simular la demanda en un entorno de recursos de producción, mediante la utilización de una hoja de cálculo electrónica. Del mismo modo que con la simulación del entorno completo de producción, una vez que el formato de hoja de cálculo se establece, resulta relativamente fácil analizar varios aspectos a través de cuestionamientos del tipo “qué ocurriría si...”. Una de las principales diferencias de la simulación del modelo por computadora y mediante de hoja de cálculo respecto del resto de los métodos comentados, radica en que, por lo general, los primeros no proporcionan una solución óptima; constituyen simplemente un método rápido y sencillo para encontrar una solución satisfactoria a las distintas combinaciones de condiciones que se introducen. En cuanto al tercer método, aunque pocas veces proporciona una solución óptima, se le utiliza mucho debido a su facilidad de uso y a la alta aceptación y conocimiento que existe en relación con el uso de software de hojas de cálculo. En consecuencia, será este método el que emplearemos en el resto del capítulo.

Métodos de análisis de disyuntivas

El objetivo general de desarrollar una buena PV&O consiste en encontrar la “mejor” alternativa para alinear los recursos y cumplir la demanda esperada bajo ciertas condiciones de operación. A menudo “mejor” significa un intento por maximizar las utilidades de la compañía, pero pueden establecerse otras condiciones para definir el término en el contexto del plan estratégico de la empresa. Ejemplos de dichas condiciones pueden ser:

- Intentar satisfacer toda la demanda esperada del cliente.
- Intentar minimizar la inversión en inventarios.
- Intentar minimizar el impacto adverso en las personas, acompañado muchas veces por volatilidad de la fuerza de trabajo a causa de despidos frecuentes.

Muchas veces resulta imposible establecer condiciones perfectas, de modo que es importante comprender estos criterios basados en disyuntivas cuando el plan se encuentra en desarrollo. Por ejemplo, bajo ciertas condiciones de demanda esperada, sólo

es posible brindar niveles muy altos de servicio al cliente si se cuenta con una fuerte inversión en inventarios, en ocasiones hasta el punto de tener un impacto negativo en la rentabilidad para ese periodo. En tal caso, la empresa debe tomar una decisión consciente en cuanto a si es mejor permitir que el servicio al cliente decaiga o aceptar las implicaciones financieras negativas de intentar cumplir con la demanda de los consumidores. Si los criterios de decisión utilizados para tomar la decisión final se establecen *antes* del desarrollo del plan, a menudo será más fácil llevar a cabo esta labor, reduciéndose la probabilidad de que se presenten “batallas” basadas en parámetros funcionales. En este contexto debe observarse que el proceso de planificación PV&O es para el negocio *completo*, y no sólo para una función.

Suelen emplearse tres categorías generales de métodos. Éstas son:

- Nivelación
- Seguimiento
- Combinación

Nivelación. Como indica su nombre, en este método de planificación se establece un nivel determinado de recursos, lo cual implica que la demanda fluctuará alrededor de su disponibilidad o, en su defecto, se harán intentos por alterar los patrones de demanda para que se ajusten de manera más efectiva a los recursos establecidos. Este método tiende a ser más común —y ciertamente más atractivo— en ambientes donde resulta difícil o demasiado costoso alterar los recursos. También suele ser el procedimiento preferido en varios entornos de “producción esbelta”. Los ejemplos incluyen:

- Prestadores de servicios profesionales, como médicos y dentistas. Es frecuente que este tipo de profesionales utilicen un esquema de citas para alterar y atenuar los patrones de demanda que existen alrededor de la disponibilidad de los recursos —relativamente costosos y difíciles de alterar— que representan sus especialidades.
- Hoteles y aerolíneas. En ambos casos, alterar la cantidad de los recursos (habitaciones y asientos, respectivamente) es, una vez más, costoso y difícil. En este entorno se emplea también el esquema de citas (aunque bajo un nombre diferente: reservaciones) para alterar los patrones de demanda. Las estrategias de precio (tarifas de fin de semana y boletos con grandes descuentos, por ejemplo) se utilizan, asimismo, para alterar los patrones de demanda, buscando ajustarlos lo más posible a la disponibilidad de recursos. Muchos restaurantes y talleres de reparación automotriz se encuentran también en esta categoría.
- Algunas áreas de manufactura tienen características similares. Por ejemplo, es imposible suspender ciertos procesos químicos, ya que las acciones necesarias para reanudarlos resultan agobiantes y costosas; por otra parte, tampoco es posible ajustar su velocidad arbitrariamente. Esto ocurre, por ejemplo, en la fabricación de ciertos productos de vidrio en grandes volúmenes: es probable que el horno para el fundido tenga que estar continuamente encendido, ya que apagarlo implicaría la necesidad de limpiarlo por completo antes de ponerlo en funcionamiento otra vez. La única ventaja con que cuentan los procesos de manufactura en comparación con los dos ejemplos previos, es su capacidad de inventariar la producción como alternativa para modificar la demanda.

El atractivo de las estrategias de nivelación radica en que suelen proporcionar entornos de producción muy estables; sin embargo, si la demanda normal del mercado

no se nivela en un entorno libre de influencias, tales estrategias tienden a presionar a ventas y marketing para que adecuen los patrones de demanda. La única alternativa es acumular inventario en tiempos de baja demanda, y utilizarlo cuando la demanda aumente.

Seguimiento. Este método representa el otro extremo, ya que no busca alterar la demanda, sino los recursos. De hecho, en un entorno “puro” de seguimiento los recursos se incrementan o reducen de manera continua, ajustándose a una demanda que fluctúa bajo las condiciones normales del mercado. Así como este método puede considerarse opuesto al de nivelación, las características típicas de los entornos donde las estrategias de seguimiento son atractivas o —en ciertos casos— constituyen la única alternativa, también son completamente distintas. Estos suelen ser entornos en los que alterar la demanda es difícil o imposible, y donde hay disponibilidad de métodos simples y/o poco costosos para alterar la base de recursos. Algunos ejemplos serían:

- Proveedores de “nivel intermedio” de productos manufacturados. Muchas veces la demanda de tales productos queda en manos de clientes que están dos o más niveles abajo en la cadena de suministro, lo que provoca que alterar la demanda resulte muy difícil, o prácticamente imposible. Por ejemplo, un proveedor de focos para automóviles reacciona a la demanda de los fabricantes de automóviles, los cuales, a su vez, reaccionan a la demanda de los consumidores de autos. El fabricante de focos para autos tiene capacidad limitada para influir en la demanda final de automóviles.
- Las industrias de servicios donde la demanda es difícil de predecir e igualmente difícil de alterar. Algunos ejemplos incluyen:
 - Tiendas de abarrotes y bancos, donde la demanda muchas veces se conoce hasta que el cliente ingresa y expresa lo que requiere.
 - Servicios profesionales de contabilidad fiscal, que se ven forzados a “brindar” gran parte de su producción durante la temporada de pago de impuestos y que, por lo tanto, tienen muy poca oportunidad de alterar el patrón de demanda.
 - Algunas industrias de “proceso”, como las compañías eléctricas.

Combinación. Este método es, por mucho, el más común. Como indica su nombre, las compañías que utilizan este método “mezclan y ajustan”, alterando la demanda y los recursos de manera que se maximice el desempeño según sus criterios establecidos, que incluyen utilidades, inversión en inventarios e impacto sobre la gente.

En las figuras 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 y 3.7 se ilustran gráficamente las diferencias entre los tres métodos.

Observe, en la figura 3.7, que en el punto **A** la producción nivelada excede por mucho la demanda. Es en este punto donde el inventario se acumula al máximo. La línea del método de combinación también muestra una acumulación de inventario, pero menor que en el de nivelación. Para el momento en que se alcanza el punto **B**, la demanda es superior a la tasa de producción del método nivelado, y excede en gran medida la tasa de producción bajo el método de combinación. Es en este punto que el inventario acumulado en el periodo de baja demanda será utilizado rápidamente. Empleando el método de combinación se habría acumulado mucho menos inventario que con el de nivelación. Es por ello que, en el método de combinación, la tasa de

FIGURA 3.3 Patrón de demanda con producción de seguimiento

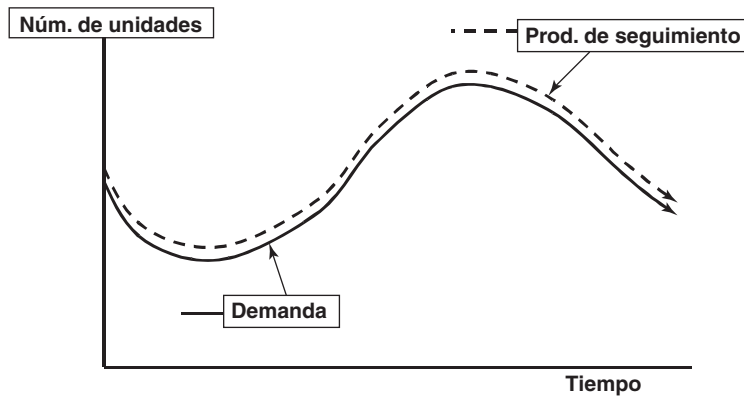


FIGURA 3.4 Patrón de demanda con estrategia de nivelación

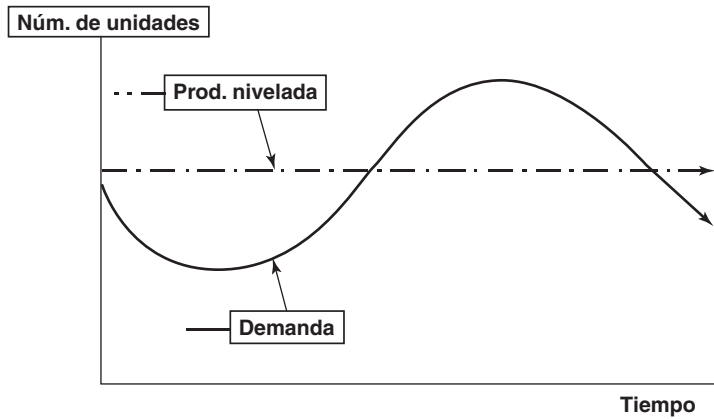


FIGURA 3.5 Utilización del inventario con una estrategia de nivelación

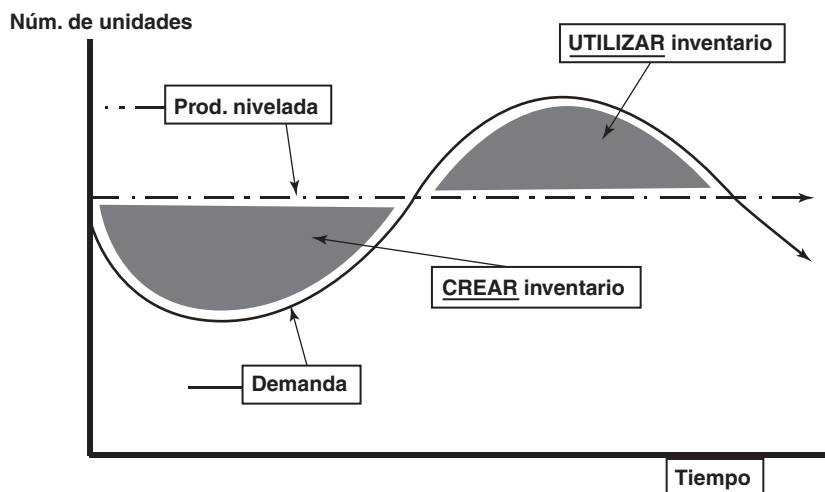
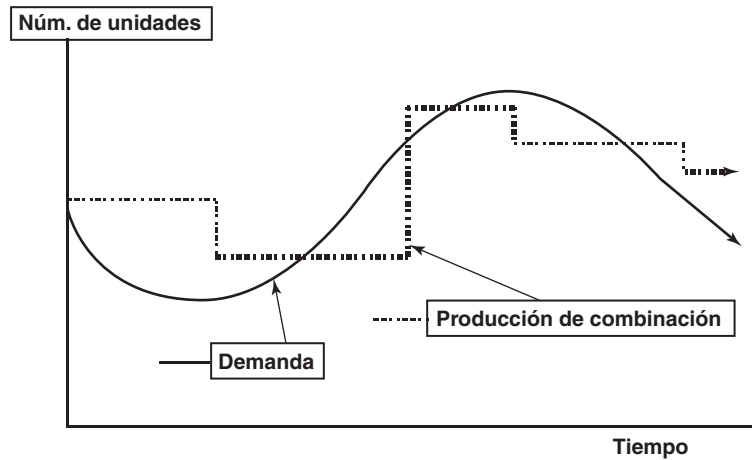
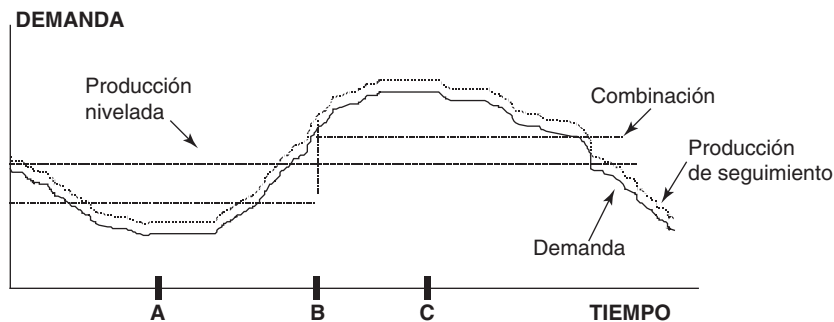


FIGURA 3.6 Ejemplo de una estrategia de combinación**FIGURA 3.7** Comparación entre las estrategias básicas de PV&O

producción debe incrementarse antes de que se agote el inventario; de lo contrario, no podrá atenderse la demanda. En el punto **C** la tasa de producción bajo el método de combinación excede a la del de nivelación y, por lo tanto, se echa mano de una cantidad relativamente menor de inventario, y con menos rapidez. También observe que el método de combinación presentado en el diagrama podría basarse en cualquier combinación de tasas de producción y modificaciones de tiempo.

3.5 BALANCE DE RECURSOS EN LA PLANIFICACIÓN DE VENTAS Y OPERACIONES

Casi todas compañías tienen a su disponibilidad diversas opciones para llevar a cabo la planificación de recursos. En general, todas estas alternativas se engloban en dos categorías. Una de ellas se enfoca en el lado de la oferta (operaciones) para intentar

cambiar el suministro de producción. La otra se concentra en el lado de la demanda (marketing y ventas) en un intento por alterar los patrones de demanda para ajustarlos al resultado de la producción. Las estrategias se resumen a continuación.

Estrategias internas (se concentran en las operaciones, es decir, en el lado de la oferta):

- *Contratar y despedir.* Como indica su nombre, esta estrategia se concentra en alterar el número de trabajadores.
- *Trabajadores temporales.* En algunas industrias esta alternativa se ha vuelto bastante común.
- *Tiempo extra/Tiempo de inactividad.* La alternativa de tiempo extra ha sido muy común durante años en muchas compañías. Recientemente las empresas de ciertos entornos están reconociendo que ocasionalmente puede ser recomendable conservar y pagar empleados, aunque no debe esperarse que éstos generen un producto sin que exista demanda por él.
- *Subcontratación.* También llamada *outsourcing* en algunos entornos, en fechas recientes esta opción se ha vuelto muy común en algunas compañías. Básicamente, significa que la compañía contratará a un proveedor u otro contratista para que genere toda la producción requerida o una parte de ella.
- *Inventario.* Ésta es una opción muy común en las compañías de manufactura. Fundamentalmente, se basa en generar inventario durante los momentos de baja demanda, y utilizarlo para atender los pedidos durante los tiempos de alta demanda.
- *Cartera de pedidos.* Como indica su nombre, significa que la compañía aceptará el pedido del cliente incluso si no tiene el inventario o la capacidad para cumplir la demanda inmediata, pero bajo la promesa de satisfacerlo cuando la capacidad esté disponible.
- *No atender la demanda.* Esta opción implica que la compañía simplemente declinará levantar el pedido de un cliente si no cuenta con el inventario o la capacidad para cumplir el requerimiento.
- *Modificación de las tasas de producción.* Esta alternativa —que implica la capacidad de acelerar o frenar el ritmo de producción— rara vez se utiliza, dado que puede generar un impacto negativo tanto en la moral de los trabajadores como en la calidad de la producción.

Estrategias externas (se enfocan en el cliente para alterar los ritmos de demanda); incluyen:

- *Fijación de precios.* Como indica su nombre, implica modificar el precio del producto o servicio. Generalmente al disminuir el precio se incrementa la demanda, y al elevarlos la demanda disminuye.
- *Promociones.* El ofrecimiento de incentivos especiales (“rebajas”, por ejemplo) se utiliza ocasionalmente para incrementar la demanda.
- *Publicidad.* Se trata de una estrategia muy común, utilizada para incrementar la consciencia del cliente y aumentar la demanda.

- *Reservaciones.* Suele utilizarse cuando la capacidad es escasa o muy costosa (como en algunos restaurantes, en consultorios de médicos, dentistas, etcétera). Este método atenúa la demanda, permitiendo dar mejor servicio al cliente y emplear de manera más efectiva el recurso escaso o costoso.
- *Ofertas en “paquetes”.* Las ofertas en paquetes, un tipo especial de promoción, suelen vincular artículos populares con productos menos reconocidos para atenuar la demanda general.

Se puede decir que, en términos generales, las estrategias internas se utilizan con mayor frecuencia en métodos de “seguimiento”, mientras que las externas se emplean más en métodos de “nivelación”. Una excepción podría ser el uso de inventario.

3.6 ANÁLISIS: UN EJEMPLO SIMPLE

Para ilustrar la aplicación de cada uno de estos métodos mediante una sencilla hoja de cálculo, analicemos un problema de planificación:

La compañía Waldorf Sport Boat cuenta con un pronóstico de la demanda que tendrán sus botes de aluminio menores de 15 pies en los siguientes 6 meses. El pronóstico es:

<i>Mes</i>	<i>Demanda</i>
Enero	250
Febrero	300
Marzo	420
Abril	560
Mayo	610
Junio	580

Actualmente hay 10 trabajadores asignados a la línea de producción, cada uno capaz de producir aproximadamente 15 botes por mes (por lo regular diciembre es el mes con menor venta). Para este sencillo ejemplo asumiremos que cada mes cuenta con el mismo número de días de producción. Es posible contratar nuevos empleados a un costo de contratación y capacitación de \$400 por trabajador. Si se despiden trabajadores, el costo por desempleo es de \$1,000 por cada uno. Los botes tienen un costo de producción unitario estándar (mano de obra, material y gastos generales) de \$300. Es posible utilizar tiempo extra para producir los botes; sin embargo, el costo de cada bote producido en tiempo se eleva \$60 por concepto de mano de obra. Además, cada trabajador puede producir solamente tres botes adicionales por mes utilizando tiempo extra. Si la empresa mantiene algún inventario, le costará \$6 por bote cada mes. No atender la demanda del mercado por lo general ocasionará que el cliente acuda a otro proveedor, provocando que la compañía incurra en pérdida de utilidades por \$120. La empresa reconoce esta utilidad perdida (precio de venta menos costo estándar) como un costo de desabasto. Actualmente no hay botes en inventario.

Utilizando esta escueta información, las siguientes tablas ilustrarán los métodos de planificación utilizando estrategias de seguimiento, nivelación y combinación.

Seguimiento

En este ejemplo utilizaremos un número mínimo de trabajadores para atender la demanda. No se permitirá la creación de inventario, y se podrá utilizar tiempo extra si es necesario, en lugar de añadir otro trabajador que podría añadir inventario. La producción en tiempo extra estará limitada a 15 botes por mes; si la demanda fuera superior a ese número, sería mejor contratar otro trabajador.

<i>Mes</i>	<i>Demanda</i>	<i>Trabajadores</i>	<i>Prod. reg.</i>	<i>Prod. T.E.</i>	<i>Contratar y despedir</i>	<i>Costo de Cont./Desp.</i>	<i>Costo reg.</i>	<i>Costo T.E.</i>
Ene.	250	16	240	10	+6	\$2,400	\$75,000	\$600
Feb.	300	20	300	0	+4	\$1,600	\$90,000	0
Mar.	420	28	420	0	+8	\$3,200	\$126,000	0
Abr.	560	37	555	5	+9	\$3,600	\$168,000	\$300
May.	610	40	600	10	+3	\$1,200	\$183,000	\$600
Jun.	580	38	570	10	-2	\$2,000	\$174,000	\$600
Total						\$14,000	\$816,000	\$2,100

El número de trabajadores necesarios se calcula dividiendo la demanda entre 15 (la producción normal por trabajador al mes). Por ejemplo en enero, al dividir la demanda de 250 entre 15, se obtiene 16.67. Esto significa que se requieren 16 trabajadores para generar la producción normal de 240 unidades; los 10 botes adicionales se producirán en tiempo extra. El gran total por concepto de costo de contratación/despido, costo de producción normal y costo de tiempo extra, asciende a \$832,100.

Nivelación

En esta estrategia se intenta establecer una fuerza de trabajo nivelada para los 6 meses completos. Si dividimos la demanda total (2720 unidades) entre los 6 meses, vemos que la demanda promedio es de aproximadamente 453 botes. Estableciendo el nivel de producción en 450 (para lo que se requieren 30 trabajadores), garantizamos que podremos atender la demanda *promedio*, aunque resulta obvio que se presentará inventario o desabasto, ya que la demanda de cada mes difiere del promedio. Permitiremos las condiciones de inventario o desabasto, pero siempre contaremos con un ritmo de producción nivelado constante. Al final tendremos que recordar añadir un costo de contratación único por los 20 empleados adicionales (\$8,000):

<i>Mes</i>	<i>Demanda</i>	<i>Producción</i>	<i>Inventario</i>	<i>Desabasto</i>	<i>Costo reg. de prod.</i>	<i>Costo por inventario</i>	<i>Costo por desabasto</i>
Enero	250	450	200	0	\$135,000	\$1,200	0
Febrero	300	450	350	0	\$135,000	\$2,100	0
Marzo	420	450	380	0	\$135,000	\$2,280	0
Abril	560	450	270	0	\$135,000	\$1,620	0
Mayo	610	450	110	0	\$135,000	\$660	0
Junio	580	450	0	20	\$135,000	0	\$2,400
Total					\$810,000	\$7,860	\$2,400

Este costo total (costo de producción más costo de inventario más costo de desabasto más costo único de contratación) asciende a \$828,260, es decir, \$3,840 menos que en la primera alternativa sobre los 6 meses. Sin embargo, en el aspecto negativo, en junio 20 clientes no recibieron el bote que deseaban. Observe que para ahorrar espacio sólo se incluyeron las columnas con información relevante. Por ejemplo, podríamos tener una columna para el costo de contratación/despido, pero dado que la única actividad de este tipo se presentó en enero, preferimos añadir ese costo al final.

Combinación

Como se mencionó anteriormente, existen numerosos métodos que pueden utilizarse bajo la categoría de “combinación”. Sólo ilustraremos uno de ellos. En esta alternativa, iniciamos con 25 trabajadores (suficientes para atender la demanda de principio de año y acumular cierto inventario). A medida que la demanda crezca la empresa utilizará el inventario y comenzará a autorizar tiempo extra. Se quiere atender toda la demanda, de modo que llegará un momento en que será necesario contratar más trabajadores. Como se estableció un límite de tres botes producidos en tiempo extra por trabajador al mes, los 25 trabajadores sólo podrán producir 75 botes adicionales, y tal vez esta cantidad resulte insuficiente en algunos meses. Sin embargo, la política de la empresa es contratar el mínimo número de trabajadores.

<i>Mes</i>	<i>Dem.</i>	<i>Prod. reg.</i>	<i>Inv.</i>	<i>Prod. T.E.</i>	<i># traba- jadores</i>	<i>C/D</i>	<i>Costo reg.</i>	<i>Costo C/D</i>	<i>Costo por inv.</i>	<i>Costo T.E.</i>
Ene.	250	375	125	0	25	+15	\$112,500	\$6,000	\$750	0
Feb.	300	375	200	0	25		\$112,500		\$1,200	0
Mar.	420	375	155	0	25		\$112,500		\$930	0
Abr.	560	375	0	30	25		\$121,500		0	\$1,800
May.	610	510	0	100	34	+9	\$183,000	\$3,600	0	\$6,000
Jun.	580	495	0	85	33	−1	\$174,000	\$1,000	0	\$5,100
Total							\$816,000	\$10,600	\$2,880	\$12,900

Al llegar mayo, la compañía no tuvo suficiente capacidad para atender la demanda, incluso tomando en cuenta la producción generada en tiempo extra. El inventario se agotó en abril, y con 25 trabajadores sólo era posible producir 450 unidades (cada uno de ellos puede producir únicamente 15 unidades en tiempo normal y 3 en tiempo extra). Para solucionar la situación se decidió contratar nueve trabajadores más. Recuerde que se busca minimizar el número total de trabajadores. La conclusión de que se requerían nueve trabajadores más (para un total de 34), se basó en dividir la demanda de mayo —610 botes— entre 18 —el total de producción posible por trabajador—, con lo que se obtuvo 33.9. Esto implica que 34 trabajadores podrían ser suficientes para atender la demanda, utilizando casi todo el tiempo extra autorizado. En junio, la demanda de 580 dividida entre 18 nos da 32.2, lo que significa que podemos atender la demanda con un trabajador menos, pero empleando todavía casi todo el tiempo extra. Observe que el costo total de esta alternativa (\$842,380) es el mayor de los tres ejemplos, pero cuenta con la ventaja de mantener una baja tasa de contratación de nuevos trabajadores atendiendo, al mismo tiempo, toda la demanda. Con todo, otras alternativas podrían resultar significativamente más económicas.

Incluso cuando el plan se haya completado y parezca satisfactorio, debe tenerse mucho cuidado al utilizarlo. es preciso considerarlo únicamente como un estimado de planificación general, no sólo porque algunas de las cifras en que se basa son de índole general y, por lo tanto, carecen de precisión, sino también porque varios aspectos cualitativos podrían complicar su ejecución. Algunos de estos aspectos se presentan en la siguiente sección.

3.7 ASPECTOS CUALITATIVOS

El enfoque cuantitativo descrito en páginas anteriores se concentra básicamente en un aspecto: el financiero. No obstante, existen otros muchos elementos que deben tomarse en cuenta también. El análisis siguiente resume algunos de los aspectos cualitativos:

1. *El factor “humano”*. Algunos de los métodos que hemos venido comentando implican la “manipulación” de personas en la operación. La más obvia es el uso de despidos y/o contrataciones, así como la autorización de tiempos extra.
 - Los despidos suelen tener un impacto sobre la moral de las personas. Es evidente que afectan a las personas despedidas, pero también a quienes permanecen en su trabajo (algunas veces denominados “culpable sobreviviente”). Gran parte del personal comenzará a preocuparse acerca de quién es el siguiente, mientras que otros eran amigos o familiares de los despedidos. Esta condición puede tener un impacto negativo sobre la eficiencia y efectividad. Además, de aquellas personas despedidas que se reintegren, muchas no sólo habrán perdido la práctica de sus habilidades, sino también el sentido de dedicación a la compañía. Esto puede afectar negativamente, asimismo, su punto de vista respecto del trabajo que desempeñan.
 - La contratación también tiene sus implicaciones. La curva de aprendizaje es un fenómeno bien conocido, responsable de que el nivel de eficiencia del personal recién contratado generalmente sea un tanto menor. Este nuevo personal también puede impactar de forma adversa la eficiencia del personal existente, dado que los trabajadores de reciente ingreso intentarán aprender haciendo preguntas continuas al personal actual.
 - La utilización de trabajadores temporales también puede ocasionar ciertos problemas, no sólo a partir del impacto obvio que implica la curva de aprendizaje, sino también haciendo que recaiga un costo por concepto de eficiencia sobre los trabajadores de tiempo completo. Para dar un ejemplo extremo, digamos que una compañía con patrones de demanda bastante estacionales integra dos procesos de producción idénticos. En periodos de alta demanda, ambos procesos se ejecutan, cada uno utilizando una combinación de trabajadores regulares de alto perfil y trabajadores temporales de bajo perfil. Resulta evidente que el proceso tiene que ser cuidadosamente diseñado para permitir una “inserción” rápida de los trabajadores temporales con menor habilidad. Cuando llegan los periodos de baja demanda, la compañía suspende sólo uno de los procesos, y provee de personal altamente calificado al proceso restante. La consecuencia de esto es que los puestos que normalmente desempeñaba un trabajador temporal de menor habilidad, ahora estará ocupado por un trabajador regular altamente capacitado (y altamente remunerado). La compañía evita el problema de tener que

despedir a su fuerza de trabajo regular, lo cual presenta algunas ventajas claras, pero el costo es una importante subutilización de los trabajadores experimentados que ocupan las plazas que no requieren alta capacitación en el proceso.

- Incluso con una fuerza de trabajo estable, el supuesto de una producción fija por empleado que dimos por sentado en el modelo de ejemplo, evidentemente puede no ser válido, debido al impacto del aprendizaje y la experiencia.
2. *El factor cliente.* El modelo prácticamente asume que las acciones que afectan al cliente (cambios de precio, promociones, etcétera) pueden emprenderse sin ningún impacto permanente. Sin embargo, es posible que tales acciones generen impresiones de largo plazo en los clientes o en los clientes potenciales; por lo tanto, no sería prudente utilizarlas de manera arbitraria. Incluso algunos aspectos que suelen considerarse operativos (cartera de pedidos y desabasto planificado) pueden tener un impacto en el cliente y en los hábitos de compra.
 3. *El factor pronóstico.* Una de las características más importantes de los pronósticos (descrita en el capítulo 2), es que siempre debe considerárseles incorrectos. Es por este motivo que un buen modelo de pronóstico debe presentar tanto el pronóstico como el estimado de error. Observe que el desarrollo del modelo que hemos venido revisando en este capítulo no considera en absoluto el error esperado. Lo que esto significa es que la compañía debe realizar (dependiendo de la flexibilidad inherente al proceso) algún plan de contingencia para hacer frente a un pronóstico incorrecto. Por lo general, este plan de contingencia utilizará inventario almacenado, capacidad de almacenamiento, o ambas. El tamaño de la capacidad de almacenamiento casi siempre se basa en la dimensión del error de pronóstico.
 4. *Factores del entorno externo.* Regularmente existen restricciones o presiones provenientes del entorno externo a la organización, mismas que limitarán o por lo menos impactarán la capacidad de crear un PV&O ideal. Algunas de las más comunes incluyen:
 - Regulaciones contractuales o actividades de sindicatos que puedan restringir la capacidad de obtener el número apropiado de personal con las habilidades correctas. Además, es muy probable que el costo de estos recursos se vea impactado. Incluso sin actividad sindical el tamaño y/o costo del origen de la mano de obra puede verse afectado por la disponibilidad de mano de obra calificada en un lugar específico.
 - Las regulaciones gubernamentales, en especial las que tienen relación con temas de medio ambiente, salud, y seguridad, pueden tener impacto tanto sobre los costos como sobre los recursos.
 - Las fuerzas competitivas en el mercado siempre pueden impactar la demanda. El pronóstico, que suele representar el punto de inicio para la realización del PV&O, se basa en una proyección de la demanda a partir de información histórica, pero evidentemente los movimientos estratégicos de la competencia son difíciles de proyectar, y resulta complicado estimar su impacto sobre el mercado.

El importante mensaje dominante en la incertidumbre que caracteriza tanto al modelo basado en factores cuantitativos como al que se fundamenta en aspectos cualitativos señala, una vez más, al punto clave en el desarrollo de estos planes de alto nivel para la operación. El propósito es tomar decisiones generales acerca del uso de

recursos para generar una producción acorde al nivel de demanda anticipada del cliente, y hacerlo de la manera más efectiva tanto para la empresa como para los clientes. El tipo de recursos, la cantidad necesaria y el tiempo en que se presentan los requerimientos son los principales aspectos de esta actividad de planificación, pero la dirección de la empresa debe estar preparada para flexibilizar dicha planificación, a fin de que pueda ajustarse a la realidad de los factores desconocidos en el proceso.

Para comprender mejor la posible aplicación de estas estrategias en un entorno más orientado al servicio, considere el ejemplo 3.1:

EJEMPLO 3.1

Acme Accounting Partners (AAP) es una empresa de contadores públicos certificados. La compañía es más o menos pequeña: cuenta sólo con 15 contadores —altamente calificados— de tiempo completo, y está descartado cualquier despido. La dirección considera que, por el momento, sólo puede permitirse dar empleo de tiempo completo a esas 15 personas. Durante la temporada fiscal (que en Estados Unidos, sede de la empresa de nuestro ejemplo, va de enero a abril) la demanda de tiempo de los contadores es muy fuerte. Se les remunera con base en una semana laboral de 40 horas, pero en la temporada fiscal se puede esperar que trabajen hasta un máximo de 60 horas por semana. Los socios creen que laborar más horas afectaría la productividad y la concentración de los empleados, hasta el punto en que sería más probable que incurrieran en ineficiencias y errores graves. Por fortuna, la empresa ha hecho un acuerdo con una compañía de servicio de empleo temporal, que puede proporcionar personal de apoyo transitorio a una tarifa de \$25 por hora. Cuando AAP hace uso del personal de apoyo, simplemente se ajusta la carga de trabajo para que los contadores puedan realizar labores técnicas mientras los auxiliares se concentran en tareas más estructuradas.

La compañía “guardará” las horas de tiempo extra de los contadores en un inventario de horas. Se espera que más adelante los contadores utilizarán esas horas para descansar durante el periodo de baja demanda (generalmente en verano). Dado que su año fiscal finaliza el 31 de agosto, cualquier hora que haya quedado en “inventario” se pagará como compensación monetaria (\$50 por hora) a los contadores.

Los socios han desarrollado una proyección de la demanda (en horas) para los siguientes 8 meses, basándose en su experiencia respecto de las necesidades fiscales de los clientes.

<i>Mes</i>	<i>Demanda (horas)</i>	<i>Semanas en el mes</i>
Enero	5000	4.5
Febrero	5500	4
Marzo	6000	4.5
Abril	4000	4
Mayo	2000	5
Junio	1500	4
Julio	1000	4.5
Agosto	1000	4.5

Los socios necesitan un estimado del impacto financiero para determinar si su decisión de mantener una fuerza laboral de 15 personas es apropiada. También requieren determinar la factibilidad de aceptar trabajo adicional si un cliente nuevo solicita sus servicios.

Solución: La siguiente tabla muestra el impacto financiero de la demanda agregada de la empresa.

<i>Mes</i>	<i>Demanda (horas)</i>	<i>Tiempo reg. disp.</i>	<i>Tiempo total necesario (reg. + T. E.)</i>	<i>Horas temporales necesarias</i>	<i>Horas de T. E. acumuladas</i>	<i>Temp. \$</i>
Enero	5,000	2,700	4,050	950	1,350	\$23,750
Febrero	5,500	2,400	3,600	1,900	2,550	\$47,500
Marzo	6,000	2,700	4,050	1,950	3,900	\$48,750
Abril	4,000	2,400	3,600	400	5,100	\$10,000
Mayo	2,000	3,000	2,000		4,100	
Junio	1,500	2,400	1,500		3,200	
Julio	1,500	2,700	1,500		2,000	
Agosto	1,500	2,700	1,500		800	
						\$130,000

Utilizando esta proyección, los socios se dan cuenta de que necesitan \$170,000 por encima de su expectativa de salario normal: \$130,000 para trabajadores temporales, más \$40,000 (800 horas a \$50 por hora) para compensar el tiempo extra no utilizado al final de agosto.

3.8 ALGUNOS ASPECTOS DEL ENTORNO EMPRESARIAL

Resulta evidente que existen muchos aspectos a considerar cuando se diseña el método que se empleará en este nivel de planificación. Estos aspectos incluyen el nivel de detalle (nivel de agregación) y la longitud del horizonte de planificación. Hagamos a continuación un breve resumen:

- *Nivel de detalle.* El primer problema en este sentido consiste en determinar en qué términos deberá darse la agregación de tiempo: semanas, meses, trimestres o alguna otra unidad de tiempo. Por regla general, para precisar las unidades de agregación de tiempo lógico es recomendable vincular ésta con la volatilidad existente en el mercado que la compañía atiende. Sin olvidar que el propósito principal de este nivel de planificación es garantizar la disponibilidad de recursos, primero debe determinarse qué tan rápido puede presentarse el cambio en el mercado, y cuánto podrían verse impactados por él los recursos que se están planificando. Otro factor importante es si la operación puede reaccionar a los cambios de manera rápida. Por ejemplo, es más probable que una operación en la que el capital se usa de forma intensiva para generar un producto estándar de alto volumen revise cifras cada trimestre, en lugar de hacerlo mes tras mes, en especial si su estrategia se basa preponderantemente en una planificación nivelada.

El nivel de agregación de productos o servicios también debe tomarse en consideración. A este respecto, la regla empírica general indica agrupar los productos o servicios en cuya fabricación se utiliza la misma categoría básica de recursos incluidos en la planificación, siempre y cuando sea posible generar una proyección de la demanda total sobre dichos recursos. En otras palabras, si dos o más productos utilizan el mismo grupo de personas y/o equipo, pueden agregarse para planifi-

car estos recursos, con la condición de que hacerlo tenga sentido al proyectar la demanda total del mercado para el horizonte de tiempo en cuestión.

- *Horizonte de tiempo.* El siguiente factor a considerar es qué tan a futuro deberá desarrollarse el plan. La respuesta general es que el plan deberá tener un horizonte equivalente, por lo menos, al tiempo necesario para realizar un cambio en la base de recursos incluidos en la planificación. Por ejemplo, si el recurso en cuestión es la fuerza laboral, debemos saber cuánto tiempo nos tomará contratar y capacitar (de ser necesario) a los trabajadores requeridos. Lo mismo sucede por lo que concierne al equipo: ¿cuánto tiempo nos llevará obtener e implementar algún cambio necesario en el equipo? Al tomar estas determinaciones es preciso contar con algunas ideas respecto de las condiciones presentes, por ejemplo:
 - Flexibilidad de la fuerza de trabajo actual. ¿Pueden desplazarse con relativa facilidad de una base de recursos a otra?
 - Flexibilidad del equipo actual. ¿Puede utilizarse para producir múltiples categorías de productos agregados?
 - Facilidad de obtención de capital y tiempo necesario para obtenerlo. Casi todos los cambios de recursos (especialmente cuando implican su incorporación) requerirán financiamiento, y la compañía debe saber cómo lo conseguirá y cuánto tiempo le llevará obtenerlo.

TÉRMINOS CLAVE

Cartera de pedidos	Estrategias externas	Plan de producción
Estrategia de combinación	Estrategias internas	Plan de ventas y operaciones
Estrategia de nivelación	Plan agregado	Planificación del personal
Estrategia de seguimiento		

RESUMEN

Este capítulo aborda los métodos para desarrollar estrategias de mediano plazo para la mejor utilización de los recursos destinados a cumplir la demanda esperada de los clientes. Existen tres métodos básicos: nivelación, seguimiento y combinación; de cada uno de ellos se derivan subestrategias que pueden aplicarse en distintos

entornos, dependiendo de en cuál se ajustan mejor. El factor clave estriba en reconocer que la planificación a este nivel debe concentrarse en desarrollar el “mejor” plan para la utilización de los recursos, y no en planificar una producción específica.

REFERENCIAS

- | | |
|---|--|
| Fogarty, D. W., J. H. Blackstone, Jr. y T. R. Hoffmann, <i>Production and Inventory Management</i> . Cincinnati, Ohio: South-Western, 1991. | Ling, Richard C., “How to Implement Sales and Operations Planning”, <i>1992 APICS International Conference Proceedings</i> . |
|---|--|

Vollmann, T. E., W. L. Berry y D. C. Whybark,
Manufacturing Planning and Control Systems.
 New York: Irwin McGraw-Hill, 1997.

Wallace, T. F., *Sales & Operation Planning*. Cin-
 cinnati, Ohio: T. F. Wallace & Company, 2000.

PREGUNTAS DE ANÁLISIS

- Determine el método de planificación de ventas y operaciones que sería más apropiado para las siguientes compañías. Explique su razonamiento:
 - Un banco
 - Un restaurante de comida rápida
 - Un taller de servicio automotriz anexo a un distribuidor
 - Un hotel
 - Un despacho de abogados
 - Una tienda minorista de ropa
- Analice el impacto que podría tener un sindicato de obreros especialmente beligerantes sobre el enfoque estratégico de PV&O.
- Durante varios años, una compañía ha basado su planificación en una estrategia de nivelación. Analice los cambios que podrían presentarse en su entorno, y que podrían obligarlos a considerar la implementación de más técnicas de seguimiento.
- ¿Qué cambios (si acaso considera que se presentaría alguno) provocaría un inventario perecedero sobre la capacidad de la compañía de utilizar una estrategia de nivelación? Piense, por ejemplo, en un mercado de carne y en un restaurante de comida rápida.
- ¿Cómo podría alterar el plan estratégico general el enfoque de PV&O de la compañía?
- ¿De qué manera podría verse alterado el enfoque de PV&O de la empresa por las condiciones económicas globales del entorno? Proporcione algunos ejemplos.
- Analice las ventajas y desventajas potenciales del proceso de agregación que debe realizarse antes de desarrollar el PV&O. Por ejemplo, ¿cuáles serían las ventajas y desventajas de decidir agregar la información en trimestres en lugar de hacerlo mensualmente? ¿Cuáles serían las ventajas y desventajas al decidir cuántas definiciones de productos incluir en una “familia”?

EJERCICIOS

- La compañía ABC ha identificado la siguiente demanda para los siguientes cuatro trimestres:

<i>Trimestre</i>	<i>Demanda</i>
1	3,000 unidades
2	4,000 unidades
3	4,500 unidades
4	3,500 unidades

ABC por lo regular emplea la contratación y despido de personal para ajustarse a los cambios de demanda de sus productos, pero está considerando mantener una fuerza de trabajo estable y subcontratar la producción cuando la demanda exceda su capacidad. Actualmente la empresa cuenta con 30 empleados, cada uno capaz de producir 100 unidades por tri-

mestre. Contratar un trabajador cuesta \$3,000, y \$5,000 despedirlo. Si ABC subcontrata el trabajo, le costará \$30 más por unidad respecto del costo de producción normal. Dada esta información ¿la empresa debería mantener su práctica actual o subcontratar la producción adicional?

2. Utilice la información del **ejercicio 1** para considerar otra posibilidad: ABC podría contratar un grupo de empleados al principio del año y acumular inventario. Luego podría utilizar el inventario (y una parte de subcontratación, de ser necesario) para hacer frente a los trimestres donde la demanda excede la producción. Utilizando este método, el inventario costaría \$15 por trimestre con base en el número de unidades disponibles al final del periodo. ¿Esta opción será más o menos atractiva que las alternativas consideradas en el **ejercicio 1**?
3. La compañía de bicicletas Icanride cuenta con la siguiente proyección de demanda de ventas para los siguientes 6 meses (suponga que cada mes tiene el mismo número de días de producción).

<i>Mes</i>	<i>Demanda</i>
1	2,500
2	3,600
3	2,900
4	3,300
5	4,000
6	3,500

Mantener un inventario le cuesta a la compañía \$10 mensuales por bicicleta, con base en el promedio mensual de unidades (inventario inicial más inventario final dividido entre 2), y cualquier desabasto le cuesta \$15 por concepto de utilidades perdidas. Actualmente la empresa tiene 30 trabajadores, cada uno capaz de producir 100 bicicletas por mes. Los trabajadores pueden producir 20 bicicletas más cada mes en tiempo extra, pero el costo de cada una se eleva \$14.

- a. Calcule el costo de utilizar tiempo extra e inventario de producción sin desabasto. ¿Icanride puede lograr este objetivo bajo las circunstancias actuales?
 - b. Calcule el costo de producir utilizando solamente tiempo extra, aun con el riesgo de incurrir en desabastos (si es necesario).
 - c. ¿Cuál alternativa es mejor? Comente.
4. La compañía Mesa Table proyectó la siguiente demanda para su línea de mesas de comedor:

<i>Mes</i>	<i>Demanda</i>
1	740
2	720
3	860
4	900
5	810
6	700

Actualmente la línea de ensamblaje consta de 20 trabajadores, cada uno capaz de producir 10 mesas por semana en tiempo regular, y dos mesas más por semana utilizando tiempo extra. Las mesas producidas en tiempo extra cuestan \$40 más por unidad. La compañía también tiene la opción de utilizar un subcontratista local, pero hacerlo le cuesta \$50 adicionales por mesa. Asimismo, puede contratar trabajadores a \$2,000 cada uno, pero si un

trabajador es despedido se incurre en un costo de \$3,000. Cualquier mesa que permanezca en inventario al final del mes cuesta \$10 mensuales, con base en el número de unidades que haya al final del mes (suponga 4 semanas por mes).

- a. Calcule el costo adicional de atender toda la demanda mediante el uso de tiempo extra e inventario. Se utilizará subcontratación sólo si es absolutamente necesario. No se permite la contratación ni despido de personal.
 - b. Compare el costo adicional de (a) con el costo de utilizar contratación/despidos y subcontratación, sin tiempo extra e inventario mínimo.
5. Otra familia de productos de la compañía Mesa Table tiene la siguiente proyección de demanda:

<i>Mes</i>	<i>Demanda</i>
1	1,000
2	850
3	600
4	500
5	650
6	700

Actualmente la empresa cuenta con 30 empleados, cada uno de los cuales es capaz de producir 50 mesas por mes. Además, mantiene una política de cero inventario en esta área, debido a la falta de espacio. Por otra parte, no existe un subcontratista para esta línea. Mesa Table puede despedir empleados a un costo unitario de \$5,000; reincorporarlos cuesta \$4,000 adicionales por empleado. El departamento de marketing sugiere echar a andar de inmediato una campaña de promoción para incrementar la demanda del último cuatrimestre a 750 unidades por mes. La campaña de promoción costará \$35,000. La compañía reconoce que en caso de desabasto incurriría en un costo de \$300 por mesa. Con base en consideraciones financieras, ¿el departamento de marketing debería obtener autorización para iniciar la campaña de promoción?

6. La compañía Refrigeradores Imsocool proyectó la siguiente demanda para su familia de refrigeradores de especialidad:

<i>Mes</i>	<i>Demanda</i>
1	200
2	250
3	400
4	510
5	500
6	450

Actualmente se cuenta con 10 trabajadores en la línea de producción, y no hay espacio físico para más personal. Cada uno de los trabajadores puede producir 20 refrigeradores por mes, y cuatro más en tiempo extra. Una unidad producida en tiempo extra cuesta \$30 adicionales. Además, la compañía puede utilizar un subcontratista, pero hacerlo incrementa \$34 sobre el costo normal. El precio actual de los refrigeradores permite una utilidad de \$40 por unidad sobre el costo normal. El departamento de marketing anuncia que, de acuerdo con sus proyecciones, si se eleva el precio \$15 la demanda durante el último cuatrimestre (considerada alta) podría reducirse a sólo 300 unidades por mes. Desde el punto de vista financiero, ¿la empresa debería considerar el incremento de precio?

7. La compañía de computadoras Cramer cuenta con la siguiente demanda para los siguientes 6 meses:

<i>Mes</i>	<i>Número de días laborables en el mes</i>	<i>Demanda</i>
1	20	2,600
2	21	3,100
3	21	3,700
4	22	4,300
5	19	3,500
6	20	3,300

Actualmente existen 100 empleados, y cada uno trabaja un turno normal de 8 horas, 5 días a la semana; también pueden trabajar un adicional de 10 horas a la semana en tiempo extra, pero esto le cuesta a la compañía \$10 adicionales por hora. Producir cada computadora tarda 5 horas. La empresa puede contratar más empleados a \$3,000 cada uno, con un costo adicional unitario de \$5,000 si los despide. La compañía tiene como política no permitir desabastos, aunque sí autoriza la creación de inventario. El inventario cuesta \$15 al mes por unidad, con base en los niveles de inventario promedio del mes. No existen subcontratistas. El inventario inicial es de 60 unidades. Aunque Cramer cuenta con la política de “no desabasto”, si se llega a presentar alguno incurre en un costo de \$150 por unidad por concepto de utilidades perdidas.

El espacio sólo permite tener 110 trabajadores. Si se requieren más es necesario organizar un segundo turno. Hacer esto incrementa el costo por trabajador en \$1.50 por hora. La apertura de un segundo turno también exige la contratación de personal de soporte (un supervisor, un encargado de mantenimiento y un gestor de materiales), provocando un costo adicional de \$20,000 mensuales.

Dadas todas estas condiciones, obtenga una solución satisfactoria para ayudar a Cramer a minimizar el costo. (Sugerencia: no busque una solución óptima. En lugar de ello intente definir el problema en una hoja de cálculo y busque patrones hasta encontrar una solución aceptable).

8. La compañía de automóviles Biloxi Baby Buggy (BBB) se prepara para desarrollar un plan de producción para los siguientes cuatro trimestres. BBB tiene una historia de mala planificación, y desea mejorarla utilizando un método estructurado. Actualmente tiene 8 empleados en el área de producción de los autos Premium Baby Buggy (con vestiduras de piel, sonido estéreo y aire acondicionado), cada uno de los cuales es calificado y puede desempeñar prácticamente cualquiera de las tareas requeridas para fabricar dicho modelo. Con el objetivo de hacer una mejor planificación, la empresa ha recopilado cierta información. Se observó que cuesta \$800 contratar un nuevo empleado, pero cuesta \$1,200 despedirlo. Cada empleado puede producir un promedio de 50 autos Premium Baby Buggy cada trimestre. Si utilizan tiempo extra para aumentar la producción, el costo por unidad se eleva \$200. Cualquier auto que permanezca en inventario cuesta aproximadamente \$10, con base en el número de unidades en inventario al final del trimestre. Actualmente no hay inventario. La demanda pronosticada es 700 en el trimestre I, 300 en el trimestre II, 900 en el trimestre III y 500 en el trimestre IV.
- Suponga que BBB utilizará una estrategia de “seguimiento” puro, con una política de cero inventario. ¿Cuál sería el costo adicional (sobre el costo normal de materia prima y mano de obra) para el año completo?
 - Suponga que se utilizará una estrategia de nivelación; al principio del año la empresa cuenta con suficiente personal para cubrir la demanda trimestral promedio, y luego utiliza tiempo extra e inventario para ajustarse a las variaciones. ¿Cuál sería el costo adicional de un plan como éste?

- c. ¿Qué consideraciones adicionales deben tomarse en cuenta antes de tomar la decisión final entre los dos planes? ¿Cuál seleccionaría usted y por qué?
9. La compañía Televisores Whoareyoukidding ha finalizado su proyección de demanda para su televisor de 85 pulgadas en el próximo año. El pronóstico de demanda es:

<i>Trimestre</i>	<i>Demanda</i>
1	350
2	480
3	400
4	370

Las siguientes políticas están vigentes:

- No se permite el uso de tiempo extra para acumular inventario.
- Se debe utilizar al máximo el tiempo extra antes de poder contratar un nuevo trabajador
- Se debe suspender todo el tiempo extra antes de poder despedir a un trabajador
- Es preciso atender toda la demanda del cliente (no se permiten desabastos)

Información adicional de la compañía:

- Cada trabajador puede producir 25 televisores por trimestre
 - El costo de contratación es de \$3,000 por empleado
 - El costo por despido es de \$5,000 por empleado
 - El costo adicional de producir una unidad en tiempo extra es de \$300
 - El costo de inventario es de \$40 por unidad al trimestre, con base en el número de unidades en inventario al final del periodo
 - El tiempo extra máximo es de cinco unidades por trimestre por empleado
 - Actualmente se cuenta con 11 empleados
 - Actualmente hay 20 unidades en inventario
- a. Desarrolle un plan que utilice contratación/despido con inventario mínimo. Determine el *costo adicional* (por encima del costo normal de mano de obra, materiales y gastos generales).
- b. Desarrolle un plan que contrate empleados sólo al inicio del primer trimestre; posteriormente no se podrá contratar ni despedir a nadie. Toda la demanda se atenderá utilizando tiempo extra e inventario. Nuevamente, determine el costo adicional de este plan.
10. La compañía de lámparas Shine-on realizó el siguiente pronóstico trimestral para los requerimientos agregados lámparas en los siguientes cuatro trimestres (parece demasiado, pero realmente es un trabajo ligero):

<i>Trimestre</i>	<i>Pronóstico</i>
1	2,900
2	5,200
3	3,500
4	4,400

Actualmente cada empleado produce en promedio 300 lámparas por trimestre. Para evitar los costos de contratación y los pagos de beneficios asociados a ella, se le autoriza a cada empleado producir hasta 30 lámparas por trimestre en tiempo extra, aunque nunca se permitirá el uso del tiempo extra para acumular inventario. La empresa desea evitar desabastos o pedidos en espera a toda costa, por lo que si el trabajo regular y el tiempo extra no pueden producir suficiente, se contratarán nuevos empleados. Se supone que cualquier per-

sona recién contratada será capaz de trabajar el tiempo extra. Una vez que haya un nuevo empleado, la compañía suspenderá todo el tiempo extra antes de considerar despedir a alguien, pero no hay impedimento para despedir personal, de ser necesario. El costo actual de contratar un nuevo empleado es de \$2,000, y el costo de despido es de \$1,200. Si se utiliza tiempo extra, cada lámpara costará \$40 adicionales. Si se acumula inventario, la empresa incurrirá en un costo de inventario de \$3 por lámpara cada trimestre, con base en el número de unidades en inventario al final del periodo.

- a. Desarrolle una estrategia de seguimiento modificada en la que pueda utilizarse tiempo extra e inventario, pero mantenga el propósito de minimizar los niveles de inventario. Suponga que actualmente existen 10 empleados. ¿Cuál es el costo total adicional (inventario, contratación/despido y tiempo extra) de este plan?
 - b. Ahora desarrolle una estrategia de nivelación modificada en la que se pueda contratar (o despedir) sólo al inicio del año. No existirán desabastos, aunque se permite inventario y tiempo extra. ¿Cuál es el costo total adicional de este plan?
11. La compañía Shafer tiene la siguiente información de demanda de todos los modelos de su producto popular Polybob, con base en los datos de venta de los últimos 2 años:

<i>Mes</i>	<i>Demanda 2000</i>	<i>Demanda 2001</i>
Enero	233	254
Febrero	301	325
Marzo	421	398
Abril	355	369
Mayo	296	324
Junio	288	297
Julio	232	255
Agosto	194	241
Septiembre	273	256
Octubre	243	266
Noviembre	221	235
Diciembre	247	249

La compañía Shafer cuenta actualmente con cinco empleados en la línea de producción de Polybob, y cada uno de ellos es capaz de producir aproximadamente dos unidades diarias (suponga 25 días por mes). Contratar cada un nuevo trabajador cuesta \$4,000, y despedirlo cuesta \$6,000. Cada empleado gana \$20 por hora en el caso del día estándar de 8 horas, y \$10 adicionales por cada hora de tiempo extra. Cada empleado está limitado a no más de 5 días de tiempo extra por mes. La compañía puede subcontratar la fabricación del Polybob, pero hacerlo le cuesta \$42 por unidad, por encima del costo normal. Es posible utilizar inventario, pero los costos de mantenerlo son de \$25 al mes por unidad, con base en el número de unidades en el inventario al final del mes. Solo hay espacio para 200 unidades en inventario, después de lo cual se debe utilizar una instalación de almacenamiento público que añade otros \$15 mensuales al costo de mantenimiento de inventario. Actualmente (finales de diciembre de 2001) hay 29 unidades en inventario.

- a. Utilice la información para desarrollar un pronóstico de la demanda anual para el año 2002 (mes a mes). ¿Cuál método utilizó y por qué?
- b. Utilice su información de pronóstico para desarrollar el “mejor” plan agregado que pueda a partir de los datos proporcionados. Explique por qué considera que su método es el mejor, y analice también las ventajas y desventajas de utilizar su modelo en comparación con los métodos alternativos.

CAPÍTULO 4

El programa maestro

Esquema del capítulo

- 4.1 Antecedentes y vínculos con el PV&O
- 4.2 Horizonte del programa maestro
- 4.3 Barreras de tiempo
- 4.4 Fuentes de la demanda
- 4.5 Metodología básica
- 4.6 Impacto de los entornos de producción
- 4.7 Enfoque general para el desarrollo del programa maestro
- 4.8 Lógica de disponibilidad para promesa
- 4.9 Opciones de planificación en un entorno ATO
- 4.10 El programa maestro de dos niveles
- 4.11 Notas sobre la responsabilidad del programa maestro
- 4.12 Introducción a la administración de la demanda
- 4.13 Elementos de la administración de la demanda

Introducción— En este capítulo se resumen los conceptos del desarrollo y administración del programa maestro, que constituye el siguiente paso lógico en la planificación de la producción, y generalmente forma parte del plan de ventas y operaciones (PV&O). Al llegar a la elaboración del plan maestro se da por sentado que los recursos apropiados se han tomado en cuenta en la planificación. Dicho plan suele contener más detalles que el PV&O, pero su horizonte temporal casi siempre es más corto que el de este último.

Otra diferencia importante entre el programa maestro y el PV&O radica en que, mientras éste por lo general se desarrolla en términos de familias de productos, el programa maestro en muchos casos se basa en productos finales, listos para su venta. En consecuencia, el programa maestro representa una parte de enorme importancia en el proceso de planificación, ya que frecuentemente actúa como la principal “interfaz” entre el sistema de producción y los clientes externos.

Aun cuando algunas empresas —en especial aquellas que son pequeñas o que ofrecen sobre todo servicios— no desarrollan un programa maestro formal, se puede afirmar que toda compañía cuenta con uno. Aunque se realice de manera informal, todas

las empresas deben contar con un método para comprometer los pedidos del cliente, y traducir en un programa de producción los requerimientos que éstos determinen. Sin importar la formalidad del nombre que se le dé, este mecanismo constituye en realidad un programa maestro.

4.1 ANTECEDENTES Y VÍNCULOS CON EL PV&O

El PV&O “alinea” los recursos apropiados en forma agrupada, ya que sólo utiliza información agregada de pronóstico como base para determinar la demanda. Aun cuando el PV&O cumple una función muy importante en la planificación a largo plazo de los recursos necesarios, por lo general no toma en cuenta los pedidos reales de los clientes; además, los planes pocas veces se realizan a nivel del producto final. Por lo tanto, es necesario contar con una planificación adicional, que incluya más detalles pero tomando en consideración un horizonte temporal más corto. Esto permitirá que la empresa:

- “Divida” los planes agregados del PV&O en información que se concentre de manera más específica en productos “fabricables”.
- Cuenten con un plan basado en pedidos reales de los clientes, además de la información pronosticada.
- Tengan una fuente de información para desarrollar planes de recursos y de capacidad más específicos.
- Dispongan de un método para traducir de manera efectiva los pedidos de los clientes en órdenes de producción oportunas.
- Tengan una herramienta efectiva para planificar niveles de inventario, en particular por lo que concierne al acervo de productos terminados.

La actividad de planificación que permite obtener este tipo de planes suele denominarse *programa maestro*. En realidad se trata de un proceso que inicia (generalmente) a partir de un pronóstico bastante detallado de los productos, para luego utilizar un conjunto específico de “reglas”, cuyo propósito es permitir que los pedidos reales de los clientes “consuman” dicho pronóstico. Este mecanismo posibilita la traducción de los pedidos reales y proyectados de los clientes en órdenes de producción específicas (que pueden reflejar o no el patrón de compra de los clientes, dependiendo del entorno).

Por lo general el programa maestro es mucho más detallado que el PV&O, y toma en cuenta un horizonte temporal más corto que éste. Como se estableció en el capítulo anterior, el PV&O debe tener una amplitud suficiente como para cubrir de manera apropiada los futuros requerimientos de recursos para la producción, tomando en cuenta, además, el tiempo de espera necesario para obtener dichos recursos. En adición, el programa maestro debe agregar a sus propios valores aquellos que se desarrollaron en el PV&O, dado que éste fue el plan creado y aprobado por el alto nivel para reflejar la estrategia y el plan del negocio. Por otro lado, el programa maestro sólo debe extenderse lo suficiente en el futuro para tomar en cuenta el tiempo de espera acumulado del producto o servicio que se está programando. Asumiendo que el PV&O se ha manejado apropiadamente, cabe esperar que los recursos ya estarán disponibles, por lo menos en lo que concierne a los productos agregados. Una forma de compren-

der la relación que existe entre el PV&O y el programa maestro consiste en advertir que la actividad del primero desarrolla restricciones de capacidad que actúan como fronteras para la planificación del segundo.

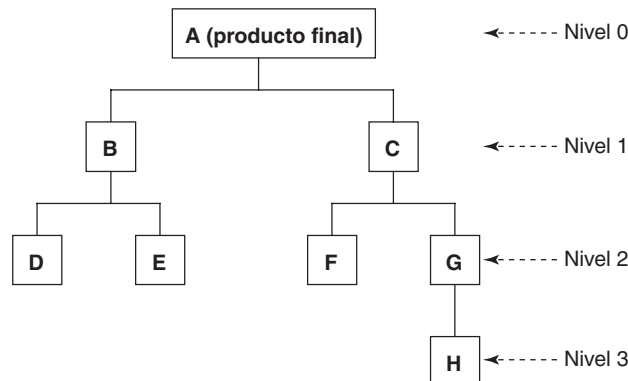
4.2 HORIZONTE DEL PROGRAMA MAESTRO

A fin de resultar efectivo, es *extremadamente importante* que el horizonte de planificación del programa maestro sea igual o mayor que el tiempo de espera agregado del producto o servicio cuya producción se está planificando. Para establecer el horizonte de planificación primero necesitamos revisar la *lista de materiales* (también llamada estructura del producto). La lista de materiales enumera todos los componentes que se emplean para el ensamblaje de un producto, mostrando no sólo las relaciones entre ellos (es decir, qué componentes se utilizan para cuál ensamblaje), sino también las cantidades que se requieren de cada uno. La lista de materiales y su utilización se analizarán con más detalle en el capítulo 6. Casi siempre el archivo de lista de materiales que contiene la relación de los componentes incluye también los datos de tiempos de espera necesarios para la adquisición o producción de cada componente o ensamblaje. Este último dato es el que se utiliza calcular el tiempo de espera acumulado. Por ejemplo, imagine un producto cuya lista de materiales tiene cuatro niveles de profundidad. Al tratar de determinar el mayor tiempo de espera de cada nivel llegamos al diagrama que se muestra en la figura 4.1.

Ahora supongamos que son necesarias

- 2 semanas para ensamblar el producto A a partir de los subensamblajes B y C
- 3 semanas para ensamblar el subensamblaje B a partir de los componentes D y E
- 4 semanas para ensamblar el subensamblaje C a partir del componente F y el subensamblaje G
- 5 semanas para producir el subensamblaje G a partir del componente H
- 3 semanas para obtener el componente D de un proveedor
- 2 semanas para obtener el componente E de un proveedor
- 4 semanas para obtener el componente F de un proveedor
- 7 semanas para obtener el componente H de un proveedor.

FIGURA 4.1 Muestra de una lista de materiales



Revisando nivel por nivel, podemos identificar el tiempo de espera más largo en cada caso:

<i>Nivel</i>	<i>Mayor tiempo de espera</i>
0 (producto final)	2 semanas
1	4 semanas
2	5 semanas
3	7 semanas

El tiempo de espera acumulado para este producto (A) es de 18 semanas ($2 + 4 + 5 + 7$). Si no tomamos en cuenta por lo menos 18 semanas en nuestra planificación, tendremos mínimas posibilidades de entregar a tiempo los pedidos de los clientes. Veamos un ejemplo más: suponga ahora que no contamos con un programa maestro. Un cliente solicita que se le entregue uno de los productos en la semana 14; no tenemos problema en cerrar el compromiso, ya que el tiempo de espera para fabricar el producto A es de sólo 2 semanas. De hecho, ése sería el caso ***suponiendo que contamos con el inventario apropiado en los niveles inferiores***. Sin embargo, si no hemos planificado los niveles inferiores, podría darse el caso de que no contáramos con tal inventario. Esto es lo que sucedería de no tener un inventario apropiado:

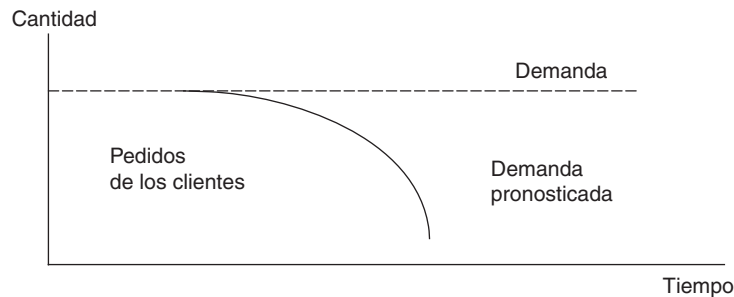
- Dado que el cliente desea el producto para la semana 14 y se requieren 2 semanas para construirlo, necesitaríamos iniciar la fabricación del producto final en la semana 12.
- Como la fabricación del subensamblaje del nivel 1 (C) tarda 4 semanas y lo necesitamos para construir el producto final iniciando en la semana 12, será preciso que iniciemos la producción del subensamblaje C en la semana 8.
- Toda vez que el subensamblaje del nivel 2 (G) tarda 5 semanas en fabricarse, y ya lo necesitamos completo en la semana 8 a fin de utilizarlo para el componente del nivel 1, es preciso iniciar su producción en la semana 3.
- Dado que para recibir el componente del nivel 3 (H, una parte adquirida de un proveedor) se necesita un tiempo de espera de 7 semanas, y toda vez que lo necesitamos en la semana 3 para utilizarlo en la fabricación del subensamblaje del nivel 2 (G), es preciso ordenarlo 7 semanas antes de la semana 3, es decir, ¡hace 4 semanas!

Lo que nos indica el escenario anterior es la necesidad de planificar la fabricación del producto A tomando en cuenta un horizonte temporal de por lo menos 18 semanas. Un plan realizado con tal anticipación podría tener la desventaja de desconocer los pedidos reales de los clientes, de manera que muchas veces tendremos que empezar a desarrollar el programa maestro con proyecciones; sin embargo, a medida que transcurra el tiempo y conozcamos los pedidos reales, veremos que éstos “consumirán” pronto las cantidades pronosticadas, como se muestra en la figura 4.2.

4.3 BARRERAS DE TIEMPO

La utilización de proyecciones para planificar la producción conlleva, por lo menos, un factor que podría resultar problemático: recuerde que uno de los principios de la proyección nos dice que los pronósticos casi siempre resultan incorrectos. De hecho, pocas

FIGURA 4.2 Pedidos de los clientes que “consumen” el pronóstico



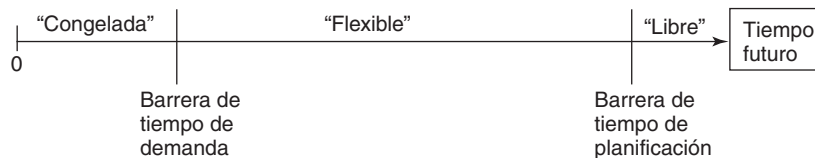
personas esperan que un pronóstico sea correcto; su preocupación se basa, más bien, en qué tan incorrecto es y en cómo manejar el error anticipado.

Es por esta razón que algunos programas maestros utilizan **barreras de tiempo** para establecer reglas que faciliten su manejo. Las dos barreras de tiempo más comunes son:

Barrera de tiempo de demanda. “Dentro” de la **barrera de tiempo de demanda** la información del pronóstico suele ignorarse, de manera que sólo se utilizan cantidades de los pedidos reales de los clientes para realizar los cálculos del programa maestro. Por ejemplo, si en el programa maestro se establece una barrera de tiempo de demanda en la semana 2, la información pronosticada para las semanas 1 y 2 se ignora en el cálculo, sin importar si coincide o no con la información real de los pedidos. En algunos casos el programa maestro de producción para las semanas incluidas en la barrera de tiempo de demanda se considera “congelado”, toda vez que la producción probablemente ha progresado hasta el punto en que resulta imposible o impráctico realizar algún cambio en la cantidad o en los tiempos. Debe quedar claro que la barrera de tiempo de demanda es más cercana al tiempo presente en el programa.

Barrera de tiempo de planificación. Por lo general, esta barrera de tiempo se establece de manera que sea igual o ligeramente mayor que el tiempo de espera acumulado para el producto. Volviendo al ejemplo del producto A con cuatro niveles de materiales, la barrera de tiempo de planificación podría establecerse en una marca de 18 semanas. Más allá de la barrera de tiempo (19 semanas o más) se cuenta con tiempo apropiado para reaccionar a los nuevos pedidos, incluso si se presentara algún requerimiento para solicitar los artículos que proceden de algún proveedor entre la lista de materiales, de modo que los valores del programa maestro de producción pueden modificarse sin demasiado problema. De hecho, algunos profesionales permiten que la computadora controle las acciones de programación maestra que rebasan dicha barrera de tiempo.

Entre la barrera de tiempo de demanda y la barrera de tiempo de planificación (de 3 a 18 semanas en nuestro ejemplo) puede haber oportunidad de reaccionar a los pedidos de los clientes —aunque de manera limitada—, modificando un poco las cantidades y los tiempos con base en la naturaleza del producto y del entorno. Por otro lado, es posible que los cambios se vean limitados en virtud de que el tiempo resulte inadecuado para solicitar que los proveedores envíen aquellos artículos que requieren largos tiempos de espera (a menos que se incurra en gastos extra para agilizar la entrega). Es poco frecuente permitir que modificaciones de este tipo queden bajo el control de la

FIGURA 4.3 Barreras de tiempo y grado de fluidez en la programación

computadora, aunque sí se utilizan estos equipos para que ofrezcan mensajes de excepción y recomendaciones. Toda vez que algunas personas consideran “congelada” la zona incluida en la barrera de tiempo de demanda, y creen que está fuera de la barrera de tiempo “libre”, el área entre ambas barreras de tiempo suele denominarse “flexible”. En este sentido es preciso entender que entre más cercana esté la programación al tiempo presente, menos flexibilidad se tendrá para realizar cambios sin el riesgo de incurrir en problemas mayores. Vea la figura 4.3.

4.4 FUENTES DE LA DEMANDA

Aunque a veces se dice que el programa maestro es una **desagregación** del plan de ventas y operaciones (refiriéndose con esto a la descomposición de las cifras de familias de productos del PV&O en cifras de productos específicos), en realidad pocas veces esta actividad implica una verdadera desagregación numérica. Por lo general lo que sucede es que el programa maestro se desarrolla de forma un tanto independiente al PV&O, pero una vez terminado es preciso que sus valores puedan sumarse a los de este último. Esto significa que es importante que las cifras del programa maestro estén de acuerdo con las cifras del plan de producción del PV&O, dado que éstas son resultado del proceso que se llevó a efecto en los altos niveles de la empresa.

También es necesario hacer notar que los métodos de proyección utilizados para obtener el pronóstico de la demanda muchas veces son distintos según el tipo de planificación que se esté llevando a cabo: programación maestra o PV&O. Las proyecciones del PV&O dan lugar a pronósticos agregados de largo plazo, a menudo generados a partir de métodos causales (vea el análisis del capítulo 2). Aunque los pronósticos de la programación maestra pueden generarse de esta manera, casi siempre son resultado de métodos cualitativos o de series de tiempo (temas que también analizamos en el capítulo 2).

Otra fuente importante de cifras de demanda para el programa maestro son los pedidos reales de los clientes. Este es un aspecto que diferencia el programa maestro de otros métodos, y que además lo convierte en una herramienta de planificación de enorme relevancia para la empresa. En muchas compañías es el único punto del sistema de planificación donde los pedidos reales representan el principal insumo convirtiéndolo, por lo tanto, en un sistema clave para establecer y obtener un buen servicio al cliente.

4.5 METODOLOGÍA BÁSICA

Al utilizar la demanda (tanto la basada en pronósticos como la resultante de los pedidos reales de los clientes) a manera de insumo de información, el objetivo es desarrollar un programa maestro preliminar que se ajuste a ciertas prioridades determinadas por

la empresa (muchas de las cuales se establecieron como aspectos de la producción en el PV&O). Por ejemplo, por lo general se tienen planes de inventario, planes de mano de obra, planes para la introducción gradual de productos, etcétera. Además de ellos, el programa maestro debe incorporar restricciones adicionales como las que comentamos al analizar el PV&O, pero ahora con un nivel de detalle distinto:

- Atender las necesidades de entrega de los clientes según se estableció en el PV&O.
- Balancear las cifras preliminares de programación maestra y la capacidad disponible.
- Establecer niveles de inventario acordes con el PV&O.

La figura 4.4 muestra un programa maestro sencillo. Es preciso señalar que la herramienta completa de planificación se llama programa maestro, mientras que el conjunto de cantidades y tiempos específicos de producción programados se denomina **programa maestro de producción (PMP)**.

Los cálculos son bastante sencillos en este ejemplo. Observe que iniciamos con una cantidad disponible de 70 unidades. La demanda en el periodo 1 es de 40 unidades, lo que nos deja una proyección de 30 unidades remanentes al final de ese periodo. En el periodo 2 esperamos fabricar 80 unidades (a partir del valor del PMP) y tener una demanda de 50 unidades. La diferencia entre ambas cifras, 30 unidades, se añadirá a las 30 unidades que sobraron al final del periodo 1, para darnos una proyección total de 60 unidades remanentes, disponibles al terminar el periodo 2.

Este sencillo ejemplo nos muestra todas las “fuentes” de demanda (pronóstico y/o pedidos del cliente) de forma conjunta. También ilustra un caso en el que obviamente no existe un plan para acumular inventario. Además, observe la principal diferencia entre el programa maestro y el registro de planificación de requerimientos de material más detallado (que se revisará de manera profusa en el capítulo 6). En este caso el PMP muestra la *fecha de finalización* del pedido, mientras que —como veremos en el capítulo 6— la planificación de requerimientos de material utiliza el último renglón del registro para indicar la *fecha de inicio* proyectada del pedido. Por otro lado, el tamaño del lote suele determinarse a partir del análisis de la disyuntiva básica entre el costo de levantar y ejecutar el pedido, y el costo de mantener inventario por encima de la demanda inmediata. Estos aspectos de interrelación se analizan con mucho más detalle en el capítulo 5.

FIGURA 4.4 Ejemplo de programación maestra

Disponible = 70
Tamaño de lote = 80

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Demanda	40	50	45	50	50	50	50	50	50	50
Proyección de disponibilidad	30	60	15	45	75	25	55	5	35	65
PMP		80		80	80		80		80	80

4.6 IMPACTO DE LOS ENTORNOS DE PRODUCCIÓN

Es probable que el desarrollo y la administración de la programación maestra exijan métodos muy distintos según el entorno de producción o, para ser más específicos, de acuerdo con la cantidad de influencia que el cliente tenga sobre el diseño final del producto o servicio:

- **Fabricación para almacenamiento (MTS, *Make to Stock*).** En este entorno el cliente prácticamente no tiene influencia alguna sobre el diseño final. Por lo general sólo tiene la opción de adquirirlo o no, porque el producto ya ha sido diseñado y fabricado por la compañía. En este entorno el programa maestro en realidad funciona como un **programa de ensamblaje final** (PEF), que puede considerarse básicamente como un programa de reabastecimiento de inventario del producto terminado. Por lo general hay relativamente menos productos finales, aunque puede existir un número importante de componentes de materia prima. El abastecimiento de pedidos pocas veces tiene que ver con el programa maestro, ya que los productos para satisfacerlos se toman directamente del inventario.
- **Armado bajo pedido (ATO, *Assemble to Order*).** En este entorno el cliente tiene influencia sobre la combinación (o la inclusión) de varios subensamblajes o atributos opcionales. Los automóviles y las computadoras personales son ejemplos de productos que cuentan con módulos opcionales, ensamblados en una variedad de combinaciones distintas con base en la selección de opciones del cliente. En este entorno pueden existir muchos componentes de materia prima y muchas combinaciones de opciones que forman los productos finales, pero habrá un número relativamente pequeño de alternativas de subensamblaje. En consecuencia, por lo general el programa maestro no incluye planificación de productos finales. Esto se debe al número de programas maestros que serían necesarios para hacerlo: si existieran muchas alternativas y combinaciones de opciones, se requeriría un programa maestro para cada una de ellas, así como el desarrollo de numerosos pronósticos individuales. Dado que tal vez algunas combinaciones rara vez serían solicitadas por el cliente, pronosticar y programar al nivel de productos terminados resulta excesivamente laborioso y difícil. Es mucho mejor programar las opciones y combinarlas sólo cuando se haya recibido el pedido real del cliente.
- **Fabricación bajo pedido (MTO, *Make to Order*).** En este entorno el cliente tiene una gran influencia sobre el diseño del producto o servicio final. La compañía productora puede utilizar componentes estándar como materia prima, pero son muy diversas las formas en que dichos componentes se ensamblarán. En estos entornos suele haber un número relativamente bajo de materias primas, pero una gran cantidad de productos finales. Este entorno, además, es típico de muchas organizaciones de servicios. La demanda es tan variable tanto en cantidad como en diseño, que resulta prácticamente imposible programar cualquier tipo de producto o servicio final. Por lo general en este ambiente el programa maestro refleja en realidad la capacidad y los requerimientos de materia prima.

4.7 ENFOQUE GENERAL PARA EL DESARROLLO DEL PROGRAMA MAESTRO

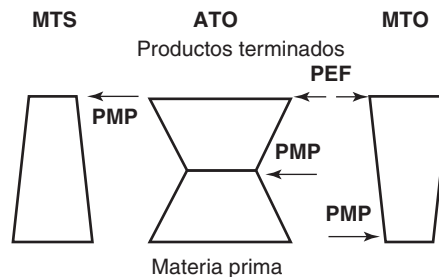
Lo que hemos aprendido hasta este momento nos indica, por un lado, que cada vez que se desarrolla un programa maestro es necesario contar con un pronóstico y, por el otro, que el resultado es un programa formal para el producto final. Es evidente que en algunos entornos este enfoque completo no resulta práctico. Por ejemplo, piense en una pastelería con fabricación bajo pedido. Si buscáramos pronosticar y programar todo tipo de combinación de pastel que puede realizarse, requeriríamos miles de programas maestros y pronósticos asociados, muchos de ellos para pasteles que nunca serían solicitados por el cliente. En lugar de ello sería mucho más fácil desarrollar pronósticos para la cantidad de materia prima (harina, azúcar, etcétera) que podría necesitarse en un periodo dado. Considere un ejemplo más, ahora de un producto tipo ATO (armado bajo pedido), como una bicicleta. Las opciones podrían incluir:

- 3 cuadros (regular, de alto rendimiento y ligero)
- 5 opciones de velocidades (de 3, 7, 10, 12 y 15 velocidades)
- 4 tipos de asientos diferentes
- 3 tipos de manubrios distintos
- 6 tipos de llantas distintas
- 3 tipos de frenos distintos
- 4 opciones “puras” (por ejemplo, si incluye o no botella para agua)

En este caso necesitaríamos desarrollar 12,960 pronósticos y programas maestros sólo para un modelo de bicicleta ($3 \times 5 \times 4 \times 3 \times 6 \times 3 \times 4 = 12,960$). Del mismo modo que en el caso de la pastelería con fabricación bajo pedido, algunas de estas combinaciones tal vez *nunca* serían fabricadas o vendidas. Sin embargo, en nuestro ejemplo de las bicicletas deseamos más información de planificación, además de la que concierne a las materias primas. Para ser específicos, si pudiéramos planificar la producción de las partes comunes para ensamblaje (consideradas estándar en cualquiera de las bicicletas vendidas, como las partes de las ruedas) y la demanda anticipada para cada una de las opciones que se mencionaron, podríamos tener todo listo para el pedido real del cliente, en donde se especificarían las opciones elegidas.

Por este motivo, en los entornos ATO casi siempre se desarrollan programas maestros a *nivel de opciones*. De esta manera se puede pronosticar la demanda del producto final y utilizar después los porcentajes históricos de venta de cada opción para hacer proyecciones de la demanda actual en todos los casos posibles. Entonces, las opciones estarán listas para hacer combinaciones cuando el pedido del cliente llegue al programa de ensamblado final (PEF), el cual simplemente es un programa de armado del producto final con base en las opciones seleccionadas.

¿Qué se obtiene con este método? El desarrollo de programas maestros para cada una de las opciones y para los componentes comunes. Esto implica que necesitaremos 29 programas maestros ($3 + 5 + 4 + 3 + 6 + 3 + 4 + 1$ componentes comunes) en lugar de los 12,960 que se requerirían de programarse cada producto final posible. Resulta claro que esto es una ventaja para cualquiera. Con estas opciones y ensamblajes comu-

FIGURA 4.5 Desarrollo del programa maestro

nes ya planificados, lo único que se necesitaría es combinarlos de la manera apropiada en el PEF una vez que se conozcan los detalles del pedido del cliente.

La figura 4.5 ilustra los tres principales entornos de producción, y muestra el nivel al que generalmente se desarrolla el programa maestro en cada caso. Observe que el programa maestro *casi siempre está diseñado para operar en el nivel con el menor número de artículos que necesitan ser programados*.

4.8 LÓGICA DE DISPONIBILIDAD PARA PROMESA

Un método para la programación maestra, cuyo apoyo a la empresa puede ser muy poderoso, es el conocido como lógica de **disponibilidad para promesa (DPP)**. Este método permite a la empresa comprometerse a entregar el producto final al cliente de manera muy rápida y realista, lo cual representa un imperativo competitivo cada vez más importante para muchas compañías. Por lo general no se utiliza en el entorno MTS, ya que en él casi todos los pedidos de los clientes se atienden tomando el producto directamente del inventario. Tampoco se le emplea mucho en el entorno MTO, toda vez que el tiempo de entrega no es un aspecto tan competitivo en él. Sin embargo resulta bastante atractivo en el entorno ATO, porque permite que la empresa se comprometa a entregar los pedidos de manera realista. El valor DPP no es un balance proyectado de inventario (el cual está dado por el renglón de Balance proyectado disponible del programa maestro que se ilustra en la figura 4.6); en realidad, su propósito radica en informar lo siguiente: para una cantidad del PMP dada, cuántos artículos NO están comprometidos en pedidos específicos de los clientes. El punto de vista “no acumulativo” de la DPP (probablemente el más utilizado) sólo sumará la producción comprometida para atender los pedidos de clientes en el periodo posterior a aquel en donde se registra cierta cantidad del PMP. El enfoque acumulativo solamente acumula los valores de DPP y proporciona el valor total de ejecución. En este sentido es preciso hacer notar que en el periodo 1 el inventario existente debe contarse como si fuera un valor de PMP al realizar los cálculos de DPP.

DPP-EJEMPLO RESUELTO

La lógica de la DPP se explica mejor con un ejemplo. Suponga que tenemos un producto para cuya entrega necesitamos un tiempo de espera de 2 semanas, y cuyo tamaño de lote es de 60 unidades. Existe una barrera de tiempo de demanda de 2 semanas y una barrera

FIGURA 4.6 Programa maestro para un entorno ATO

Producto: A
 Tiempo de espera: 2 semanas
 Tamaño de lote: 60
 Disponible: 56
 Barrera de tiempo de demanda: 2 semanas

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pronóstico	22	25	20	20	18	18	32	30	28	28	29	25
Pedidos de clientes	24	23	17	22	15	14	17	16	12	16	13	11
Bal. proy. disp.	32	9	49	27	9	51	19	49	21	53	24	59
Disp. para prom.												
PMP			60			60		60		60		60

de tiempo de planificación de 12 semanas. Los pronósticos desarrollados y los pedidos de los clientes se registran en la tabla de la figura 4.6.

Antes de proceder a explicar la DPP (cuyos datos aún no se han completado en la tabla de nuestro ejemplo), revisemos las demás cifras del programa maestro:

- Las primeras dos semanas están dentro de la barrera de tiempo de demanda. Esto implica que el pronóstico se ignora durante estas primeras dos semanas, y que el balance proyectado disponible se calcula sólo a partir de los pedidos de los clientes.
- Entre la barrera de tiempo de demanda y la barrera de tiempo de planificación (12 semanas) calculamos el balance proyectado disponible a partir **del valor más grande entre el pronóstico y el pedido del cliente**. El razonamiento es el siguiente:
 - Si la cifra del pronóstico es más grande, significa que todavía existe la posibilidad de recibir pedidos de los clientes. Dado que dicha probabilidad existe, es preciso que la tomemos en cuenta restando la cifra de pronóstico.
 - Si la cifra del pedido del cliente es mayor, resulta obvio que el pronóstico fue demasiado bajo y, por lo tanto, que necesitamos reflejar lo que realmente desean los clientes. Como el pronóstico de demanda del PV&O resultó erróneo, podría presentarse un problema de recursos, así que no debemos incrementar el pronóstico para el PMP. Recuerde que dentro de la barrera de tiempo de planificación sólo existe una capacidad de reacción limitada ante el desabasto de material o la falta de capacidad. Además, debemos revisar el programa maestro para asegurarnos de no violar el PV&O.
- El PMP se desarrolló de manera que nunca se presentara un valor negativo en la variable “proyectado disponible”. La presencia de tal situación equivaldría a dar un mal servicio al cliente, y una programación maestra apropiada rara vez debería permitir tal condición. Es importante recordar que un balance proyectado dispo-

FIGURA 4.7 Incorporación de valores DPP no acumulativos

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pronóstico	22	25	20	20	18	18	32	30	28	28	29	23
Pedidos de clientes	24	23	17	22	15	14	17	16	12	16	13	11
Bal. proy. disp.	32	9	49	27	9	51	19	49	21	53	24	1
Disp. para promesa	9		6			29		32		20		
PMP			60			60		60		60		

nible negativo implica que se ha hecho una planificación de producción inapropiada para cumplir la demanda proyectada, condición que prácticamente todas las empresas desean evitar.

Desarrollemos ahora la lógica de la DPP en la figura 4.7. Veamos de dónde se obtuvieron las cifras correspondientes:

- La primera cifra de la DPP (9 en el periodo 1) proviene del inventario disponible. Las 56 unidades disponibles deben durar para atender a los clientes hasta que esté disponible el siguiente PMP en la semana 3. Hay un total de 47 pedidos de clientes (24 + 23) durante esas dos primeras semanas. Tomar 49 de las 56 unidades disponibles nos deja un remanente de 9 unidades que podemos comprometer con algún cliente.
- El PMP de la semana 3, 60 unidades, debe durar hasta la semana 6, cuando se programe el siguiente PMP. Entre las semanas 3 y 6 hay 54 pedidos de clientes (17 + 22 + 15), lo que nos deja 6 unidades que todavía pueden comprometerse para atender nuevos pedidos.
- El PMP de la semana 6 debe durar hasta el siguiente PMP, que se programa en la semana 8. En ese periodo hay pedidos por 31 unidades (14 + 17), así que nos sobran 29 unidades para atender otros compromisos con los clientes.
- El mismo razonamiento básico continúa para el resto del registro.

Un aspecto clave que debe observarse en el ejemplo anterior, es que la lógica de la DPP se calcula sólo a partir de pedidos de clientes; **en ningún momento se toman en cuenta los pronósticos**. Se trata de que el cálculo muestre la disponibilidad de productos que se pueden comprometer para satisfacer los pedidos de **los clientes**, no los pronósticos.

Observe la capacidad potencial de la lógica de la DPP. Suponga que un cliente solicita 20 unidades del producto A en la semana 4. No sólo se puede saber de manera inmediata si es posible atender el pedido, sino que además podremos indicar al cliente exactamente qué esperar. En este caso se puede prometer al cliente una entrega de 15 (9 + 6) unidades en la semana 4 y el resto en la semana 6. *Recuerde que pocas veces al cliente le interesa saber cuándo se fabrica el producto; lo que le importa es cuándo recibirá su pedido.*

Suponga que el cliente no acepta recibir 15 unidades en la semana 4 y el resto en la semana 6. Imagine que realmente requiere 20 unidades en la semana 4. En este punto el programador maestro cuenta con tres opciones:

- Podría tratar de incrementar el valor de PMP en la semana 3, verificando primero el inventario de componentes y la capacidad disponible.
- Podría revisar si los clientes que tienen pedidos por surtir actualmente pueden ser flexibles en cuanto a la recepción del producto.
- Podría simplemente rechazar el pedido, si decide que las demás opciones no son viables.

La cuestión clave aquí es la *capacidad de revisar las circunstancias presentes, y la habilidad de comunicarse de manera inmediata y abierta con los clientes*. Casi todos los consumidores prefieren una verdad decepcionante a una promesa que no será cumplida. Al recibir alguna notificación anticipada por lo menos tendrán oportunidad de hacer planes para hacer frente al potencial desabasto. Observe que es matemáticamente posible tener una DPP negativa. Esto significa que el número de pedidos comprometidos con los clientes excedió la capacidad de producción; en ese caso, resulta evidente la necesidad de analizar la situación para resolver el posible desabasto. La solución que se nos ocurre para una situación como ésta, consiste en llevar a cabo una revisión de la programación en sentido inverso, a partir del periodo en cuestión, para averiguar si la demanda puede atenderse con valores de DPP positivos previos. De no ser así, tendremos que hacer una evaluación de la factibilidad de incrementar las cantidades de producción o, en algunos casos, renegociar las cantidades de los pedidos de los clientes o las fechas de entrega.

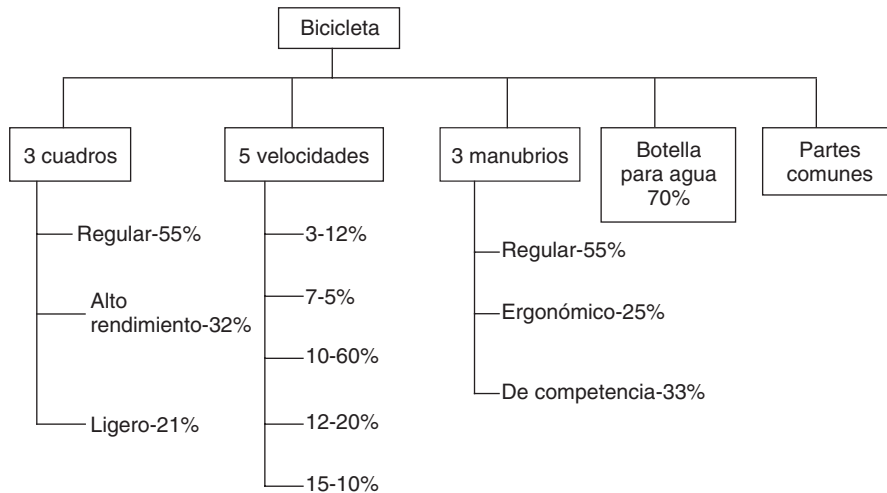
4.9 OPCIONES DE PLANIFICACIÓN EN UN ENTORNO ATO

Es evidente la existencia de un problema de peso cuando se trata de la planificación de opciones en un entorno de Armado bajo pedido. Por lo general los pronósticos se realizan a nivel del producto final; sin embargo, como recordará, aquí hemos sugerido que la programación maestra se realice a nivel de las opciones. Para conciliar ambas condiciones se desarrolla un tipo especial de **lista de planificación de materiales**, conocida en ocasiones como **súper lista**. Como indica su nombre, esta lista no se desarrolla para un producto terminado; en lugar de ello, su propósito es planificar los requerimientos de las opciones y componentes comunes en su programa maestro correspondiente. Además, es preciso hacer notar que no se trata de una lista de materiales que muestra cómo se fabrica un producto real desde el punto de vista operativo, sino una herramienta cuyo objetivo es la planificación de la producción.

Como ejemplo de cómo elaborar una lista de planificación, piense en las bicicletas que se mencionaron antes. Para simplificar, supongamos que en este caso existen sólo cuatro clases de opciones: tres tipos de cuadros; cinco clases de velocidades; tres tipos de manubrios, y una botella para agua (es decir, una opción “pura”). Esta última alternativa es distinta de las demás. Por ejemplo, una bicicleta debe tener un cuadro, por lo que resulta indispensable seleccionar uno de los tres tipos disponibles. Por otro lado, la botella de agua puede agregarse o no al equipo, pero no es obligatoria para su funcionamiento. Por consiguiente, la “súper” lista de materiales podría ser como se muestra en la figura 4.8.

En esta figura hay varios aspectos que debemos tener en cuenta:

- Observe que los porcentajes que aparecen debajo de la categoría de cada opción (excepto en el caso de la botella para agua) suman más de 100. Las cifras de la base porcentual suelen calcularse a partir de los porcentajes de ventas históricas de

FIGURA 4.8 Lista de planificación de materiales (ejemplo)

cada opción. Sin embargo, dicho historial puede reflejar o no las tendencias reales de venta (en especial si existen planes y/o campañas de promoción para promover ciertas opciones). De la misma forma en que se mantiene un inventario de seguridad de ciertos elementos para poder responder a la demanda no anticipada, en este caso la **sobreplanificación porcentual** dará cabida a la demanda adicional de las opciones. En este caso, por ejemplo, los porcentajes reales de ventas históricas para los cuadros de bicicleta podrían haber sido: 51% para el regular, 30% para el de alto rendimiento, y 19% para el ligero. Algunas veces esta **sobreplanificación de opciones** se denomina **protección de mezcla**, por ser una salvaguarda en caso de que la demanda de cierta mezcla de opciones sea mayor que la demanda histórica promedio.

- El porcentaje de la opción botella para agua también puede incrementarse mediante una protección de mezcla. Sin embargo, en este caso el cliente no tiene que seleccionar una alternativa (como en el caso de los cuadros y los manubrios), sino elegir simplemente si su equipo contará o no con la opción.
- Las partes comunes son aquellas que no son opcionales, pero cuya planificación debe tomarse en cuenta en la lista de materiales para fabricar el producto. La lista de partes comunes no representa un ensamblaje fabricable; simplemente refleja todas aquellas partes necesarias para fabricar alguna de las bicicletas, aunque no formen parte de subensamblajes. Aquí no se señala un porcentaje, ya que se requieren tantas partes como bicicletas se planea fabricar, como se refleja en el pronóstico de producto final. En ocasiones podría desearse sobreplanificar la cantidad real pronosticada como una alternativa para mantener un inventario de seguridad específico de producto final. Por ejemplo, aunque el pronóstico real para una semana dada podría ser de 50 unidades, en la lista de planificación ingresaríamos un pronóstico de 53. Las tres unidades adicionales constituyen una sobreplanificación del producto final, actuando de manera muy similar al inventario de seguridad. Dado que se trata de una protección contra la demanda global del mercado, a este tipo de salvaguarda mucha veces se le denomina **protección de mercado**.

4.10 EL PROGRAMA MAESTRO DE DOS NIVELES

En los casos donde se utiliza una lista de planificación, como en el ejemplo anterior, suele emplearse un programa maestro de dos niveles. Es en el nivel superior donde se ingresa el pronóstico de demanda para el producto final, y también es la fuente de los requerimientos PMP para los ensamblajes comunes del producto, dado que la demanda de los mismos equivale a la fabricación del propio producto. Sin embargo, las opciones son un caso distinto. Para ilustrar cómo funciona el programa maestro de dos niveles tomando como base nuestro sencillo ejemplo anterior, analizaremos el programa maestro para el producto final (la bicicleta) y tres de las opciones: el cuadro regular, la opción de 10 velocidades, y la botella de agua. En este caso suponga que no existe barrera de tiempo de demanda, pero sí una barrera de tiempo de planificación de 10 semanas (vea la figura 4.9).

Varias cifras y otros elementos de las tablas de la figura 4.9 deben explicarse:

- En realidad, los pronósticos para las opciones representan la cantidad del producto final que se espera vender, dadas las condiciones imperantes. Por ejemplo, en el caso del cuadro regular, el pronóstico en la semana 1 es cero, dado que no existe bicicleta alguna que pueda venderse. En la semana 2, el pronóstico para el cuadro es de 10 unidades, lo cual representa (redondeado) 55% de las 18 unidades no consumidas que indica el pronóstico del producto final ($100 - 82 = 18$). Como no existe un método estándar, cada programador elige cuál utilizar. Algunos son bastante optimistas, y otros muy pesimistas. El método promedio que se muestra aquí es un ejemplo ilustrativo. Para conocer otros, le recomendamos consultar fuentes más específicas sobre programación maestra, por ejemplo en el acervo de la Sociedad Estadounidense de Control de la Producción e Inventario (APICS, American Production and Inventory Control Society), disponible en el sitio web www.apics.org.
- Aunque la disponibilidad para promesa se muestra en la semana 1 para todas las opciones, no se venderá bicicleta alguna en la semana 1, dado que aún no existen productos finales. El método de la DPP que se ha mostrado aquí no es acumulativo, es decir, se encuentra vinculado con una cantidad de PMP específica. En algunos sistemas se muestra la DPP acumulada, de manera que cada DPP se calcula como la suma de la DPP para la cantidad de PMP de un periodo específico, más la DPP del periodo previo. En otras palabras, la DPP acumulada para el periodo 2 sería igual a la DPP independiente del periodo 2, más la DPP independiente del periodo 1. La DPP acumulada para el periodo 3 sería, por lo tanto, equivalente a la DPP independiente del periodo 3 más la DPP acumulada del periodo 2, y así sucesivamente. En los programas maestros de dos niveles suele considerarse más sencillo hacer una revisión a la inversa a partir de la última semana del registro para dar seguimiento a la DPP acumulada.
- En cualquier caso, no resulta muy útil mostrar un pronóstico adicional de las opciones a partir del pronóstico no consumido del producto final para alguna semana dada. Es imposible que la venta de cualquier opción sea mayor que la venta del producto final, a menos que la opción cuente con una demanda independiente. Por supuesto, en ocasiones es posible y deseable que la venta del producto final sea superior al pronóstico, en cuyo caso la disponibilidad de cada opción requerirá evaluarse de manera individual.

FIGURA 4.9 Ejemplo de programa maestro de dos nivelesEnsamblaje: Bicicleta

Disponibilidad: 100

Tamaño del lote: 150

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pronóstico	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Pedidos de clientes	100	82	70	52	23	12	0	0	0
Disponible proyectado	0	50	100	0	50	100	0	50	100
Disponible para promesa	0	68	28		127	138		150	150
PMP		150	150		150	150		150	150

Ensamblaje: Cuadro regular

Disponibilidad: 20

Tamaño del lote: 100

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pronóstico de la opción	0	10	17	26	42	48	55	55	55
Pedidos pendientes	51	49	15	20	15	9	0	0	0
Disponible proyectado	69	10	78	32	75	18	63	8	53
Disponible para promesa	20		65		76		100		100
PMP	100		100		100		100		100

Ensamblaje: 10 velocidades

Disponibilidad: 5

Tamaño del lote: 90

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pronóstico	0	11	18	29	46	53	60	60	60
Pedidos de clientes	70	2	52	45	13	6	0	0	0
Disponible proyectado	25	12	32	48	79	20	50	80	20
Disponible para promesa	23		38	45	71		90	90	
PMP	90		90	90	90		90	90	

Ensamblaje: Botella para agua

Disponibilidad: 100

Tamaño del lote: 100

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pronóstico	0	13	21	34	54	62	70	70	70
Pedidos de clientes	65	50	42	30	15	3	0	0	0
Disponible proyectado	25	62	99	35	66	1	31	61	91
Disponible para promesa	25	50	28		82		100	100	100
PMP		100	100		100		100	100	100

- Hay muchos métodos distintos para realizar programación de dos niveles. Aquí mostramos solamente uno de ellos, para ilustrar el concepto como una herramienta potencialmente valiosa para ciertos ambientes ATO y MTO. Es necesario realizar un análisis más completo antes de seleccionar el método.
- La capacidad potencial del método es obvia. Por ejemplo, suponga que un cliente desea 30 bicicletas en la semana 2, todas ellas con cuadro regular, 10 velocidades y botella para agua. En tal caso, comprometeríamos la entrega de 20 en la semana 2 y el resto en la semana 3. El motivo: existen suficientes productos finales (DPP en semana 2, aun cuando la demanda ocasionará que las ventas finales de la semana 2 excedan el pronóstico. La única consecuencia es que si la venta de semanas posteriores igualara el pronóstico, podría ser necesario realizar PMP adicional). El problema está en las opciones. Las botellas para agua no implican dificultad alguna, pero la DPP de la opción de 10 velocidades es de sólo de 23 unidades en la semana 2 (tomadas de la semana 1; no hay más venta en la semana 1, y tampoco existe PMP en la semana 2 para reabastecer el inventario). De manera similar, el PMP para el cuadro es únicamente de 20 unidades, también sin PMP en la semana 2 para reabastecer. Es probable que el cliente tenga que seleccionar distintas opciones, o aceptar 20 unidades de su pedido en la semana 2 y el resto en la semana 3.

4.11 NOTAS SOBRE LA RESPONSABILIDAD DEL PROGRAMA MAESTRO

El programador maestro ocupa una posición bastante visible e importante, ya que todo negocio (sin importar lo grande que sea, o si es una empresa de servicios o de manufactura) cuenta con un programa maestro. Dicho programa puede ser bastante informal, o tal vez exista sólo en el cerebro de algún ejecutivo, pero sin duda alguna está presente. En cuanto a su importancia, algunos aspectos clave a considerar son:

- El programa maestro (incluso si se utiliza un programa de ensamblaje final) es el principal vínculo con los pedidos de los clientes.
- El programa maestro debe reflejar, básicamente, las políticas y restricciones desarrolladas en el PV&O, incluyendo los métodos de seguimiento, nivelación o combinación para la demanda.
- Los valores del PMP son un reflejo de la *culminación* del proceso pedido-entrega.
- Si la compañía desea operar eficiente y efectivamente, el programa maestro debe desarrollarse de manera realista. Por ejemplo, con demasiada frecuencia las compañías son incapaces de completar el plan de una semana y “transfieren” las actividades incumplidas a la siguiente semana, sin tomar en cuenta el impacto en la capacidad o en otras áreas. Estos programas maestros “sobrecargados” evidencian la presencia de un soñador optimista en lugar de un efectivo responsable de la planificación. El método apropiado cuando no se completa una parte específica del plan consiste en actualizar el programa maestro completo tan pronto como se reciba nueva información. Casi siempre esto se hace de manera similar al desarrollo del PV&O; para ser más específicos, el procedimiento sería el siguiente: cuando ha transcurrido el periodo actual que refleja el programa maestro, el programa se desplaza, lo que implica que la información del periodo actual se elimina y se añade un nuevo periodo al final del horizonte de planificación. Esto significa que se conservará la totalidad del horizonte de planificación. Naturalmente para ello es necesario incorporar toda la información nueva y relevante que se haya recibido

desde que se hizo el último programa, incluyendo balance de inventarios, cantidades pronosticadas, pedidos de clientes y cualesquiera otros datos que puedan tener impacto sobre el plan.

- Los tamaños de lote por lo general se establecen de la misma manera que los demás elementos, es decir, tomando en cuenta el balance entre costos de mantenimiento de inventario y costos de pedidos. En los casos en que el costo de pedido es bajo o nulo, el tamaño de lote suele ajustarse a los requerimientos (proceso conocido como *lote por lote*). En otras situaciones, los tamaños de lote se calculan o se estiman como cantidades donde el costo total (costo de mantenimiento de inventario más costo de pedido) se minimiza. En algunos casos se presentan otras condiciones que impactan la decisión del tamaño de lote, por ejemplo: limitaciones en el espacio de almacenamiento, cuestiones relacionadas con descomposición u obsolescencia, aspectos de transportación, o quizá restricciones sobre cantidades de pedidos para empaque que pudieran tener los proveedores.
- Cuando se desee contar con inventarios de seguridad, éstos pueden planificarse como un número absoluto o como un porcentaje del pronóstico. Muchas personas creen que el inventario de seguridad (que constituye una barrera de marketing) son más apropiadas al nivel del programa maestro, dado que la principal incertidumbre es la demanda externa. De esta manera es posible minimizar o evitar los inventarios de seguridad en un nivel inferior, así como trabajar con métodos detallados de planificación donde la probabilidad de predicción es mucho mayor. Con una estrategia de protección apropiada en el nivel de programa maestro, se pueden evitar numerosos cambios en las cantidades de PMP. Esto es conveniente, ya que cualquier cambio en el PMP se propagará hasta la lista completa de materiales, y puede impactar numerosos componentes. Este efecto de propagación suele denominarse “*nerviosismo*” del sistema. La principal decisión que debe tomarse en este sentido estriba en realizar otro balance del negocio, tomando como parámetros el costo y la flexibilidad.
- Algunas veces los valores del PMP pueden considerarse como una serie de **pedidos planificados en firme**, especialmente dentro de la barrera de tiempo de planificación. Un pedido planificado es aquel que no ha sido liberado para producción, lo que significa que aún no se han comprometido recursos reales de la compañía. Toda vez que no representa recursos comprometidos, casi siempre los pedidos planificados son libres de desplazarse en los modelos por computadora. Por otro lado, los pedidos planificados en firme implican que, aunque los recursos no se han comprometido todavía, la computadora se verá impedida de modificarlos, a menos que se haga una recomendación explícita de cambio al responsable de la planificación. En este sentido no se debe permitir que la computadora mueva o modifique la cantidad de recursos sin que haya de por medio una evaluación por parte del responsable de la programación maestra. Recuerde que si el PMP está dentro de la barrera de planificación de tiempo, es posible que las numerosas órdenes de compras y producción de los componentes de menor nivel hayan sido ya liberadas. Para evitar cualquier malentendido, una regla apropiada es nunca permitir que la computadora tenga poder absoluto sobre las decisiones que representan recursos reales comprometidos de la empresa.
- Aun cuando cualesquiera cambios deben ser cuidadosamente evaluados, el programa maestro puede seguirse utilizando con efectividad para evaluar escenarios del tipo “y qué ocurriría si...”. Esto puede ser valioso no sólo para evaluar aspectos de producción (por ejemplo, descomposición de equipo, problemas con pro-

veedores, etcétera), sino también para comunicar a los clientes la disponibilidad para atender sus pedidos.

- Desde la perspectiva de toda la compañía, generalmente el programa maestro representa una parte de vital importancia para el sistema de planificación. No sólo constituye la principal interfaz con los pedidos de los clientes, sino también el punto de arranque de la generación de las órdenes de producción, mismas que implican un compromiso financiero para casi todas las empresas. Por este motivo es muy recomendable que el control del programa maestro nunca sea responsabilidad de la computadora, aunque el sistema computacional se utilice como apoyo. En el mundo de los negocios resulta muy aconsejable que la empresa cuente siempre con una persona responsable del uso de cualquier activo significativo (así como del servicio al cliente). Pocas cosas pueden frustrar más a un directivo que analizar una gran falla de la empresa para planificar apropiadamente, y descubrir que “la computadora fue la responsable”.

4.12 INTRODUCCIÓN A LA ADMINISTRACIÓN DE LA DEMANDA

Al principio, hablar de “administración de la demanda” podría considerarse como una violación a otra de las funciones relacionadas con el control y la planificación. Después de todo, ¿no es una de las responsabilidades de marketing y ventas? Ciertamente existe un traslape, pero en realidad no se trata de una violación, sino de una responsabilidad conjunta que forma parte (o debería formar parte) de la comunicación interfuncional.

¿Por qué debemos administrar la demanda? Es evidente que esta operación no puede convertirse simplemente en una tarea pasiva de levantamiento de pedidos, tomando nota de cualquier pedido que deseen los clientes y comprometiéndose a entregarlo en la fecha que se señale. Para administrar la demanda es preciso que haya una coordinación —más allá del PV&O y del programa maestro— entre marketing, ventas y operaciones. Existen dos motivos muy importantes por los que la administración de la demanda es un factor clave que deben comprender los profesionales de la planificación y el control:

- Cierta demanda es *interna respecto de la propia compañía*, asumiendo varias formas que incluyen:
 - Requerimientos de servicio, en especial para reparaciones a domicilio
 - Requerimientos de ingeniería para construir prototipos de nuevos productos
 - Requerimientos de aseguramiento de calidad para propósitos de pruebas
 - Reparaciones o reemplazos internos para los trabajos en proceso
 - Requerimientos de distribución
- Marketing y ventas tienden a ser mucho más flexibles, y con frecuencia pueden cambiar su “dirección” mucho más rápido de lo que puede hacerlo la operación típica. Además, el desarrollo de nuevos planes de marketing y la identificación de nuevas fuentes de demanda de los clientes suelen ser procesos bastante más rápidos, por lo menos en comparación con el tiempo necesario para realizar las operaciones en muchas otras áreas, por ejemplo:
 - Modificación de la capacidad: sobre todo en términos de equipo, ya sea por la obtención de nueva maquinaria o por el desarrollo de nuevas herramientas para el equipo actual.

- Modificación de la capacidad humana. Aun cuando la operación involucre solamente personal, casi siempre existen problemas de contratación y/o capacitación.
- Alineación de proveedores, ya sea respecto de cambios en el producto o de la cantidad de éste. Incluso la adaptación a cambios en el tiempo para cumplimentar órdenes de compra puede ser difícil, costosa o larga.
- Consideraciones de inventario.
- Introducción/retiro progresivos de diseños.

4.13 ELEMENTOS DE LA ADMINISTRACIÓN DE LA DEMANDA

Existen al menos cuatro factores importantes involucrados en la administración de la demanda, a saber:

1. **Predicción.** Se refiere básicamente al pronóstico de la demanda anticipada de los clientes. Sin embargo, involucra también otros factores, la mayoría de los cuales tienen que ver con el hecho de que los pronósticos son, por definición, incorrectos. Por lo que concierne a la administración de la demanda, lo importante es dilucidar “qué tan incorrectos son” y “cómo hacer frente a la información incorrecta”.
 - Primero es preciso comprender que existen varios métodos de pronóstico para distintos propósitos. El punto de arranque fundamental consiste en seleccionar el método de pronóstico apropiado para la proyección de la demanda en un sistema de negocios dado.
 - A continuación debe evaluarse y darse seguimiento al pronóstico, tanto para ayudar a depurar y mejorar los métodos utilizados, como para obtener información en cuanto al error de pronóstico esperado.
 - Por último, es necesario encontrar métodos para hacer frente al impacto del error esperado, y aminorarlo. Algunos de estos métodos incluyen:
 - **Comunicación.** Esto implica abrir líneas de comunicación más efectivas con los clientes, marketing y ventas, para comprender de manera más rápida y precisa los patrones de demanda. Los canales de comunicación pueden ser de naturaleza escrita, oral o electrónica.
 - **Influencia.** Cuando el pronóstico es distinto de la disponibilidad de recursos, con frecuencia se enfrenta una disyuntiva entre si es mejor modificar los recursos o intentar influir sobre la demanda mediante herramientas de marketing. Este problema es similar a los que se revisaron y resolvieron en el nivel de PV&O.
 - **Reducción del tiempo de espera.** Si el tiempo de espera para producir un artículo y llevarlo hasta los clientes es menor que el tiempo de entrega esperado por el cliente, es posible iniciar la producción con información aproximada de la demanda. Sin embargo, éste casi nunca es el caso; por lo tanto, mientras más diferencia exista entre el tiempo total de espera para la entrega y las expectativas del cliente, lo recomendable es comenzar la producción lo más pronto posible, incluso desconociendo la demanda. Otra de las características de los pronósticos es que, mientras más a futuro se intente hacer la proyección, más grande será el error de pronóstico esperado. Esto significa, sobre todo, que si se trabaja para disminuir sustancialmente el tiempo de espera, el error de pronóstico y los mecanismos subsecuentes que se implementen para

hacerle frente pueden reducirse de manera importante, aun cuando el tiempo de espera para la entrega nunca pueda satisfacer las expectativas del cliente.

- **Flexibilidad de producción.** Este factor está muy relacionado con la reducción del tiempo de espera, ya que ambos se ven impactados por la configuración del proceso. Básicamente, si los procesos de producción son lo bastante flexibles, será más probable que la operación se modifique rápida y fácilmente para ajustarse a los volubles patrones de la demanda.
- **Políticas que guían el desarrollo del PV&O y del programa maestro.** El desarrollo de estos planes de “alto nivel” suele darse bajo políticas explícitas respecto de los niveles de servicio al cliente, políticas de inventario, políticas sobre el uso de empleados temporales, etcétera. La naturaleza de estos planes representa una importante fuente de habilidades para que la organización haga frente a la demanda inesperada.
- **Inventario de seguridad o sobreplanificación del PMP.** En realidad se trata de casos especiales de las políticas de planificación maestra, específicamente diseñados para hacer frente a los errores de pronóstico.

Seguimiento de la demanda. Para que las políticas, inventarios de seguridad y casi todos los demás factores descritos como mecanismos para hacer frente a la demanda inesperada resulten efectivos en cantidad y oportunidad, es preciso contar con información suficiente. Tal información proviene del seguimiento y del análisis de la naturaleza de la demanda, así como de la cuidadosa comparación entre ésta y los métodos de pronóstico. Esta actividad no sólo dará como resultado el perfeccionamiento de los métodos de pronóstico, sino que también permitirá el concienzudo desarrollo de procedimientos y políticas para enfrentar el error y administrar la demanda de manera más efectiva.

Niveles de servicio. Casi todas las empresas tendrán, ya sea como estrategia o política, algún nivel “objetivo” que desean alcanzar en cuanto al servicio al cliente, mismo que suele medirse a través de índices de cumplimiento de pedidos. Es preciso que todos los involucrados en la administración de la demanda comprendan con absoluta claridad tales niveles objetivo, en virtud de que ejercen una importante influencia sobre el uso de los mecanismos administrativos. Por ejemplo, si se utiliza el inventario de seguridad como mecanismo básico, la decisión clave tendrá que ser: “¿cuánto inventario de seguridad debo mantener y en qué nivel de la estructura de la lista de materiales?” Aquí se presenta un dilema fundamental: grandes niveles de servicio al cliente implican mayores inventarios de seguridad para un nivel dado de variabilidad de la demanda dentro del tiempo de espera. Esto conlleva claras consecuencias en cuanto a costo, las que a su vez suelen tener cierta influencia sobre las políticas de fijación de precios. El mismo tipo de análisis de disyuntivas es apropiado para prácticamente todos los mecanismos que hemos venido describiendo.

2. Comunicación. El segundo elemento de la administración de la demanda es una comunicación efectiva de dos vías, especialmente con el cliente. Una vez más, esto puede asumir varias formas:

- **Ingreso de pedidos.** Resulta evidente que ésta es una oportunidad para obtener información específica del cliente, así como de comunicar detalles particulares del pedido y actualizar al cliente.

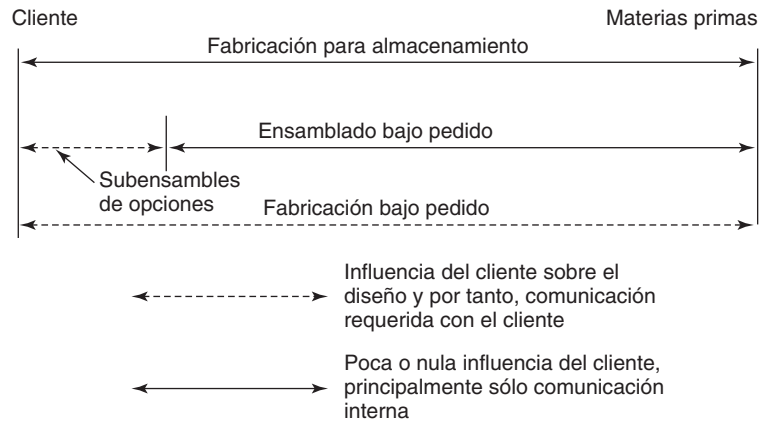
- **Promesa de fecha de entrega del pedido.** Algunas veces la promesa de entrega del producto se ofrece durante el ingreso del pedido correspondiente, utilizando como parámetro los tiempos de espera estándar, pero en algunos casos sólo después de que la lógica de DPP o ciertas restricciones de entrega se analizan. Algunas de estas restricciones incluyen recursos internos (equipo, personal, etcétera), mientras que otras son externas a la compañía, como proveedores, distribuidores o evaluaciones de material/capacidad.
 - **Servicio a los pedidos del cliente.** Una vez que el pedido se ingresa y se compromete, existe en algunas compañías la necesidad de comunicar continuamente el estado del pedido y otras cuestiones al cliente. En algunos casos, por ejemplo, el cliente espera inspeccionar él mismo el producto antes del envío.
3. **Influencia.** La capacidad de influir la demanda es una de las responsabilidades básicas de la función de ventas y marketing. Sin embargo, para administrar de forma efectiva la demanda, las funciones de ventas y marketing deben trabajar de cerca con la función de planeación de operaciones con el objetivo de comprender tanto las restricciones como las oportunidades.
 4. **Priorización y asignación.** Una vez que el pedido ingresa, debe tomar su posición correcta respecto a los demás pedidos de productos y servicios de la compañía. En algunos casos esto se realiza de forma natural como parte de la actividad de compromiso de pedidos, pero en otros casos los pedidos se comprometen con un tiempo de espera estándar, obligando a las instalaciones a dar prioridades de forma continua al banco de pedidos y a asignar recursos en consecuencia. Para realizarlo deben existir lineamientos y reglas establecidas para asegurar la adecuada asignación de recursos con base en las prioridades establecidas como apropiadas para el negocio.

Impacto de los entornos de operación

Si es posible generalizar en cuanto al efecto de los entornos sobre las actividades de administración de la demanda, esta generalización sería principalmente acerca de la comunicación con el cliente y el tipo de la actividad de pronóstico utilizada. De forma más específica, mientras más preferencias del cliente se permita desplazar a la actividad de producción (de la Fabricación para Almacenamiento a la Fabricación bajo Pedido), mayor será la necesidad de una comunicación con el cliente de diversos tipos. Dado que el pronóstico está fuertemente vinculado con la programación maestra, lo que se pronostica, así como la forma como se hace, también serán influidos (ver figura 4.10).

Fabricación para almacenamiento. Prácticamente no existe la actividad de promesa de pedidos, priorización o servicio a los pedidos dentro de un entorno de MTS. La comunicación con frecuencia es mínima ya que el cliente por lo general satisfará sus necesidades a partir del inventario de productos terminados. La única excepción puede ser en los casos donde los clientes están dispuestos a aceptar pedidos en espera cuando éstos son una política de la operación. En estos casos la información de los pedidos en espera debe ser remitida según los canales designados.

Sin embargo, en la mayoría de las instalaciones los principales elementos para la administración de la demanda para entornos FPA tienden a ser las políticas de

FIGURA 4.10 Necesidades de influencia y comunicación con el cliente

pronósticos, inventarios e inventarios de seguridad. Las actividades de influencia sobre la demanda por lo general son menos visibles en este entorno, especialmente si el artículo del inventario es de tipo genérico estándar. Cuando no es estándar, por lo regular se utilizan métodos comunes para influir sobre la demanda, que van desde modificaciones al precio hasta publicidad y actividades promocionales.

Dado que la principal función de las operaciones es reabastecer el inventario, el pronóstico con frecuencia se realiza al nivel de producto terminado, así como la actividad de programación maestra.

Armado bajo pedido. El ambiente ATO (Assemble to Order) cuenta con más influencia del cliente, en cuanto a que puede solicitar varias combinaciones de subensambles estándar u opciones. Evidentemente en este entorno existe un ingreso de pedidos y un compromiso de atenderlos, con mucho del énfasis en comprometer los pedidos a través de la lógica de disponible para promesa (DPP) del programa maestro.

La comunicación con el cliente debe ser en ambos sentidos, al menos hasta el punto de influir el diseño del producto final. Como se analizó anteriormente en el capítulo, la programación maestra por lo general se realiza al nivel de opciones, del mismo modo que para los pronósticos. El ingreso de pedidos por lo general se realiza a través del programa de ensamblaje final (PEF).

Aunque la flexibilidad tiende a ser bastante buena en este entorno por medio de adecuadas acciones de planeación y administración de la demanda, debe recordarse que la flexibilidad disminuye de forma constante a medida que la actividad de demanda se desplaza al momento actual. Por este motivo, las acciones de influencia al cliente son adecuadas y regularmente utilizadas.

Fabricación bajo pedido. El entorno de MTO (Make to Order) cuenta con un alto grado de influencia del cliente, lo que obliga a que el programa maestro y el pronóstico se realicen de forma muy cercana al nivel de las materias primas. La comunicación con el cliente y el compromiso de pedidos son muy importantes, en

cuanto a que estas acciones influyen prácticamente toda la operación de producción. El factor crítico para el compromiso de pedidos tiende a desplazarse del inventario a la administración de la capacidad. Nuevamente, el ingreso de pedidos se realiza a través de un programa de ensamblaje final y aunque las técnicas de marketing y ventas puedan ser un tanto distintas, siguen siendo adecuadas.

A medida que la tecnología avanza más compañías automatizan cada vez más esta actividad. En varios casos la consulta de pedidos, el ingreso de pedidos e incluso la configuración del producto, pueden realizarse de forma electrónica utilizando internet. En los casos de ATO y en algunos de MTO, por ejemplo, el cliente puede ingresar sus requerimientos en el sistema vía internet y recibir una confirmación casi inmediata del pedido, fecha de entrega comprometida e incluso una cotización del precio.

TÉRMINOS CLAVE

Administración de la demanda	Lista de materiales	Programación maestra de dos niveles
Barrera de tiempo	Lista de planeación de materiales	Protección de mercado
Barrera de tiempo de demanda	Nerviosismo del sistema	Protección de mezcla
Barrera de tiempo de planeación	Programa de ensamblaje final	Sobreplaneación de opciones
Desagregación	Programa maestro	Súper listas
Disponible para promesa (DPP)	Programa maestro de producción	

RESUMEN

Este capítulo analiza las terminologías y metodologías para desarrollar, mantener y utilizar de forma efectiva lo que bien puede ser la actividad individual más importante para un efectivo servicio al cliente con un mínimo de costo organizacional: el programa maestro. Toda organización cuenta con al menos uno, sin importar lo grande o pequeña que sea o si se trata de una empresa de servicios o de manufactura. Para algunas organizaciones el programa maestro es bastante

informal e incluso no podría llamársele programa, pero aun así existe. Este capítulo presenta los principios de la programación maestra en el entorno más formal de programación maestra que generalmente es representado por grandes empresas de manufactura. Si estos conceptos se comprenden bien, entonces será relativamente fácil trasladarlos a métodos menos formales utilizados regularmente por empresas más pequeñas, especialmente empresas de servicios.

REFERENCIAS

- | | |
|---|---|
| <p>Fogarty, D. W., J.H. Blackstone Jr. y T.R. Hoffmann. <i>Production and Inventory Management</i>. Cincinnati, OH: South Western, 1991.</p> <p>Proud J.F. <i>Master Scheduling</i>. Essex Junction, VT: Oliver Wight Publications, 1994.</p> | <p>Vollmann, T.E., W.L. Berry y D.C. Whyback, <i>Manufacturing Planning and Control Systems</i>. New York: Irwin McGraw-Hill, 1997.</p> |
|---|---|

PREGUNTAS DE ANÁLISIS Y PROBLEMAS

1. El producto A es un producto ATO. Cuenta con un tamaño de lote de 150 y actualmente posee un inventario disponible de 110 unidades. Existe una barrera de tiempo de demanda de 2 semanas y una barrera de tiempo de planeación de 12 semanas. La siguiente tabla presenta el pronóstico original y los pedidos reales de los clientes para 12 semanas:

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pronóstico	80	80	80	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Demanda	83	78	65	61	49	51	34	17	11	7	0	0

- Dada esta información desarrolle un programa maestro realista, completo con lógica DPP.
 - Indique como respondería a cada una de las siguientes solicitudes de pedidos de clientes. Suponga que son solicitudes independientes y que no tienen efectos acumulativos. También muestre cómo se vería el programa maestro si el pedido se aceptara:
 - 20 unidades en la semana 3
 - 40 unidades en la semana 5
 - 120 unidades en la semana 7
2. Suponga que un programador maestro continuamente observa que existe una inadecuada capacidad para producir el producto que la empresa requiere para satisfacer la demanda de los clientes. ¿Qué acciones debería tomar y por qué?
3. ¿Cuál es la diferencia entre los planes de ventas y operaciones, y los programas maestros para operaciones de sólo servicios en oposición a operaciones de manufactura? ¿Cuáles son las principales causas de las diferencias?
4. Describa con sus propias palabras por qué el horizonte de tiempo mínimo para un programa maestro debe ser mayor que el tiempo de ensamble del producto final.
5. a. Dado el siguiente programa maestro, complete los renglones de disponible proyectado y disponible para promesa:

Disponible: 35 Barrera de tiempo de planeación: 10 Tamaño de lote: 200
 Barrera de tiempo de demanda: 2

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pronóstico	30	40	40	50	40	40	30	40	40	50	40	40
Pedidos de clientes	31	35	29	21	17	14	33	11	5	2	0	1
Disponible proyectado												
Disponible para promesa												
PMP		200				200						

- Un cliente desea un pedido de 100 en el periodo 4. ¿Qué le podría decir?
 - El cliente del punto (b) cancela su solicitud, pero luego indica que desea 120 unidades en el periodo 5. ¿Qué le podría decir?
 - El departamento de ventas solicita que le añada un PMP de 200 en el periodo 9 para cubrir sus necesidades para una promoción de ventas. ¿Qué le puede indicar y por qué?
 - ¿Qué acción debería emprenderse en el periodo 11? ¿Por qué es correcto emprender la acción?
6. Evalúe y analice los siguientes comentarios que se escucharon por casualidad.
- “Los gerentes de operaciones tienen muy poco que ver con la demanda de los clientes con excepción de ingresar los pedidos en el programa maestro”.

- b. “El principal propósito del programa maestro de dos niveles es reducir el tiempo que toma generar la información de PMP”.
7. Complete el siguiente programa maestro con las secciones de disponible proyectado y disponible para promesa, luego conteste las preguntas:

Barrera de tiempo de demanda = 3 Barrera de tiempo de planeación = 10 Disponible = 46

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pronóstico	20	25	20	30	30	20	20	25	25	20	20	30
Pedidos de Clientes	21	22	24	20	17	21	17	12	9	11	4	2
Disponible proyectado												
DPP												
PMP			50		50		50		50		50	

- a. ¿Existe algo en el programa maestro digno de preocupación? ¿Por qué y qué debería hacerse?
- b. Un cliente desea ocho unidades en el periodo 4. ¿Qué se debería indicar y por qué?
- c. Una vez que atienda al cliente que desea las ocho unidades en el periodo 4, otro cliente desea 16 en el periodo 5. ¿Qué le puede indicar y por qué?
- d. Suponga que el pronóstico para el periodo 12 se incrementa de 30 a 75 unidades debido a una posible campaña de marketing. ¿Qué debería hacer y por qué?
- e. El departamento de ventas informa que desean añadir un PMP de 50 unidades en el periodo 8 para una promoción de ventas. ¿Qué les debería decir y por qué?
8. El siguiente es un PMP para el artículo J con Opción 1

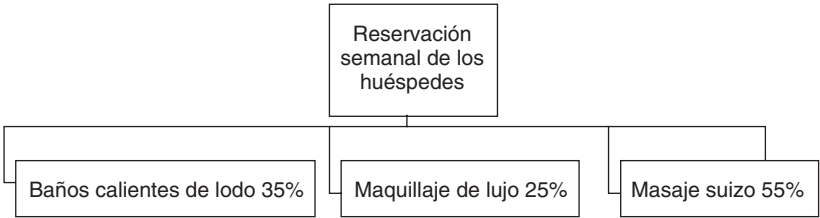
Artículo J					Inventario Inicial: 0				
	Enero *****				Febrero *****				Marzo
Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pronóstico	1800	1800	1800	1800	1750	1750	1750	1750	1400
Pedidos comprometidos	1000	1000	1000	0	0	0	1000	0	0
Disponible proyectado									
DPP									
PEF	4000		4000		3500		3500		3000
Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pronóstico no consumido									

Opción 1	Plan %	50%	Disponible:			500	Tamaño de lote:		lote por lote
Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pronóstico									
Pedidos comprometidos	450	400	550	0	0	0	475	0	0
Disponible proyectado	50								
DPP									
PMP	400	900	900	900	850	850	850	850	700

- a. Complete los cálculos de disponible proyectado y DPP para el artículo final que se muestra.
- b. Calcule el pronóstico no consumido para el artículo final, Artículo J.
- c. Complete los cálculos de disponible proyectado y DPP para la opción 1.
9. La empresa *Chester's Chippers* fabrica palos de golf de gran tamaño. El presidente de la compañía le ha solicitado demostrarle la forma como se pueden aplicar las técnicas de programación maestra a su negocio. Usted cuenta con la siguiente información:
- a. El inventario al inicio del mes de abril se espera que sea de 50 palos.
- b. La demanda total mensual pronosticada para abril y mayo es de 800 y 1,000 respectivamente. Se espera que la demanda se distribuya de forma uniforme a lo largo del mes.
- c. La compañía fabrica sólo la cantidad de palos necesaria para cumplir con la demanda pronosticada para cada mes. Estos palos estarán listos para venderse en la primera semana de cada mes.
- d. La compañía ya cuenta con pedidos comprometidos según lo siguiente:
- | | | | |
|-------------------|-----|------------------|-----|
| 1er semana, abril | 220 | 1er semana, mayo | 240 |
| 2da semana | 215 | 2da semana | 230 |
| 3er semana | 210 | 3er semana | 180 |
| 4ta semana | 205 | 4ta semana | 150 |
- e. Complete el DPP siguiente.

Inventario disponible al inicio de								
Mes	***** Abril				***** Mayo			
Semana								
Demanda pronosticada								
Pedidos comprometidos								
Disponible proyectado								
Inventario								
Programa maestro								
Disponible para promesa								

- f. ¿La compañía se encuentra en problemas? Explique
10. El *Hotel Yodel* es un hotel de cuatro estrellas localizado en Asheville, Carolina del Norte. Los huéspedes reservan las habitaciones por una semana a la vez. Muchos de los clientes también desean realizar reservaciones para servicios con costo adicional al mismo tiempo. De esta forma, una reservación semanal puede considerarse como un producto tipo “ensamblado bajo pedido”.
- El gerente del hotel desea crear un sistema que le permita a los clientes reservar los servicios de costo adicional cuando realizan una reservación semanal. Gracias a su consejo, el gerente del hotel creó una súper lista que describe cuántos clientes eligieron los servicios de costo adicional, con base en la demanda anterior:



11. Configure el programa maestro de dos niveles para las reservaciones semanales de los huéspedes. Suponga la siguiente información:
 - a. El número de baños calientes de lodo que puede programarse por semana está limitado a 40.
 - b. El número de maquillajes de lujo semanales está limitado a 30.
 - c. El número de masajes suizos semanales está limitado a 60.
 - d. El número pronosticado de reservaciones por semana es de 100.
 - e. Yodel cuenta con suficientes habitaciones para aceptar 120 reservaciones por semana.
 - f. Hasta el día de hoy, no existen “pedidos comprometidos” para enero.

CAPÍTULO 5

Administración de inventarios

Esquema del capítulo

- 5.1 Conceptos básicos de administración de inventarios
- 5.2 Categorías de inventarios
- 5.3 El modelo básico de ajuste del lote de inventario. Cantidad Económica de Pedido (CEP)
- 5.4 Modelos básicos de reabastecimiento de inventarios independientes de la demanda
- 5.5 Control de inventarios

Introducción— En la actualidad, la administración de inventarios es uno de los retos más importantes que enfrentan los directivos en cuestión de planificación y control, sobre todo en empresas de manufactura. Aunque técnicamente los inventarios constituyen un activo en el balance general de la compañía, casi todos los ejecutivos contables o financieros consideran que mantenerlos implica un gasto significativo, y que su misión es minimizarlo lo más posible. Incluso las organizaciones de servicios cuentan con cierto inventario; por otro lado, en las operaciones al detalle se observa que la administración del inventario juega un papel clave para dirigir el negocio con efectividad. El objetivo de mantener una baja inversión en inventarios suele contradecir la forma de pensar de buena parte del personal de ventas y marketing, a quienes casi siempre les importa que la empresa cuente con un inventario considerable para poder atender rápidamente las solicitudes de los clientes.

Este capítulo se centra en algunos de los principales aspectos de control que enfrentan las organizaciones al mantener inventarios. Aunque a lo largo del mismo se analiza el concepto básico del ajuste de tamaño del lote, no se revisan a detalle muchas de las reglas —desarrolladas por numerosos investigadores durante años— en que éste se basa; en lugar de ello nos concentraremos en los factores de control que es necesario comprender para lograr una administración efectiva del inventario.

5.1 CONCEPTOS BÁSICOS DE ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS

Hay dos importantes conceptos que deben comprenderse claramente si la empresa desea contar con una perspectiva apropiada sobre la administración de inventarios.

El primero de ellos es que gran parte del inventario de la empresa en realidad es *capacidad almacenada*. En otras palabras, buena parte del inventario representa el uso de la capacidad de la empresa para crear un producto con anticipación a la demanda real por el mismo. Esta idea constituye uno de los principales factores que marcan la diferencia entre una empresa dedicada exclusivamente a los servicios y una compañía de manufactura. La empresa de servicios promedio no puede darse el lujo de planificar y utilizar la capacidad con anticipación a la demanda; en lugar de ello se ve forzada a emplear la capacidad sólo después de que se genera la demanda.

El segundo concepto es que el inventario pocas veces representa un problema para la compañía, a pesar del hecho de que con frecuencia se menciona que “uno de nuestros problemas es que contamos con demasiado inventario”. En casi todas las empresas, *el inventario es un síntoma de la forma en que se dirige el negocio*. Aunque el inventario suele considerarse un problema, no es tal; se trata únicamente de un síntoma, aunque bastante visible y costoso, en muchos casos. Si realmente se desea controlar el inventario, es necesario analizar los métodos directivos del negocio para discernir cuáles de ellos ocasionan la presencia de grandes inventarios. Al menos una parte de este capítulo se destinará a explicar estas relaciones y, en capítulos posteriores, se señalarán métodos para controlarlas de manera más efectiva.

Al hablar de inventarios, muchas personas piensan sólo en un acervo de bienes físicos, aunque éste no tiene por qué ser siempre el caso. Un ejemplo ilustrará esta afirmación. Las empresas de servicios contables emplean contadores públicos certificados, muy capacitados y valiosos. La dirección sabe que no debe despedir personal, a menos que esté dispuesta a correr el riesgo de perder fuerza laboral capacitada (algo indeseable). Sin embargo, la demanda de servicios tiende a ser altamente estacional, mostrando su punto más elevado en la “temporada fiscal” (de enero a abril en Estados Unidos y varias otras naciones, como México). En el caso de muchas empresas, el personal contable trabaja más horas en la temporada fiscal y menos tiempo en los meses de verano. Algunas compañías, por lo tanto, “ahorran” el tiempo adicional que se utiliza durante la temporada fiscal en un “banco” de horas, en lugar de pagar a los contadores el tiempo extra (vea el ejemplo 3.1). Las horas acumuladas en este banco podrán utilizarse durante el verano, cuando la demanda de los servicios de estos profesionales disminuye, permitiendo que el personal contable cuente con amplios periodos vacacionales. De cierto modo, estas horas realmente constituyen un inventario, ya que representan el uso de capacidad con anticipación a la demanda. La capacidad se emplea de enero a abril para responder a la demanda, lo que permite disfrutar de tiempo vacacional posteriormente, en el verano.

EJEMPLO ANECDÓTICO (HISTORIA REAL)

Hace poco un gerente de planificación y control de la producción expuso un ejemplo basado en sus primeras experiencias en el ramo, antes de que comprendiera cabalmente que el inventario es un síntoma de cómo se dirige el negocio. La compañía para la que trabajaba sufrió un declive en las ventas. Preocupado por la rentabilidad, el director general de

la empresa solicitó al gerente de planificación y control de la producción que recortara 15% el inventario, buscando ajustar los gastos correspondientes al nivel de ventas, que ahora era menor.

El gerente de planificación y control de la producción hizo lo que le pidieron, aunque no entendía bien la relación entre los métodos directivos y el inventario. Simplemente redujo el nivel de inventarios sin realizar modificación alguna en los procesos de negocio. Cerca de tres meses después de la solicitud, el gerente de planificación y control de la producción coincidió nuevamente con el director general. La conversación se desarrolló de este modo:

DIRECTOR GENERAL: “¿Qué has hecho con mi taller de manufactura?”

GERENTE DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL: “¿A qué te refieres?”

DIRECTOR GENERAL: “Tenemos todo tipo de problemas nuevos: muchos envíos por flete de primera de los proveedores, como respuesta a desabastos de toda clase de partes, ejecución frecuente de lotes segmentados en el equipo —lo cual está incrementado drásticamente nuestros costos de configuración—, una fuerte disminución en la eficiencia de la mano de obra y otras dificultades similares. ¿Qué **has estado** haciendo?”

GERENTE DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL: “Me deshice de 15% del inventario.”

DIRECTOR GENERAL: “Bueno, ¡entonces **REGRÉSALO!**”

El problema es que el gerente de planificación y control enfocó sus esfuerzos en el inventario como si fuera la fuente de todas las dificultades, sin reconocer que éste es en realidad un síntoma. Lo primero que debió haber hecho fue “corregir” el sistema.

Manteniendo estos dos puntos en mente, es necesario analizar los motivos por los que se presenta el inventario antes de poder comprender realmente cómo administrarlo. Desde el punto de vista de alguien con poca experiencia, el inventario es sólo eso: inventario (“cosas” inmovilizadas en un almacén); para el contador es costo y dinero inmovilizado; para el vendedor es una oportunidad. Sin embargo, para un experto de planificación y control será un síntoma de cómo está diseñado el negocio y de qué manera se le dirige. Una vez que entendamos **POR QUÉ** existe el inventario (considerándolo un síntoma), podremos comprender mejor **CÓMO** administrarlo y controlarlo apropiadamente. Muchos de los motivos por lo que existen los inventarios cuentan con nombres categóricos relacionados con varios aspectos, como políticas de la compañía, flexibilidades, diseños, capacidad de respuesta al cliente y factores estacionales. En la siguiente sección se presentan descripciones específicas de tales aspectos.

5.2 CATEGORÍAS DE INVENTARIOS

La primera categoría en que podemos dividir los inventarios se basa en la *fuentes de la demanda*. Básicamente hay dos maneras de clasificar el inventario de acuerdo con este parámetro:

- **Inventario de demanda independiente.** En este caso el origen de la demanda generalmente se da en fuentes ajenas a la propia compañía, representadas casi siempre por un cliente externo. Se denomina independiente en razón de que la demanda del inventario básicamente no está sujeta a las acciones de la empresa.

En muchos casos tal inventario está conformado por productos finales, es decir, artículos terminados y listos para la venta.

- **Inventario de demanda dependiente.** La fuente del inventario de demanda dependiente está directamente subordinada a decisiones internas de la compañía, sobre todo por lo que respecta a la decisión de qué producto fabricar, en qué cantidad y en qué momento. En este sentido es preciso señalar que podría considerarse una respuesta directa a los requerimientos de los clientes, pero de hecho muchas empresas pueden tomar decisiones de producción en momentos y volúmenes diferentes de lo que representa la demanda externa de los clientes. Desde este punto de vista el inventario vuelve a su definición original: capacidad almacenada.

Un ejemplo puede aclarar la diferencia. Suponga que la compañía fabrica sillas. La demanda de sillas terminadas proviene de clientes externos, y puede considerársele demanda independiente. Por otro lado, la demanda de las partes para fabricarlas (asientos, respaldos y patas) es dependiente de la decisión interna respecto de cuántas sillas fabricar y cuándo hacerlo.

Comprender la diferencia entre inventario independiente y dependiente es muy importante para la planificación y el control de la producción. Los métodos y sistemas utilizados para planificar y controlar el inventario independiente son muy diferentes de los que se emplean para el inventario dependiente, y generan sistemas que también son muy distintos entre sí. Incluso el método para calcular la demanda en cada caso es diferente. La demanda independiente casi siempre se pronostica y determina mediante el ingreso de pedidos de ventas. La demanda dependiente, por otro lado, puede calcularse con base en el programa que indica qué fabricar y cuándo hacerlo.

La segunda categoría de la división se basa en la *posición del inventario en el proceso*. En este sentido existen cuatro subcategorías generales:

- La **materia prima** constituye el inventario que debe adquirirse para utilizarlo en el proceso de producción, y que no tiene un valor añadido por el proceso de producción de la compañía.
- El **trabajo en proceso (TEP)** representa el inventario que ya ha recibido algún valor agregado, pero que todavía debe sufrir un procesamiento adicional antes de poder utilizarlo para atender la demanda de los clientes.
- Los **bienes terminados** representan el inventario de aquellos productos que han pasado ya por todo el procesamiento de parte de la empresa. Por lo general dicho inventario se encuentra listo (con la posible excepción del empaque) para atender con él la demanda de los clientes.
- El inventario de **mantenimiento, reparación y operaciones (MRO)** es el acervo de material que se utiliza para dar apoyo a los procesos productivos y de negocio de la empresa, pero por lo general no está destinado a la venta directa al público. Se compone de partes de repuesto, aceite para maquinaria, suministros de limpieza, suministros de oficina, etcétera.

La tercera y última categoría es la que se basa en la *función o uso del inventario dentro del proceso*. Las subcategorías más comunes en este caso incluyen:

- **Inventario de tránsito**, que es el acervo de material en movimiento de una actividad a otra. Su forma más común es el inventario que está en el sistema de transportación en un momento dado.

- **Inventario de ciclo** es aquel que se presenta cuando en determinado periodo la tasa de reabastecimiento es superior a la demanda, situación que suele darse debido a los costos de pedido, costos de configuración o consideraciones de empaque. Un ejemplo para ilustrar: suponga que una tienda de suministros para oficina vende en promedio más o menos 10 bolígrafos de cierto tipo cada día. Cuando el almacén solicita reabastecimiento a su distribuidor, resulta que éste sólo puede enviar los bolígrafos en paquetes de 500. Cuando llega el pedido, el inventario consta de 500 bolígrafos (suponiendo que no queda ninguno del suministro anterior). Al siguiente día habrá aproximadamente 490, al otro 480, y así sucesivamente. A lo largo de los 50 días posteriores, las unidades remanentes en inventario a partir del paquete de 500 que se recibió originalmente constituyen el inventario de ciclo.
- El **inventario de almacenamiento temporal**, también denominado **inventario de seguridad**, es el acervo que se mantiene “por si acaso”. En una empresa pueden presentarse diversas situaciones que afectan el flujo normal de trabajo dentro de la operación. Es posible que los trabajadores se ausenten, que los proveedores retrasen la entrega de pedidos o se equivoquen de productos, que ocurran problemas respecto de la calidad, que las máquinas se descompongan, etcétera. El inventario que se mantiene explícitamente para proteger la organización ante la posibilidad de que se dé uno o varios de estos problemas se denomina inventario de almacenamiento temporal, o inventario de seguridad.
- El **inventario de anticipación** es aquel que se acumula con el propósito de anticiparse a un exceso de demanda respecto de la producción normal. Los dos objetivos que se intenta lograr con este tipo de inventario son: dar cabida a una demanda estacional, o contar con material suficiente para que la operación de marketing haga promociones. Durante los periodos de baja demanda casi siempre se da una acumulación de inventario de aquellos productos que cuentan con alta demanda estacional; esto se hace con el objetivo de atender la demanda de los clientes durante la temporada pico. Además, si el grupo de marketing planea una promoción especial o la campaña de venta de cierto producto, la demanda puede (si el programa es exitoso) incrementarse de manera significativa. Muchas empresas han aprendido por el camino difícil que planificar una promoción sin contar con un inventario apropiado para satisfacer la demanda generada puede ser bastante dañino para las relaciones con los clientes.
- El **inventario de desacople** es el que se ubica a propósito entre las operaciones para permitirles funcionar de manera independiente entre sí. Una vez más, esta función se ilustra mejor mediante un ejemplo. Suponga que tenemos dos operaciones, A y B. La operación B utiliza el producto resultante de la operación A. la capacidad de A es de 90 unidades por hora, mientras que la capacidad de B es de 100 unidades por hora (vea la figura 5.1).

FIGURA 5.1 Operaciones vinculadas con distintas tasas de producción

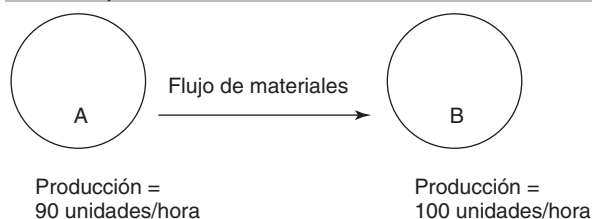
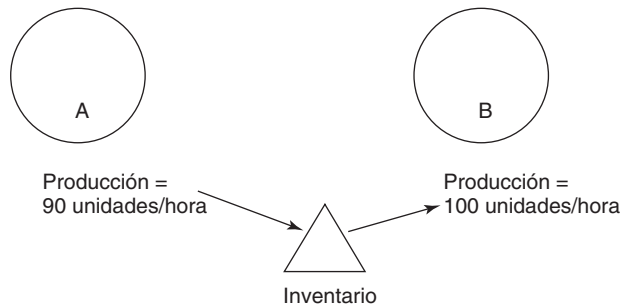


FIGURA 5.2 Operaciones A y B desacopladas

En esta situación el problema se presenta cuando la efectividad de los operadores y sus procesos se mide por medio de los parámetros tradicionales empleados en muchas empresas de manufactura: eficiencia y utilización. En este caso, el operador encargado de la operación B dedica 10% de su tiempo en esperar la producción resultante de la operación A, lo que impacta de manera negativa la eficiencia de la operación (y esta baja eficiencia está completamente fuera de su control). Si la empresa desea maximizar la eficiencia de todas sus operaciones, podrían alterar la situación para que se asemejara a la situación que se ilustra en la figura 5.2.

En el segundo escenario (figura 5.2), el inventario ubicado entre las operaciones (inventario de desacoplamiento) sirve para permitir que cada operación trabaje de manera más independiente respecto de la otra. La operación A puede echarse a andar sin que el operador se preocupe de la operación B: lo único que tiene que hacer es colocar su producción en el inventario. Por su parte, la operación B puede trabajar eficientemente, utilizando las unidades del inventario en lugar de esperar la producción de la operación A. Aunque tal vez la operación A tenga que trabajar más horas que la operación B —dado que B utiliza el inventario más rápido que lo que A puede reemplazarlo—, ambas operaciones pueden ser más independientes entre sí. En este sentido es preciso hacer hincapié en un hecho importante en este análisis, ya que podría tener impacto en capítulos posteriores: *cualquier inventario dentro del sistema, sin importar el motivo de su existencia, puede funcionar como un inventario de desacoplamiento, incluso si ésta no es su intención original.*

5.3 EL MODELO BÁSICO DE AJUSTE DEL LOTE DE INVENTARIO. CANTIDAD ECONÓMICA DE PEDIDO (CEP)

El modelo conocido como Cantidad Económica de Pedido (CEP) intenta encontrar un equilibrio entre los costos de tener inventario y los costos de no tenerlo, ya que su objetivo general es *minimizar el costo TOTAL*. La siguiente lista presenta algunos de los costos más importantes de tener inventario o carecer de él:

COSTOS DE CONTAR CON INVENTARIO:

- Almacenamiento, es decir, los gastos de tener un almacén o depósito (en algunos casos no se incluye en el costo total, ya que puede ser considerado un costo fijo para la operación).

- Seguros.
- Impuestos.
- Costo de capital: aun cuando la compañía utilice sus propios recursos para financiar el inventario (en lugar de solicitar préstamos para sufragar la adquisición del mismo), existe el costo de oportunidad, ya que el dinero empleado para adquirir el inventario se encuentra comprometido y no puede utilizarse de otras maneras que pudieran generar un rendimiento.
- Obsolescencia.
- Descomposición: incluso si el inventario cuenta con una larga vida de anaquel, puede sufrir oxidación, dañarse o ensuciarse al desplazarlo.
- Costo de control de inventario: sin importar si el inventario tiene material o no, por lo general existe un personal y un sistema responsables de su control, todo lo cual representa un costo.
- Reducción: esta situación se presenta cuando el inventario “desaparece” por algún motivo. Aunque ciertamente la producción puede extraviarse o ser especificada de manera incorrecta en el sistema de base de datos del inventario, en algunas compañías el motivo de la reducción es el robo. Si se instalan sistemas de seguridad para reducir o eliminar el robo, éstos también representarán un costo, y lo mismo ocurrirá con cualquier otra medida que se implemente para disminuir formas distintas de reducción.

COSTOS DE NO CONTAR CON INVENTARIO

- Desabasto (y el consiguiente mal servicio al cliente)
- Procesamiento excesivo (relacionado con la necesidad de generar pequeñas cantidades de producto para atender una demanda inesperada)
- Pedidos en espera (los costos asociados con la documentación de la necesidad y, finalmente, con el cierre del pedido en un momento posterior, cuando el material esté disponible)
- Problemas respecto de la tasa de producción (resulta difícil tener buenas tasas de producción sin un inventario apropiado con el cual trabajar)
- Subutilización de las instalaciones
- Costos de agilización para reducir el tiempo normal de producción

El modelo básico conocido como **Cantidad Económica de Pedido** (CEP) intenta equilibrar los dos costos fundamentales asociados con el inventario: el costo de pedido y el costo de mantenimiento de inventario. El costo de pedido casi siempre se presenta en forma de costo de procesamiento si el material es fabricado, pero también puede referirse al costo de realizar una orden de compra si el material en cuestión se adquiere de un proveedor externo. El costo de mantener inventario es una combinación de todos los costos enumerados arriba, incluyendo el costo de capital, el cual suele constituir el elemento más grande del total. El costo de mantener inventario casi siempre se expresa como un porcentaje anual sobre el costo real del artículo. En muchos casos, la fórmula que se emplea para calcular el costo total es:

$$CT = DC + \frac{Q}{2}H + \frac{D}{Q}S$$

Donde

- CT es el costo total anual
- D es la demanda anual
- C es el costo por artículo
- Q es la cantidad solicitada por pedido
- H es el costo anual —en unidades monetarias— en que se incurre por mantener inventario (donde H es el costo por artículo, C, multiplicado por el porcentaje del costo anual de mantener inventario, i)
- S es el costo de pedido (el costo de realizar una orden de compra si el material se adquiere, o el costo de procesamiento por lote si se le fabrica).

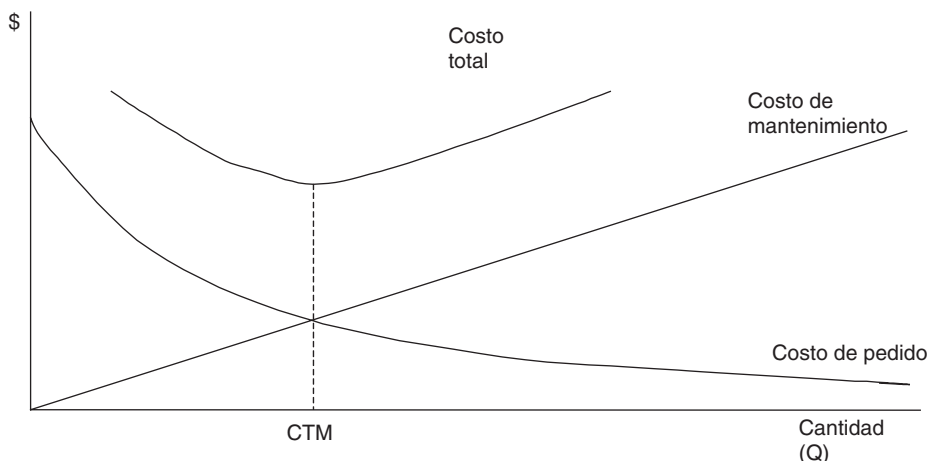
Además del costo del artículo (DC), los otros dos costos principales son fáciles de explicar. El término $Q/2$ es el inventario promedio, bajo el supuesto de una demanda relativamente constante (uno de los supuestos más importantes del modelo que se explicará más adelante). Si “Q” artículos conforman el tamaño del lote, habiendo demanda constante Q será el inventario máximo, y cero el mínimo. Dado que la demanda es constante, el promedio entre Q y 0 es $Q/2$. Si $Q/2$ es el inventario promedio y H es el costo monetario de mantener inventario, $Q/2$ multiplicado por H será el costo de mantenimiento anual de todo el inventario.

El costo de pedido también es sencillo de explicar. Si la demanda anual es D y la cantidad solicitada por pedido es Q, D/Q representará la cantidad de pedidos que se realiza por año. Al multiplicar esto por S (el costo unitario de pedido), obtendremos el costo anual de realizar todos los pedidos.

Una gráfica en cuyo trazo se tomaran en cuenta ambos costos (costo de mantenimiento de inventario y costo de pedido) dependientes de la cantidad, se vería como la que se ilustra en la figura 5.3.

La fórmula para determinar la cantidad económica de pedido se obtiene utilizando cálculo diferencial. Dado que la línea de costo total es una curva convexa, podemos decir que cuenta con un mínimo relativo. Tomando la primera derivada de la fórmula para calcular el costo total respecto de Q, igualándola a cero y resolviendo para Q, obtenemos la fórmula para determinar el costo total mínimo (CEP), que es:

FIGURA 5.3 Curvas básicas de los costos de inventario



$$CTM = \sqrt{\frac{2DS}{H}}$$

Una de las principales desventajas de este modelo es que supone condiciones prácticamente perfectas, lo cual casi nunca se cumple. Algunos de los supuestos clave son:

- Que la demanda es constante y uniforme
- Que el tiempo de espera es constante
- Que el precio por unidad es constante
- Que el costo de mantener el inventario se basa en el inventario promedio
- Que los costos del pedido y de inicio del procedimiento son constantes
- Que no se permiten pedidos en espera

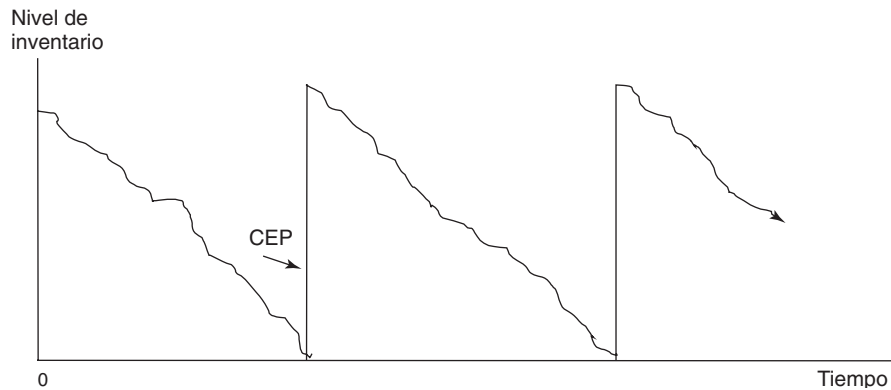
Si estas condiciones rara vez se cumplen (y ése es el caso), podríamos preguntarnos ¿por qué este modelo se utiliza (o al menos se menciona) tanto? Hay dos motivos importantes para ello. El primero es que casi todos los modelos de administración de inventarios se basan —por lo menos en parte— en los conceptos de la CEP. Cuando uno o varios de los supuestos básicos que simplifican el modelo se relajan, de hecho se desarrollan muchos de los modelos más complejos. El segundo motivo es que, al encontrarse relativamente cerca de la CEP, la curva de costo total resulta bastante “plana”, lo que significa que es posible sustituir la cantidad económica “verdadera” por otra que sea razonable, antes de incurrir en costos significativamente más altos. Otro modo de decir esto es que tanto la fórmula como el concepto de CEP son bastante sólidos.

5.4 MODELOS BÁSICOS DE REABASTECIMIENTO DE INVENTARIOS INDEPENDIENTES DE LA DEMANDA

Los modelos de reabastecimiento de inventarios independientes de la demanda pueden dividirse en dos categorías básicas: modelos basados en cantidad y modelos basados en tiempo.

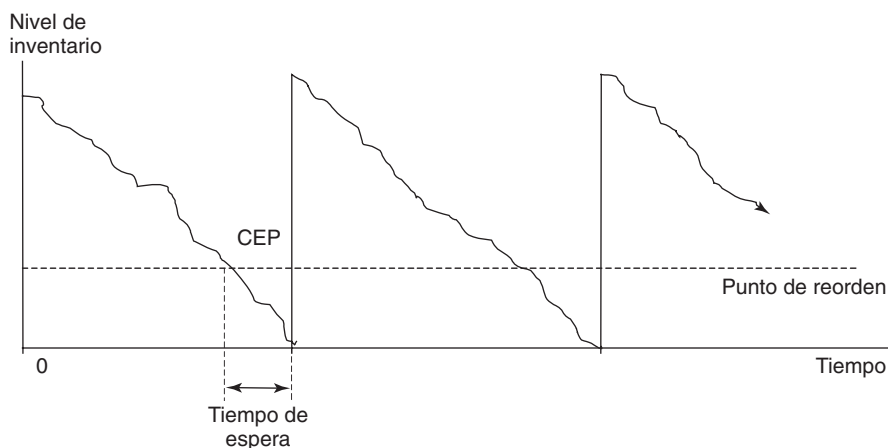
Los *modelos de inventario basados en cantidad (bajo revisión continua)* dan por sentada la supervisión permanente de la situación del inventario, de manera que el sistema de control pudiera emplearse en cualquier momento para saber con exactitud cuáles son las condiciones del mismo. Dado que estos modelos se utilizan para condiciones independientes de la demanda, el supuesto básico es que ésta es relativamente uniforme a lo largo del tiempo, lo que produce el patrón clásico de “diente de sierra” de la demanda en función del tiempo, como se observa en la figura 5.4.

El diagrama de la figura 5.4 muestra también la utilización gradual del inventario hasta agotarlo. En este punto se le reabastece con una cantidad igual a la CEP. En este análisis se observa de inmediato una condición no realista: el modelo supone que cuando el inventario se agota por completo es posible reabastecerlo de inmediato. Por supuesto, en la práctica esto es prácticamente imposible. El reabastecimiento requiere tiempo, sin importar de dónde provenga el material, ya sea de una fuente interna (vía

FIGURA 5.4 Patrones típicos de cantidades en inventarios independientes de la demanda a lo largo del tiempo

producción), o de un proveedor externo. El tiempo necesario para realizar el reabastecimiento se denomina **tiempo de espera para reabastecimiento**.

Tomando en cuenta este tiempo de espera para reabastecimiento, resulta evidente la necesidad de levantar el pedido para resurtir el inventario antes de alcanzar el punto cero. Pero, ¿cuánto tiempo antes? El motivo por el que este modelo forma parte de la categoría basada en cantidad, radica en que la decisión de reabastecer se toma cuando todavía se cuenta con cierta cantidad de producto en el inventario. Tal cantidad se denomina punto de reorden, y está determinada por el nivel de inventario necesario para cubrir la demanda mientras se da el reabastecimiento. Por ejemplo, suponga que nuestros clientes compran un promedio de cinco unidades de cierto artículo por día. Imagine también que el proveedor de dicho artículo tarda 10 días en reabastecer el inventario una vez que se le hace la solicitud. Bajo estas condiciones, necesitaremos tener 50 unidades en inventario cuando hagamos el pedido al proveedor, o no tendremos suficiente producto para cubrir la demanda de los clientes en tanto se realiza el reabastecimiento.

FIGURA 5.5 Determinación del punto de reorden

La fórmula para calcular el punto de reorden es bastante simple:

$$R = \bar{d}L$$

Donde R es el punto de reorden, $\bar{d}$ es la demanda diaria promedio, y L es el tiempo de espera, en días. Es posible utilizar la misma fórmula sin importar el tipo de unidad de tiempo de espera que se emplee, siempre y cuando la unidad de tiempo para la demanda promedio sea igual.

Un problema común que muchas personas identifican rápidamente en este modelo, es que pueden presentarse varios factores que afecten las condiciones establecidas. De estos factores, los dos que se presentan con más frecuencia son: que el proveedor se retrase al reabastecer el inventario y/o que la demanda del artículo exceda las expectativas durante el tiempo de espera para el reabastecimiento. Cualquiera de estas condiciones puede ocasionar desabasto, lo cual representa —evidentemente— un problema potencial para el mantenimiento de un buen servicio al cliente.

El método para manejar los aspectos de servicio al cliente dentro de un ambiente de incertidumbre como éste consiste en mantener un inventario de seguridad (o de almacenamiento temporal). La cantidad de producto que debe conformar el inventario de seguridad depende, en general, de dos aspectos. El primero es la desviación estándar de la demanda durante el tiempo de espera, y el segundo es el nivel de servicio al cliente que se desea lograr. La desviación estándar puede calcularse a partir de la experiencia, pero el nivel de servicio al cliente es determinado por la dirección de la empresa, casi siempre con base en la probabilidad de atender la demanda del cliente durante el ciclo de pedidos. El inventario de seguridad estándar supone una distribución normal de la demanda durante el tiempo de espera, y se calcula mediante la fórmula general:

$$IS = z\sigma_L$$

Donde IS es el inventario de seguridad, z es la marca estadística z correspondiente al nivel de servicio al cliente establecido y σ_L es la desviación estándar de la demanda durante el tiempo de espera. Algunos valores típicos para z son:

Nivel de servicio al cliente de 90%, $z = 1.29$

Nivel de servicio al cliente de 95%, $z = 1.65$

Nivel de servicio al cliente de 99%, $z = 2.33$

Evidentemente, entre más alto sea el nivel de servicio al cliente que se desea lograr, mayor será el inventario de seguridad para cualquier variación en la demanda durante el tiempo de espera.

En ocasiones la variación (desviación estándar) de la demanda está dada para un periodo diferente al tiempo de espera. En tales casos debe realizarse un cálculo adicional para determinar la desviación estándar durante el tiempo de espera. Suponga, por ejemplo, que el tiempo de espera está dado en días y la desviación estándar de la demanda se obtiene para un solo día. En tal caso, la desviación estándar de la demanda durante el tiempo de espera σ_L se obtendría mediante la fórmula:

$$\sigma_L = \sigma_d \sqrt{TE}$$

donde σ_d es la desviación estándar de la demanda para un día y TE es el tiempo de espera, en días. Esto también funciona en el caso de semanas, meses o cualquier otro periodo, siempre y cuando el tiempo de espera se exprese en las MISMAS unidades que la desviación estándar de la demanda durante el tiempo de espera.

Cuando se combinan el punto de reorden típico y el inventario de seguridad, se obtiene una nueva fórmula para calcular el punto de reorden:

$$R = \bar{d}L + z\sigma_L$$

Como se estableció anteriormente, es preciso tomar en cuenta que el modelo todavía se basa en varios supuestos de simplificación, entre ellos el de contar con un tiempo de espera de reabastecimiento conocido y fijo, tener control total sobre la calidad del material recibido y disponer de la capacidad para reabastecer la cantidad CEP completa en un solo paso. Se han desarrollado otros modelos de administración de inventarios para manejar éstas y otras condiciones supuestas, pero se encuentran fuera del alcance de este libro. Sin importar estos supuestos de simplificación, siempre se debe tener presente que el modelo es lo bastante sólido para lograr una aproximación razonable de la mejor cantidad de reabastecimiento, incluso bajo condiciones de estabilidad que no sean las ideales.

Veamos ahora mediante un ejemplo sencillo cómo se integran estos conceptos:

EJEMPLO

Cierto artículo, al que denominaremos A, se vende en un almacén de rebajas, XYZ. El artículo cuenta con una demanda semanal promedio de 50 unidades, y una desviación estándar de seis unidades respecto de la demanda cada semana. El proveedor ha anunciado al almacén que necesita un tiempo de espera de 3 semanas para reabastecer el inventario de A, siendo \$12 el precio unitario del producto. XYZ calcula que incurre en un total de \$40 por concepto de costos administrativos cada vez que ordena el producto, y ha determinado que el costo anual de mantener el inventario equivale a 20% del costo del artículo. La dirección de la empresa estableció que le interesa mantener un nivel de servicio al cliente de 95 por ciento. Utilizando esta información y suponiendo que el año cuenta con 52 semanas, desarrolle la política de reabastecimiento de inventario más apropiada.

Solución: Generalmente la política de reabastecimiento de un inventario independiente debe incluir la cantidad a ordenar y el punto de reorden. Comencemos por determinar la cantidad a ordenar; utilizaremos la CEP para ello:

$$CEP = \sqrt{\frac{(52)(50)(40)}{(0.2)(12)}} = 208.17 \text{ o } 208 \text{ unidades}$$

Tenga presente que la CEP suele expresarse como fórmula anualizada, de modo que la demanda semanal de 50 unidades tiene que multiplicarse por 52, el número de semanas por año.

Por su parte, el inventario de seguridad será de:

$$1.65(6)\sqrt{3} = 17.14 \text{ o } 18 \text{ unidades}$$

El punto de reorden total será, por lo tanto, igual a la demanda durante el tiempo de espera $(50)(3) = 150$, más las 18 unidades del inventario de seguridad, es decir, 168 unidades en total. Observe que las 17.14 unidades fueron redondeadas hacia arriba para garantizar un nivel de servicio al cliente de 95%, dadas las condiciones.

La política de inventario más económica será, en consecuencia (bajo las condiciones dadas), ordenar al proveedor 208 unidades cada vez que el nivel de inventario llegue a 168 unidades.

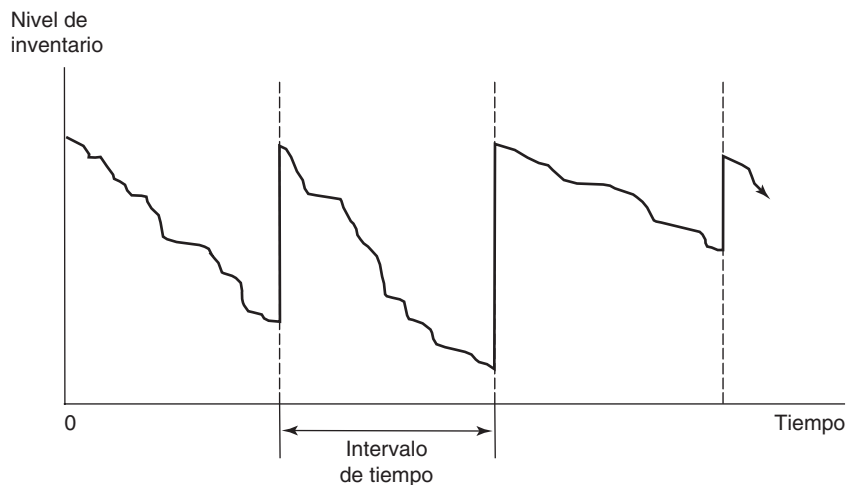
Es necesario hacer hincapié en que la fórmula de la CEP también puede utilizarse para tomar la decisión de aceptar o no el ofrecimiento del proveedor, en cuanto a manejar un precio de descuento por cantidad. Un ejemplo de este análisis se analiza en el capítulo 11, en donde se abordan los aspectos relacionados con las compras de manera más directa.

Los *modelos para administración de inventarios que se basan en el tiempo* tienen la ventaja de que no exigen el mantenimiento perpetuo de un balance de inventarios. Estos modelos simplemente permiten utilizar el inventario sin necesidad de mantener registros actualizados hasta que haya transcurrido cierto tiempo, tras lo cual se cuenta el inventario remanente y luego se determina la cantidad de reabastecimiento apropiada tomando en cuenta, una vez más, el tiempo de espera.

Si damos por sentado que los cálculos de CEP son básicamente correctos, podremos utilizar la CEP para determinar los intervalos de tiempo involucrados. Por ejemplo, si utilizamos un promedio de 2,400 unidades en un año, y la CEP es de 200 unidades, esperaríamos ordenar un promedio de 12 veces por año $(2400/200 = 12)$. Esto significa que el intervalo de tiempo debe equivaler a un pedido por mes. Si la demanda sigue un patrón más o menos constante, el intervalo de tiempo asociado con (D/Q) pedidos por año significará, casi siempre, que la cantidad de pedidos correcta equivaldrá aproximadamente a la CEP.

En la figura 5.6 se muestra un ejemplo del modelo para administración de inventarios basado en el tiempo

FIGURA 5.6 Ejemplo de modelo de inventario basado en el tiempo



En la práctica, el reabastecimiento de inventarios con base en el tiempo se utiliza cada vez menos, siendo dos las razones principales. En primer lugar, el riesgo que implica es mayor. Durante el tiempo que transcurre entre cada revisión del inventario, podría ocurrir que la demanda excediera por mucho el patrón normal. En tal caso sería posible que el inventario se agotara antes de llegar el momento de revisarlo; muchas veces el personal de la compañía ni siquiera se daría cuenta de que existe un problema potencial. Esto podría dar lugar a que se solicitaran niveles más altos de inventario de seguridad, lo cual incrementaría los gastos globales de inventario.

El segundo motivo es que con los nuevos sistemas computacionales y de códigos de barras, la tarea de mantener registros permanentes es cada vez más fácil y económica. Por ejemplo, en muchos de los grandes establecimientos de venta al detalle las cajas registradoras funcionan también como terminales de computadora de punto de venta, lo que permite que el negocio deduzca automáticamente del inventario cualquier artículo vendido al mismo tiempo que genera el recibo del cliente.

5.5 CONTROL DE INVENTARIOS

En los libros de administración de operaciones muchas veces se presta poca atención a los métodos para controlar de manera apropiada el inventario —o simplemente se les ignora—, a pesar de que la administración de este activo sigue constituyendo un factor de enorme importancia para muchos sistemas de planificación y control modernos (como los ERP), sistemas de cómputo altamente integrados que pueden ser muy efectivos y ofrecer grandes beneficios para las compañías que los utilizan adecuadamente. Por desgracia, dichos sistemas también son muy exigentes en cuanto a la precisión y la oportunidad de los datos utilizados para generar la información. Demasiadas compañías obtienen menos beneficios de los que debieran a causa de problemas básicos de control, y el control de inventarios es uno de los más importantes.

¿Qué nivel de precisión es necesario? Es evidente que se trata de una cuestión de opiniones, pero casi todos los profesionales del ramo aceptan que se requiere una precisión permanente muy alta (alrededor del percentil 90) para que los sistemas de planificación y control modernos puedan confiar en la información. Esto depende también de las políticas comerciales básicas de la empresa, por supuesto, pero si se permite que los niveles de precisión caigan por debajo de ese nivel, hallaremos cada vez más escepticismo respecto de la información que genera el sistema. Dos claros síntomas de información imprecisa son el crecimiento de los niveles de inventario (se incrementa “por si acaso” los registros resultarían incorrectos), y el consiguiente aumento de la actividad de agilización cuando se presenta desabasto a pesar de haber confiado en tener inventario suficiente para cubrir las necesidades.

La perspectiva correcta. El primer aspecto que debe comprenderse con claridad es cómo medir la precisión. En ocasiones la situación se ve desde la perspectiva contable, es decir, tomando en cuenta el inventario físico anual. El siguiente ejemplo ilustra el problema potencial que conlleva emplear esta perspectiva. Suponga que una empresa cuenta con cuatro artículos en su inventario (A, B, C y D). La información que se tiene sobre el costo de los artículos y la cantidad de cada uno de ellos en el inventario es la siguiente:

<i>Artículo</i>	<i>Costo</i>	<i>Cantidad</i>
A	\$2	10
B	\$5	4
C	\$1	22
D	\$3	8

El valor total del inventario es \$86, determinado a partir de $[10(\$2) + 4(\$5) + 22(\$1) + 8(\$3)]$. Ahora suponga que se hace un recuento físico del inventario. El conteo real muestra lo siguiente:

REGISTRO

<i>Artículo</i>	<i>Costo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Conteo real</i>
A	\$2	10	15
B	\$5	4	0
C	\$1	22	17
D	\$3	8	13

El valor total del inventario real —con base en el conteo— es \$86, y se determinó, una vez más, mediante $[15(\$2) + 0(\$5) + 17(\$1) + 13(\$3)]$. Desde una perspectiva completamente financiera, la precisión del inventario fue de 100%, ya que los registros mostraron \$86 en inventario y el conteo real confirmó dicha cifra.

Por desgracia, la precisión fue de 0% desde una perspectiva de planificación y control, ya que ninguno de los registros reportó correctamente la cantidad de artículos. Si alguien afirmara que los registros de inventario son correctos, tal vez debería convencer a la persona que realizó el conteo físico de ¡utilizar cuatro unidades del artículo B para satisfacer un pedido inmediato del cliente! El mensaje es claro: desde la perspectiva de la planificación y el control, sólo debería utilizarse el conteo real de artículos para determinar la precisión del registro. De hecho, por sí mismo el conteo físico de artículos resulta INSUFICIENTE, toda vez que conocer la ubicación de éstos en el inventario guarda la misma importancia. Saber que cierta cantidad artículos se encuentra disponible en el inventario no será de gran ayuda, a menos que se sepa con exactitud en dónde están esos artículos.

Métodos de almacenamiento

Existen tres métodos básicos para almacenar los artículos que conforman el inventario —cada uno de ellos con sus propias ventajas y desventajas—: **base de operaciones**, **aleatorio** y **aleatorio por zonas**.

El método **base de operaciones** implica que cada tipo de artículo tiene su propia ubicación distintiva, y que siempre se le almacena en tal ubicación. *La ubicación es, por lo tanto, exclusiva para ese artículo específico*. Las ventajas de este método son: que la ubicación siempre se conoce, y que resulta fácil encontrar el inventario. La desventaja es el espacio; la ubicación necesita mantenerse disponible para recibir el artículo en cuestión, aún cuando no exista ninguno en inventario. El problema se agrava si se añaden otros artículos al sistema, ya sea por desarrollo de nuevos productos o por cambios de ingeniería que impactan a los productos existentes. El número de ubicaciones

crecerá a medida que se añadan nuevos artículos, dando lugar a una siempre creciente demanda de espacio. Resulta evidente que este método funciona mejor si tanto el número como el diseño de los artículos que se quiere mantener en inventario son lo suficientemente estables.

El método **aleatorio** es exactamente opuesto al anterior. Siempre que ingresa un nuevo artículo al almacén o depósito, se le coloca en *cualquier ubicación que esté disponible* (espacio abierto) *dentro del área de almacenamiento*. Este método por lo general maximiza el uso eficiente del espacio, pero tiene una gran desventaja: la información de la ubicación debe anotarse con todo cuidado y exactitud en la base de datos correspondiente. Cualquier artículo cuya ubicación haya sido registrada de manera errónea puede perderse prácticamente por completo, lo que obligaría a una búsqueda masiva en el área destinada al almacenamiento. Este sistema por lo regular se utiliza cuando los productos cambian rápidamente de diseño, lo cual provocaría que el método de base de operaciones resulte mucho menos práctico.

Aleatorio por zonas. Se trata de un método “híbrido” que intenta combinar lo mejor de los dos anteriores, y es aplicable a todas las situaciones, con excepción de las más extremas. La idea consiste en identificar la zona en donde se almacenarán los artículos de cierto tipo. Por ejemplo, puede existir una zona para tornillos, otra para componentes electrónicos, etcétera. *Dentro de la zona determinada, los artículos pueden almacenarse de manera aleatoria*. Las ventajas son las siguientes: por un lado, el almacenamiento aleatorio de las partes dentro de la zona permite un uso más eficiente del espacio; por el otro, la organización del inventario mediante zonas permite una revisión más fácil si se presenta un error de ubicación en el sistema. Si una ubicación es incorrecta sólo se debe revisar la zona, no el almacén completo.

Mantenimiento de la precisión de la información de inventario

Una de las directrices del control de inventario que suele subestimarse o incluso obviarse en ciertas ocasiones, radica en mantener la precisión y oportunidad de la base de datos del inventario. Muchas veces tendemos a dar por sentado que la información del sistema es precisa, o a ignorar cómo se ve afectado todo el sistema de planificación por la falta de precisión. En esta sección comentaremos la importancia de tal información, y señalaremos algunos de los métodos más comunes que nos permiten lograr y mantener el nivel de precisión necesario para una planificación efectiva.

Por una parte, ciertas compañías consideran el control de inventarios y el trabajo de almacén o de depósito como actividades frívolas para las que se requiere poca capacidad o responsabilidad. En estos entornos, los trabajadores que atienden el área de control de inventarios reciben una paga baja y pocas oportunidades de capacitación o entrenamiento. En tal caso, los empleados consideran que el trabajo de inventario es como “una actividad temporal” que les permitirá desplazarse después a “mejores” asignaturas, como operadores de maquinaria, empleados de ensamblaje o algún otro puesto que requiera mayor habilidad y pague mejor.

Sin importar si este tipo de tratamiento del control de inventarios es la causa, el hecho es que los costos de tener registros deficientes de inventario por lo general exceden por mucho los costos de corregir los registros y mantenerlos al día. Desafortunadamente, pocas compañías toman en consideración el costo en que se incurre al

llevar registros deficientes, y atribuyen el problema a otras causas. Algunos de los síntomas de contar con registros de inventario deficientes incluyen:

- Niveles de inventario excesivamente altos. Si la gente que utiliza los registros para tomar decisiones y hacer planes duda cada vez más de su precisión, habrá mayor tendencia a solicitar cantidades excesivas de inventario, “por si acaso” los registros fueran incorrectos. Una pregunta que suele plantearse a este respecto es: ¿cómo se puede saber que el nivel de inventario es excesivamente alto? El punto de arranque para contestar esta pregunta es el análisis de la rotación del inventario. Para calcularla se acostumbra dividir el costo de los bienes vendidos durante el año (especificado en el reporte de resultados de la empresa) entre el valor monetario del inventario (declarado en el balance general). Esta cifra puede traducirse después en la cantidad de inventario disponible en un periodo específico. Por ejemplo, si el valor de rotación del inventario es 3, significa que hay disponibilidad en inventario para 4 meses (12 meses divididos entre 3 rotaciones).

El siguiente paso consiste en comparar la cifra de rotación del inventario con lo que debiera ser el nivel apropiado. Este último valor puede calcularse revisando la información relativa a la trayectoria que sigue un producto típico. Sume todos los tiempos (procesamiento, inicio de fabricación, desplazamiento, etcétera) y luego considere el tiempo de ejecución como un múltiplo del tamaño de lote. Añada un estimado razonable del tiempo en cola de espera o en otros procesos (inspección y embalaje, por ejemplo) según convenga. Después compare el valor resultante con la cifra de rotación de inventario. Veamos un caso para ejemplificar lo anterior: hace poco cierta compañía deseaba reducir su inventario para tener 6 rotaciones en lugar de 4. Sin embargo, uno de sus ejecutivos lanzó una pregunta clave: “¿Es razonable tener 6 rotaciones de inventario? Esto representaría sólo dos meses de valor de inventario”. Después de analizar la trayectoria de su principal producto, la empresa observó que el tiempo total de configuración y procesamiento ¡sólo era de 4 horas! Incluso con una asignación bastante liberal de actividades que no añaden valor, los dos meses de rotación de inventario representados por las 6 rotaciones parecen excesivos. Por supuesto, el adjetivo “excesivo” también tiene que ver con las políticas de negocio relativas a los niveles de inventario; no obstante, el análisis sugiere (por lo menos) que tales políticas deben revisarse para determinar si son razonables. De ser así, cualquier mejora deberá basarse en la revisión de las causas de tales niveles de inventario.

- Envíos por transporte de primera. Esto ocurre generalmente cuando los registros indican que el inventario tiene existencias de cierto artículo suministrado por un proveedor externo —por lo que la empresa no requiere reabastecimiento—, pero luego se descubre que la cantidad disponible es mucho menor que la indicada. En estos casos la empresa casi siempre se ve obligada a realizar un pedido urgente, y a aceptar el envío por el medio más rápido posible. Dicho medio pocas veces es el más barato, lo que ocasiona costos de envío excesivos.
- Agilización. La necesidad de agilización puede presentarse tanto para productos fabricados internamente como para productos de proveedores externos. Aunque en ocasiones dicha necesidad responde a una solicitud expresa del cliente, también puede presentarse cuando la disponibilidad real del inventario es mucho menor que la indicada en los registros. La agilización ocasiona que muchas per-

sonas evadan los sistemas, generen ineficiencias, e inviertan grandes cantidades de tiempo y dinero en un intento por reabastecer el inventario en menos tiempo del usual.

- **Lotes divididos.** Muchas veces esta situación es consecuencia de la agilización. Los lotes divididos pueden presentarse cuando se interrumpe la corrida normal de producción para utilizar el equipo en la fabricación de otra parte que está escaseando. Con frecuencia es preciso restablecer la configuración original después de la interrupción, a fin de que el resto de la producción normal pueda completarse. Configurar dos veces el equipo para una sola corrida de producción le cuesta tiempo y dinero a la compañía.

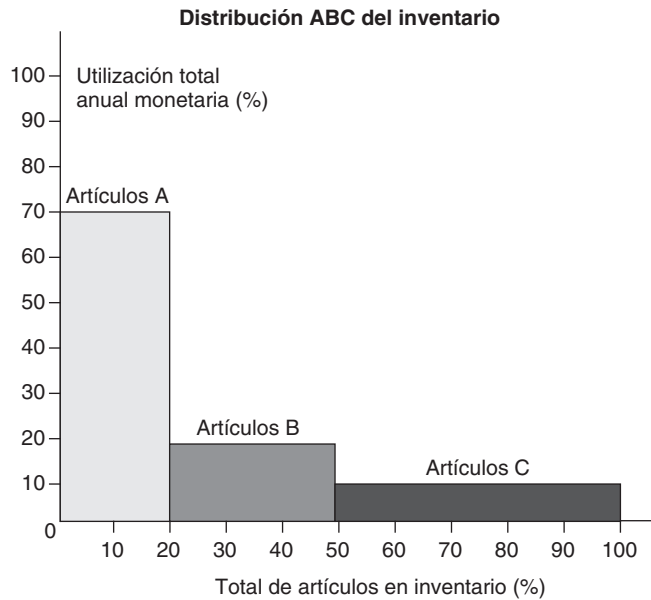
El método estructurado

Lo primero que debe comprender es que “mantener la precisión del inventario” puede interpretarse de varias maneras. Por ejemplo, si se tiene cierto inventario con valor de varios miles de dólares, extraviar una unidad podría ser algo serio. Por otro lado, perder un pequeño tornillo con valor de \$0.005 no sería tan relevante. El proceso utilizado para establecer la importancia relativa de un artículo se denomina **distribución ABC del inventario**. La idea consiste en dividir el inventario con base en la utilización monetaria anual o, en otras palabras, el valor monetario de cada artículo, multiplicado por el número promedio de artículos utilizados en el año.

No existe una regla estricta que nos indique como dividir los artículos A, B y C, aunque es recomendable enumerarlos de mayor a menor, según su utilización monetaria anual. El 20% superior de los artículos representará los artículos A; los que ocupan entre 20 y 50% serán los artículos B, y los que se encuentren en el 50% inferior serán los artículos C. Como se muestra en la gráfica de distribución genérica que se ilustra en la figura 5.7, con frecuencia se ha encontrado que, no obstante representar sólo 20% del total de artículos, los artículos A pueden representar entre 70 y 80% de la inversión anual de la empresa.

La atención que se dedique al control de cada uno de los artículos tendrá como base la clasificación que acabamos de describir. Los artículos A, por ejemplo, casi siempre serán supervisados muy de cerca, y la precisión de los datos relacionados con ellos se revisará aproximadamente cada mes (o incluso con más frecuencia). Si se descubre que los artículos A pueden desplazarse con facilidad, se les controlará a toda costa, ya sea manteniéndolos resguardados en un área segura o de cualquier otra forma. Por otro lado, generalmente se ejercerá menor control sobre los artículos C, por otro lado, generalmente tendrán un menor control; de hecho, en algunos casos se les manejará como inventario independiente (utilizando un punto de reorden) aunque sean artículos de demanda dependiente, y casi siempre tendrán un amplio inventario de seguridad, ya que hay más tolerancia en cuanto a la falta de precisión de los registros. Asimismo, tales registros se revisarán con menos frecuencia (una vez al año). Como puede imaginar, los artículos B se manejan con mayor cuidado que los artículos C, aunque no se les supervisa tan concienzudamente como a los artículos A.

En algunos casos es posible elevar artificialmente un artículo de bajo costo a la categoría A. Suponga, por ejemplo, que el reabastecimiento de un artículo de bajo costo requiere mucho tiempo de espera, y que existe una penalización importante en caso de que llegue a faltar. Esto podría ser consecuencia de que dicho artículo se necesita

FIGURA 5.7 Ejemplo de una distribución ABC del inventario

para fabricar un ensamblaje mayor, y no tiene sustitutos. La falta del artículo en cuestión podría ocasionar el retraso de un envío de gran valor; si el reabastecimiento se retrasa demasiado, la confianza y lealtad de los clientes podrían verse seriamente dañadas. Bajo estas circunstancias la empresa puede decidir elevar el artículo a una categoría A, aun cuando un análisis cuantitativo lo ubicaría en la categoría C.

Como sugiere el análisis anterior, uno de los principales propósitos de la clasificación ABC consiste en señalar los artículos que merecen más atención y un nivel de precisión de inventario mayor debido a las implicaciones financieras que tendría para la empresa cualquier deficiencia en su registro.

Cómo lograr registros precisos de inventario

Básicamente existen dos métodos para revisar la precisión de los registros y corregir las incorrecciones: el **inventario físico completo (“de pared a pared”)**, y el **conteo de ciclo**.

Inventario físico de “pared a pared”. Este proceso implica establecer un periodo determinado para contar físicamente todos los artículos que conforman el inventario para toda la operación. Muchas veces es necesario suspender los procesos de manufactura durante varios días mientras esto se realiza, sobre todo porque suele solicitarse el apoyo de los trabajadores de producción para el conteo.

El proceso suele realizarse por lo menos una vez al año, aparejado casi siempre con el ciclo del año fiscal contable. Por lo general el sistema contable requerirá que se asigne un valor monetario preciso al inventario, toda vez que representa —en la mayoría de los casos— uno de los principales activos en el balance general de la empresa.

El problema con este método no es sólo la evidente pérdida de producción durante el conteo. Contar físicamente cada una de las partes durante horas y a lo largo de va-

rios días resulta cansado y aburrido, en especial para el personal de manufactura que no está acostumbrado a este tipo de trabajo. La fatiga y la apatía pueden producir nuevas imprecisiones en el conteo. Además, la participación de tantas personas incrementa el riesgo de dañar las partes o ubicarlas incorrectamente después de realizado el conteo. Asimismo, toda vez que este proceso se realiza por lo general sólo una vez por año, la imprecisión de los registros se incrementará con el paso del tiempo, sobre todo si el sistema de transacción que registra el uso y flujo del inventario contiene algún error.

Conteo de ciclo. Muchas compañías consideran que el conteo de ciclo constituye una alternativa mucho más efectiva que el inventario físico de pared a pared. Como indica su nombre, este método se basa en contar cada artículo a lo largo de un ciclo definido a lo largo del año. Para ello se capacita personal específico (casi siempre como un empleo de tiempo completo) para que realice los conteos de ciclo a lo largo del año. Por lo general esto se hace en lugar del conteo de inventario físico anual, y no como actividad adicional a éste.

Cada día se destina al conteo de ciclo de ciertos artículos, tras lo cual se corregirán los registros erróneos, aunque éste no es el principal objetivo del método. *El propósito fundamental del conteo de ciclo consiste en identificar la causa del registro erróneo y corregir el proceso, de modo que haya mayor probabilidad de que los registros se mantengan correctos entre los periodos de conteo.* Si se descubre un registro incorrecto, básicamente se procede a enumerar todas las transacciones relacionadas con él desde la última vez que se supo que estaba correcto. Los responsables del conteo de ciclo intentarán descubrir cuál de las transacciones ocasionó el problema de precisión y por qué, para después corregir el proceso. Es evidente que los responsables de realizar conteos de ciclo en compañías que utilizan este método deben tener otras habilidades además de saber contar partes; en realidad, es preciso que sea personal capacitado que comprenda los sistemas y procesos de la empresa.

Los principales propósitos del conteo de ciclo son:

- Identificar las causas de incorrecciones en los registros
- Corregir las condiciones que ocasionan los errores dentro de los procesos
- Mantener un alto nivel de precisión en los registros de inventario, tanto en lo referente a cantidades como en lo relativo a ubicación de las partes
- Proporcionar un informe correcto de los activos al sistema contable

Es posible emplear diversos métodos para identificar los artículos que es necesario revisar durante el conteo de ciclo en un día dado; entre los más comunes están:

- *El sistema ABC.* La frecuencia y la definición de “preciso” dependerán de la clasificación del artículo en categorías A, B o C, como se describió antes. Aunque no existe una regla estricta a este respecto, casi siempre se utiliza un esquema como el siguiente para determinar la frecuencia de conteo y el nivel de precisión requeridos:

<i>Clasificación</i>	<i>Frecuencia de conteo</i>	<i>Nivel de imprecisión</i>
A	Una vez al mes o con más frecuencia	1%
B	Cada 3 meses	5%
C	Una vez al año	10%

Como se puede ver, los artículos A se cuentan con mayor frecuencia, y hay mucho menos tolerancia a la imprecisión. Esto, naturalmente, se debe al gran valor monetario de los artículos. En ocasiones surge la pregunta de qué hacer si el registro y el conteo difieren sin rebasar la tolerancia de imprecisión. Por ejemplo, suponga que el registro de un artículo C afirma que hay 920 unidades en el inventario, pero al realizar el conteo físico se demuestra que hay 905. La diferencia porcentual es de sólo 1.6% (15/920), cantidad menor que el porcentaje de imprecisión admisible, que en este caso es de 10 por ciento. ¿Deberá modificarse el registro para que muestre el dato correcto (905 unidades), o es mejor conservar 920? Una vez más, los métodos difieren en la práctica, pero muchas compañías preferirían conservar el registro tal como está, toda vez que el valor se encuentra dentro del nivel de tolerancia. Una de las razones para ello es que el propio conteo de ciclo podría estar un tanto sesgado. En algunos casos la empresa exigirá un doble conteo para confirmar que el error está en el registro y no en el primer conteo. Aunque este método ofrece una buena oportunidad de obtener registros más precisos, implica costos monetarios y de tiempo, de manera que pocas veces vale la pena llevarlo a cabo, especialmente en el caso de artículos C.

- *El sistema de resurtido.* Este método se basa en contar los artículos al momento que se hace un resurtido, lo que implica que el inventario está, muy probablemente, en un punto muy bajo, de manera que el conteo será mucho más fácil y rápido.
- *El sistema de recepción de artículos nuevos.* Este método es similar al anterior en cuanto a que es muy probable que el inventario se encuentre bajo cuando se reciben nuevos artículos, lo que facilita el proceso de conteo.
- *El sistema de balance cero o balance negativo.* Cuando el registro indica un balance cero o un balance negativo, será más fácil verificar su precisión, dado que —una vez más— el inventario será sin duda bastante bajo (si es que existe). Este procedimiento adquiere mayor relevancia si el registro indica un gran balance negativo.
- *El sistema de transacción.* El conteo se realiza después de cierto número de transacciones. La idea es que si se quiere identificar la causa de cualquier error, será más fácil hacerlo si hay pocas transacciones involucradas.
- *El sistema de zona.* Utilizar este sistema aleatorio en una ubicación determinada permite que el conteo de ciclo se lleve a cabo en una zona objetivo, facilitando la resolución de problemas de identificación de ubicación.

Ventajas del conteo de ciclo. Utilizar un programa de conteo de ciclo efectivo ofrece numerosas ventajas, por ejemplo:

- Las operaciones no tienen que suspenderse
- El inventario físico anual puede eliminarse

- Los errores pueden identificarse más rápido
- Las causas de los errores pueden rastrearse y corregirse de manera más efectiva y rápida
- Es posible ajustar los registros a lo largo del año, según se requiera
- La precisión general de los registros suele mejorar de manera considerable
- Es posible obtener informes correctos de los activos a lo largo del año, sin que se presenten sorpresas de “reducción” del inventario al final del periodo
- Los esfuerzos de mejora pueden concentrarse en las áreas problemáticas
- Los especialistas (responsables del conteo de ciclo) ganan experiencia, realizan conteos cada vez más confiables y pueden, por lo tanto, convertirse en peritos en resolución de problemas relacionados con procesos.

TÉRMINOS CLAVE

Bienes terminados	Inventario de demanda dependiente	Materia prima
Cantidad Económica de Pedido (CEP)	Inventario de demanda independiente	Método aleatorio
Conteo de ciclo	Inventario de desacople	Método aleatorio por zonas
Distribución ABC del inventario	Inventario de mantenimiento, reparación y operaciones (MRO)	Método de base de operaciones
Inventario de almacenamiento temporal	Inventario de tránsito	Reducción
Inventario de anticipación	Inventario físico	Tiempo de espera para reabastecimiento
Inventario de ciclo		Trabajo en proceso

RESUMEN

Este capítulo describe las funciones e importancia del inventario, y analiza algunos de los métodos más comunes para planificar y controlar los niveles de dicho activo. Una de las herramientas que se utilizan con más frecuencia para determinar el lote de inventario es la Cantidad Económica de Pedido (CEP), cuyo desarrollo y utilización potencial se discutieron también en estas páginas. Además se presentaron y analizaron métodos alternativos para controlar el inventario.

En cuanto a la planificación y control del inventario, probablemente las consideraciones más

importantes están dadas por dos observaciones sencillas pero de gran relevancia. La primera es que el inventario debe considerarse como capacidad almacenada, y es preciso tratarlo como tal. La segunda es que el inventario siempre se presenta como un síntoma de la forma en que el negocio está diseñado y de cómo se le dirige. Nunca debe ser considerado un problema, sino como un activo bastante valioso que puede utilizarse para determinar cómo está planeada y dirigida la operación general, así como para medir la efectividad de los sistemas operativos de planificación y control.

REFERENCIAS

- | | |
|---|---|
| <p>Bernard, P., <i>Integrated Inventory Management</i>, New York: John Wiley, 1999.</p> <p>Fogarty, D. W., J. H. Blackstone, Jr., y T. R. Hoffmann, <i>Production and Inventory Management</i>, Cincinnati, Ohio: SouthWestern, 1991.</p> | <p>Schönsleben, P., <i>Integral Logistics Management</i>. Boca Ratón, Florida: St. Lucie Press, 2005.</p> |
|---|---|

PREGUNTAS Y PROBLEMAS DE ANÁLISIS

- El modelo de punto de reorden básico supone que se realizará el pedido tan pronto como el inventario alcance un nivel predeterminado. ¿Qué sucede si el artículo sólo es uno de varios que se ordenan al mismo proveedor? Analice la forma en que el reabastecimiento conjunto de un solo proveedor puede alterar su modelo de inventario.
- Describa el tipo de política de inventario que encontraría en cada una de las siguientes operaciones, y explique por qué lo considera así: un hospital, una cafetería, un centro de reparación automotriz, una panadería y un consultorio dental.
- Uno de los productos que conforman el inventario de Joe's Club es la *JoesCola*, una bebida gaseosa que se vende por caja. El nivel de demanda de *JoesCola* es altamente estacional.
 - Durante la *temporada baja* la demanda tiene una tasa de aproximadamente 650 cajas por mes, lo cual equivale a una tasa de demanda anual de $650 \times 12 = 7,800$ cajas.
 - Durante la *temporada alta* la demanda tiene una tasa aproximada de 1,300 cajas por mes, o 15,600 cajas al año.
 - El costo de levantar un pedido es de \$5, y el costo anual por mantenimiento de inventario es de \$12 por cada caja de *JoesCola*.
 - De acuerdo con la fórmula de la CEP, ¿cuántas cajas de *JoesCola* deben pedirse a la vez durante la *temporada baja*? ¿Cuántas cajas de *JoesCola* deben pedirse durante la *temporada alta*?
 - Suponga que Joe's Club decide utilizar la misma cantidad de pedido a lo largo del año, lo que da por resultado 150 unidades. Calcule los costos totales de mantenimiento y pedido para el año. *No* considere inventario de seguridad en sus cálculos. La demanda anual puede calcularse como promedio de las tasas de demanda alta y baja que se indicaron antes.
- Continuando con la información básica del problema 3, durante la temporada alta el administrador de Joe's Club decidió que 98% del tiempo no quiere que se agote la *JoesCola* antes de que llegue el siguiente pedido. Utilice la siguiente información para *calcular el punto de reorden de JoesCola*.

Demanda semanal durante la temporada alta:	325 cajas por semana
Tiempo de espera:	0.5 semanas
Desviación estándar de la demanda semanal:	5.25
Núm. de desviaciones estándar por arriba de la media, necesarias para proporcionar un nivel de servicio de 98%:	2.05

- Debido a que las tecnologías de cómputo se vuelven obsoletas con demasiada rapidez, un reconocido fabricante de computadoras está considerando **eleva**r los costos de manteni-

miento de inventario, que actualmente son de 30% sobre el costo del artículo. ¿Cuál será el impacto sobre la cantidad económica de pedido en el caso de los monitores? **Debe** explicar su respuesta utilizando cualquier fórmula o ejemplo que considere útil.

6. Se cuenta con la siguiente información respecto de la operación del fabricante de computadoras del problema 5:

Demanda anual estimada:	15,376 monitores (50 semanas por año).
Costo:	\$640 por monitor
Tiempo de espera:	2 semanas
Desviación estándar de la demanda semanal:	16 monitores
Costo de mantenimiento de inventario por unidad al año:	40% del costo del artículo
Costo de pedido:	\$25 por pedido
Nivel de servicio deseado:	95% ($z = 1.65$)

- Calcule la cantidad económica de pedido para los monitores. Redondee su respuesta a enteros.
 - Suponga que la compañía decide ordenar **64 monitores a la vez**. ¿Cuáles serían sus costos anuales de mantenimiento y de pedido para este artículo?
 - ¿Cuál sería el **punto de reorden** para el monitor Viewsonic, de acuerdo con la información?
7. La compañía Ajax tiene un inventario conformado por varios artículos. La tabla siguiente muestra la demanda anual y el costo de los mismos. Desarrolle una clasificación lógica para el inventario, con base en el modelo ABC.

<i>Artículo</i>	<i>Costo del Artículo</i>	<i>Demanda anual (# unidades)</i>
C34	\$12	4,000
B99	\$23	8,000
V94	\$19	5,500
H64	\$41	1,200
P77	\$72	400
Y12	\$62	1,100
R74	\$33	1,440

Un artículo adicional, el M22, tiene una utilización muy limitada (300 unidades por año) y un bajo costo (\$3 por unidad), pero para su suministro se requiere un largo tiempo de espera, y generalmente es difícil de conseguir. ¿Cómo debería manejarse este artículo y por qué?

8. La compañía Polybob está revisando los costos totales de inventario para algunos de sus artículos A. La empresa realiza un conteo por ciclo de todos los artículos A cuatro veces al año y, como sólo utiliza para ello personal capacitado, se estima que el costo de mano de obra para conteo por cada artículo A asciende a \$0.12. Actualmente se emplea un nivel de servicio al cliente de 99% ($z = 2.33$) para establecer un inventario de seguridad, pero la dirección está considerando cambiar ese valor a 90% ($z = 1.29$). Por otro lado, se está evaluando un producto que tiene un costo de \$53.50, una demanda anual de 1,500 y una desviación estándar semanal de la demanda de 6. Se sabe que el costo de pedido es de \$21, y que el costo de mantenimiento es de 23% por año. El tiempo de espera para reabastecimiento es de 3 semanas. Utilizando únicamente un análisis de costos, ¿considera que la empresa debería cambiar el nivel de servicio? ¿Qué otras consideraciones deben tenerse en cuenta antes de tomar la decisión final?

9. Usted se encuentra a cargo del inventario de la tienda de electrodomésticos Bongo. La demanda reciente para los hornos de microondas marca Kremlin describe el siguiente patrón:

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Demanda	53	22	32	61	17	37	43	24	53	30

Bongo reconoce un costo de manejo de inventario de 23 por ciento. La empresa compra los hornos a un fabricante que le ofrece un precio al mayoreo de \$163 cada uno. Realizar un pedido cuesta \$200, incluyendo costos de compra y envío. Una vez que se levanta el pedido es preciso esperar 2 semanas para la entrega. Bongo también cuenta con la política de mantener un nivel de servicio al cliente de 95 por ciento.

- ¿Cuál debe ser la política de inventarios (cantidad de pedido y punto de reorden)? Analice cualquier implicación o problema que encuentre respecto de la política de inventarios.
- El fabricante ofreció a los directivos de Bongo negociar un descuento de precio si se le ordenan 500 hornos a la vez, manteniendo los mismos costos de compra y envío. ¿Cuál sería el precio de mayoreo más alto que podría admitirse para que ésta siga siendo una oferta financieramente atractiva?
- La persona responsable de pronosticar la demanda de electrodomésticos acaba de informar a la dirección de Bongo que el mercado parece estar cambiando, y presenta como evidencia que la DAM (desviación absoluta media) del pronóstico para hornos de microondas ha pasado de 12 a 23 unidades en sólo 6 meses. ¿Cómo interpretaría esto y cuál sería su respuesta?

CAPÍTULO 6

Planificación de requerimientos materiales (MRP)

Esquema del capítulo

- 6.1 Antecedentes y conceptos básicos
- 6.2 Lista de materiales
- 6.3 La “explosión” del sistema MRP
- 6.4 Otros aspectos relacionados con el sistema MRP
- 6.5 Retos potenciales del sistema MRP
- 6.6 Planificación de recursos empresariales (ERP)
- 6.7 Aspectos del entorno de negocios

Introducción— El concepto fundamental que da sustento al sistema de planificación de requerimientos materiales (conocido como MRP por sus siglas en inglés, *Material Requirements Planning*) realmente es bastante sencillo. A manera de analogía, suponga que su familia le pidió que planificara las comidas de esta semana. Probablemente lo primero que hará es crear un menú. Ahora imagine que, para la cena de hoy, planificó lasaña como plato principal. ¿Qué sigue? Tal vez lo más apropiado sea contar cuántas personas asistirán a la cena, para así saber qué cantidad de lasaña cocinar. Lógicamente, también necesita saber qué ingredientes se utilizan en la preparación de la lasaña, y cuáles son los pasos que deben seguirse. Por lo general estos dos requisitos se indican en la receta. Una vez que conozca los ingredientes, es preciso que calcule cuánto necesita de cada uno para la cantidad de lasaña que planea cocinar. Después requiere determinar qué hace falta comprar, porque tal vez en su alacena tiene ya algunos de los ingredientes; por ejemplo, si necesita tres cajas de pasta de lasaña y ya tiene una, sólo necesitará adquirir dos. También deberá estimar el tiempo: si, por ejemplo, toma 90 minutos hornear la lasaña, 1 hora preparar los ingredientes, y 2 horas salir a comprar lo que hace falta, sabrá que necesita iniciar el proceso al menos 4.5 horas antes de la cena.

Este proceso explica con toda precisión cómo trabaja el sistema MRP básico, aunque en el análisis de éste se utiliza, por supuesto, cierta terminología y una estructura formal. A continuación se presentan los términos de la MRP, tomando como base la analogía que empleamos de ejemplo:

- El menú en que se incluye la lasaña se denominaría **programa maestro**
- La lista de ingredientes sería equivalente a la **lista de materiales**
- Los pasos del proceso para cocinar la lasaña se denominarían **trayectoria del proceso**
- La cantidad total necesaria de ingredientes sería el **requerimiento bruto**
- La cantidad de ingredientes que deben comprarse después de restar el inventario se llamaría **requerimientos netos**
- El tiempo necesario para realizar todos los pasos se denominaría **tiempo de espera**
- El momento en que se inicia el proceso de adquisición —tomando en cuenta el tiempo de espera— se llamaría **liberación planificada de pedido**

6.1 ANTECEDENTES Y CONCEPTOS BÁSICOS

Los conceptos básicos inherentes al sistema MRP se han conocido desde hace muchos años, incluso antes de que se les utilizara efectivamente. Con anterioridad al surgimiento del MRP, casi todas las empresas empleaban variaciones del sistema de punto de reorden, donde se permitía que el inventario se redujera hasta alcanzar una cantidad específica, considerada el punto mínimo admisible antes de ordenar el reabastecimiento de un número estándar de unidades. En otras palabras, solía ponerse en práctica el modelo básico de punto de reorden usual para los inventarios independientes (vea el análisis detallado que sobre este tema se ofrece en el capítulo 5, “Administración de inventarios”).

El principal motivo por el que no se utilizaba el MRP era la importante cantidad de cálculos que éste exige. Con el advenimiento de computadoras más o menos poderosas, confiables y económicas, el sistema MRP realmente se hizo viable.

El problema respecto de los puntos de reorden

Los puntos de reorden que hemos descrito se encuentran, por lo general, en los inventarios de demanda independiente. Los **inventarios de demanda independiente** son aquellos cuya demanda es independiente de las decisiones operativas internas; casi siempre se relacionan únicamente con la demanda externa de los clientes. Por lo tanto, los inventarios de demanda independiente están conformados ya sea por los productos terminados de la operación o por piezas de repuesto que los clientes demandan para reparar algún otro artículo. Los **inventarios de demanda dependiente**, en contraste, son aquellos cuya demanda se basa en decisiones internas, generalmente sobre cuánto producto fabricar y cuándo hacerlo. La demanda dependiente puede ser igual o no a la demanda externa de producto por parte de los clientes.

Volviendo a nuestra primera analogía, suponga que necesita alimentar a seis personas con la cena de lasaña, y que cada una de ellas consumirá aproximadamente 0.4 kg del platillo. Esta situación exige que se cocinen 2.4 kg de lasaña. La cena se servirá a las 6:00 p.m., lo que significa que debe iniciar su preparación a la 1:30 p.m. Sin embargo, usted decide cocinar 4 kg de pasta (le gusta que sobre comida) y, como tiene otras actividades por la tarde, iniciará la preparación de la cena a las 8:00 a.m., aunque tenga que recalentarla en el momento apropiado. Los 2.4 kg representan la demanda independiente de nuestra cena, pero la demanda de tiempo y cantidad de pasta de lasaña (demanda dependiente) se basa en la necesidad de cocinar 4 kg, iniciando el proceso a las 8:00 a.m., porque ésa fue nuestra decisión interna.

Regresando a nuestro análisis principal, pocas veces los puntos de reorden funcionan bien en las situaciones de demanda dependiente, debido a las cantidades de pedido y a los tiempos de espera. Para ilustrar este problema, analicemos un producto sencillo: un gabinete de archivo con dos cajones. Es evidente que el producto terminado —que se vende en tiendas de suministros para oficina— tiene una demanda independiente. Para ilustrar mejor esta idea, daremos por sentado que la demanda es constante a lo largo del tiempo. Tenemos cierto inventario, Q , en el tiempo cero del diagrama de la figura 6.1. A medida que los clientes adquieren los gabinetes, el inventario disminuye de manera uniforme.

Tarde o temprano, por supuesto, los gabinetes se agotarán si no hacemos un nuevo pedido. Toda vez que reemplazarlos exige esperar un tiempo determinado, los reordenaremos cuando su cantidad disminuya pero sea todavía suficiente para poder seguir satisfaciendo nuestras necesidades de venta hasta que llegue el siguiente envío. Éste es el punto de reorden básico, y refleja una cantidad que representa la demanda durante el tiempo de espera para el reabastecimiento, como se ilustra la figura 6.2.

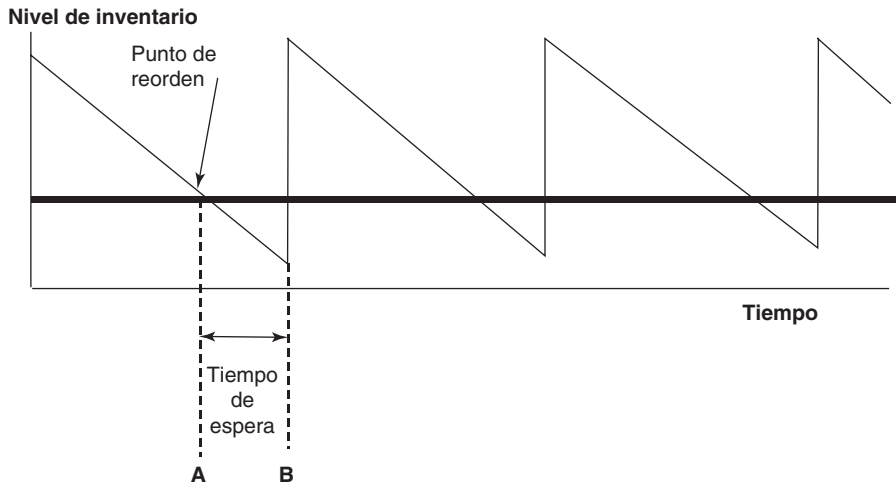
El diagrama de la figura 6.2 muestra que la cantidad descende hasta alcanzar el punto de reorden (A), momento en el cual la cantidad de reabastecimiento (por lo general la CEP) será ordenada. La cantidad en inventario continuará descendiendo durante el tiempo de espera necesario para reabastecer el producto. Finalmente, el nuevo pedido llegará en el punto B, y la cantidad en inventario volverá al nivel original. Este patrón de “diente de sierra” es bastante típico del inventario independiente con demanda relativamente constante, como se analizó en el capítulo anterior.

Si la cantidad de reabastecimiento se ordena a un proveedor externo, el tiempo de espera casi siempre será determinado por él. Sin embargo, la cuestión es distinta si la cantidad de reabastecimiento es resultado de una operación interna de la compañía. Calcular o estimar el tiempo de espera puede ser complejo para casi todas las operaciones, ya que depende de varios factores, entre los cuales se incluyen:

- **Tiempo de espera por adquisición (tiempo de espera para recibir la materia prima).** Es el tiempo que necesita el proveedor para entregar las partes, en caso de que éstas se adquieran de una fuente externa.
- **Tiempo de desplazamiento.** Es el tiempo que toma el desplazamiento de una tarea de una operación a otra.
- **Tiempo de configuración.** Es el tiempo para configurar y preparar el equipo a fin de realizar una labor determinada.

FIGURA 6.1 Demanda independiente uniforme para gabinetes de archivo



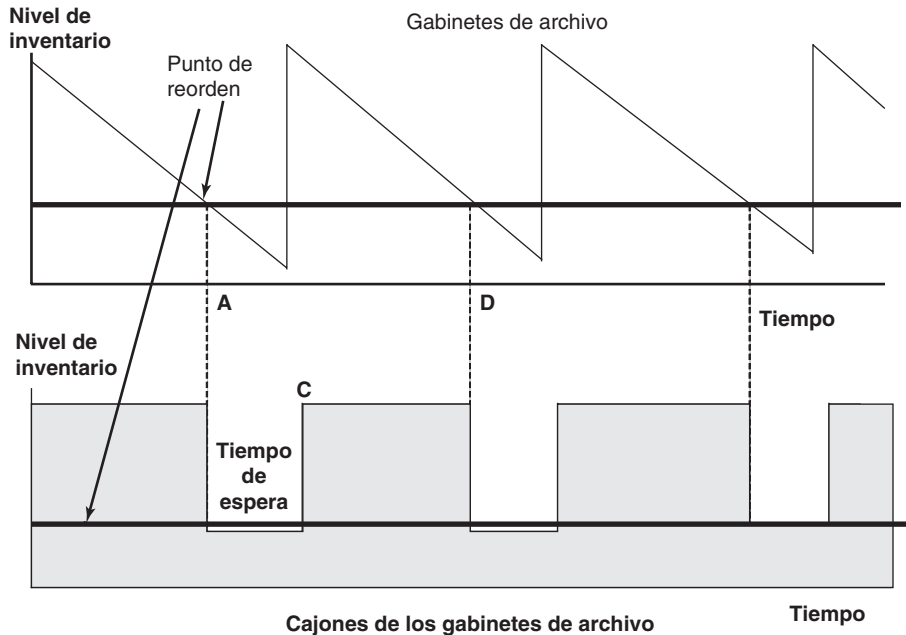
FIGURA 6.2 Demanda independiente con punto de reorden

- **Tiempo de procesamiento.** Es el tiempo real que toma llevar a cabo la operación definida en la parte.
- **Tiempo de espera.** Es el tiempo que una tarea debe esperar hasta ser desplazada, una vez que se le ha procesado en una operación determinada.
- **Tiempo en fila de espera.** El tiempo que una tarea debe esperar para su procesamiento una vez que se le desplazó a la operación.

Resulta interesante hacer notar que, por lo que respecta a casi todos los artículos manufacturados, el tiempo en fila de espera generalmente representa la *mayor parte del tiempo de espera total*. Será importante tomar en cuenta este hecho cuando analicemos la producción “justo a tiempo” o “esbelta” en un capítulo posterior.

Analicemos ahora el patrón de uso de uno de los componentes del producto de nuestro ejemplo: los cajones. Aun cuando tal vez haya cierta demanda independiente para los cajones, es evidente que la mayor parte de ésta se encuentra determinada por la necesidad del componente para fabricar y reabastecer el suministro de gabinetes terminados. La figura 6.3 muestra la relación entre la demanda de los cajones y el punto de reorden de los gabinetes.

Como se ilustra en la figura 6.3, cuando se alcanza el punto de reorden para los gabinetes (A) se hace un pedido a la fábrica para reabastecer los gabinetes terminados. La parte inferior del diagrama muestra la demanda de cajones. En el tiempo cero no existe demanda para los cajones, porque no se requieren para completar gabinetes (sólo se venden los que están en inventario), y no se les utiliza para nada más. Esta demanda permanece en cero (lo que se muestra como una línea horizontal) hasta que los gabinetes alcanzan su punto de reorden (A). El punto de reorden dispara la demanda para fabricar un nuevo lote de gabinetes terminados. De pronto, la demanda de cajones es bastante grande. Por ejemplo, si la orden es reabastecer 100 gabinetes terminados, existirá una demanda prácticamente instantánea de 200 cajones, lo que se indica en el diagrama como una caída vertical en la cantidad de este componente.

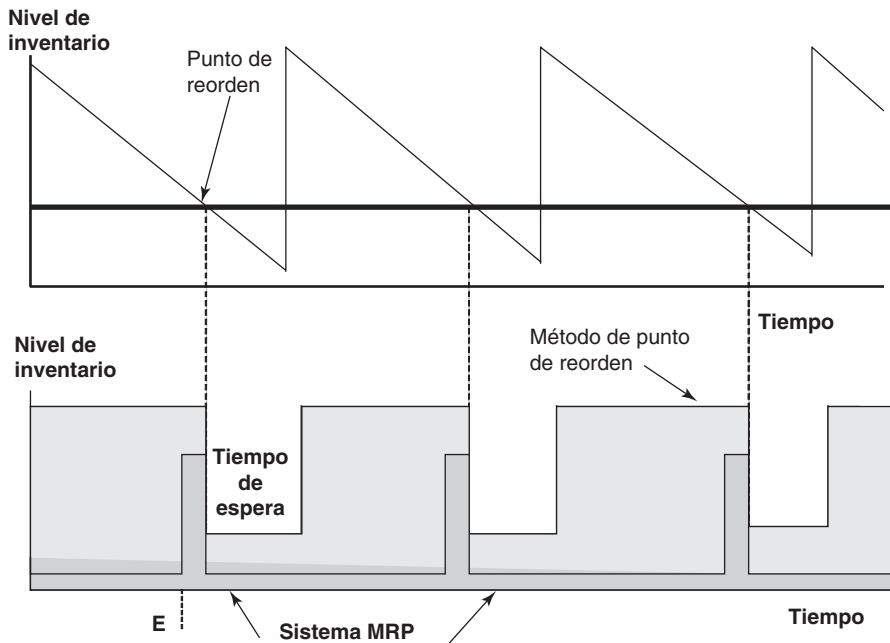
FIGURA 6.3 Reórdenes de gabinetes que impactan la demanda de cajones

Dado que el inventario de cajones ha caído por debajo de su punto de reorden, se genera una solicitud para reabastecerlos. Una vez que haya transcurrido el tiempo de espera, el inventario de cajones se habrá reabastecido hasta el punto C, y volverá a permanecer constante hasta que se dé una vez más la demanda, lo cual ocurrirá cuando llegue el momento (punto D en el diagrama) de fabricar y reabastecer el suministro de gabinetes terminados.

El problema con esta demanda “abultada” para los artículos de inventario con demanda dependiente estriba, sobre todo, en los tamaños de lote. Como se ilustra claramente en la figura 6.3, esta situación es indeseable, ya que el inventario de cajones (indicado en el diagrama mediante el área sombreada debajo de la línea que representa la cantidad de cajones) resulta *costoso* y *difícil de almacenar*. Este patrón se repite en el caso de otros componentes dependientes (por ejemplo, acero sin trabajar, seguros, manijas, etcétera).

La solución que propone el sistema MRP se basa en una simple premisa: si podemos proyectar los requerimientos y sabemos cuál es el inventario inicial, debemos ser capaces de predecir o calcular cuándo se presentará el punto de reorden de los gabinetes terminados. A partir de esta información podremos mantener bajo el inventario de cajones hasta justo antes de necesitarlos para fabricar el siguiente lote de gabinetes terminados. Esta situación se muestra en la figura 6.4.

En el diagrama de la figura 6.4, el inventario de cajones es muy bajo (lo que se indica mediante la parte sombreada más oscura de la curva). Como ahora contamos con una predicción del tiempo y de la cantidad en que se dará el punto de reorden, podemos aumentar el suministro de cajones justo antes de que se requieran, lo que ocurre en el

FIGURA 6.4 Mantenimiento de un inventario reducido de cajones hasta que se requieran

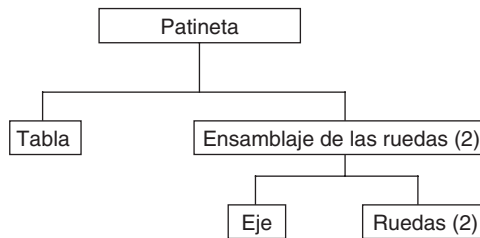
punto E. Este inventario se agota muy rápido. Por supuesto, el costo asociado al área sombreada más oscura es significativamente menor que con el método anterior. Éste es el propósito y el principio que dan sustento al sistema MRP: pronosticar en el programa maestro de producción (PMP) tanto la cantidad de productos terminados (gabinets de archivo) que se demandan, como el tiempo en que dicha demanda se presenta.

6.2 LISTA DE MATERIALES

En este punto será útil analizar con más detalle la estructura y utilización de las listas de materiales, conocidas también como **estructura de producto**, dado que esto es lo que indican, de manera similar a lo que hace la receta en nuestro ejemplo de la lasaña. Podemos iniciar con un ejemplo bastante simple: una patineta.

La lista de materiales de una patineta es bastante simple, sobre todo si suponemos que las ruedas se adquirirán listas para ser montadas en los ejes (vea la figura 6.5).

Esta lista de materiales se clasificó utilizando *tres niveles de profundidad*. El primer nivel, designado por el producto final, suele denominarse *nivel cero*. El siguiente nivel, en donde se enumeran la tabla y el ensamblaje de las ruedas se denomina nivel uno, y el nivel en donde aparecen el eje y las ruedas es el nivel dos. Hemos empleado un diagrama para mostrar de manera gráfica la relación entre los componentes, pero en casi todos los sistemas la información se almacena en forma de lista, indicando los distintos niveles mediante sangrías (en lo que se conoce como **lista esquemática de materiales**). En nuestro ejemplo, la lista esquemática se vería así:

FIGURA 6.5 Lista de materiales para una patineta

COMPONENTE	CANTIDAD REQUERIDA
Patineta	1
Tabla	1
Ensamblaje de las ruedas	2
Ruedas	2
Eje	1

Al producto o subensamblaje que utiliza un componente dado suele llamársele **padre**. En este ejemplo, el ensamblaje de las ruedas es padre de las ruedas y el eje. La patineta es padre de la tabla y de los dos ensamblajes de ruedas. Observe también que existe una relación multiplicativa: la patineta terminada consta de cuatro ruedas; la lista de materiales enumera dos ruedas para cada ensamblaje, y dos ensamblajes para cada patineta terminada, dando un total de cuatro ruedas.

6.3 LA “EXPLOSIÓN” DEL SISTEMA MRP

Con el PMP (el menú), la lista de materiales (la receta) y el inventario existentes, contamos con suficiente información para calcular los componentes necesarios en nuestra planificación. Sin embargo, requeriremos también ciertos datos adicionales, mismos que suelen listarse en un **archivo maestro de elementos**. Por lo general, el archivo maestro de elementos contiene información sobre los tiempos de espera y tamaños de lote, además de otros datos útiles. Prácticamente en todos los casos hay un archivo maestro de elementos por cada componente utilizado en la instalación.

El cálculo que toma en cuenta toda esta información para planificar los pedidos de componentes generalmente se denomina **explosión**. Esto se debe a que, tras comenzar en el nivel padre, los cálculos se “propagan” a los niveles inferiores de la lista de materiales, lo que semeja una explosión.

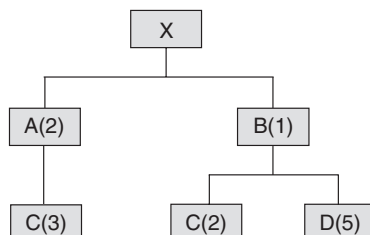
Probablemente la forma más fácil de explicar el proceso es mediante un ejemplo. Los cálculos que se muestran aquí casi siempre se realizan en una computadora, utilizando alguno de los muchos programas de software disponibles. Por ello, algunas personas podrían preguntarse “¿por qué preocuparse por aprender el método si la computadora hace los cálculos?” Hay una razón fundamental para ello, y es la misma que guía toda responsabilidad administrativa al utilizar una computadora. Es muy importante que el administrador comprenda el método que emplea la computadora para

obtener cifras importantes de planificación y decisión; de otro modo, al presentarse un problema tal vez no sepa cómo resolverlo, ya que desconoce cómo se obtuvieron los valores. Cabe recordar que las computadoras por lo general no son otra cosa que grandes y rápidas calculadoras (por lo menos hasta el momento). Los administradores prudentes deben comprender —aunque sea someramente— cómo obtiene la computadora las cifras de planificación, y saber cómo tomar decisiones a partir de esas cifras, pero nunca permitirán que la computadora tome decisiones importantes por sí misma. Aun con la sofisticación actual, es imposible que una computadora pueda contar con toda la información necesaria para tomar decisiones complejas de negocio.

Como ejemplo veamos la estructura de producto de un ensamblaje al que llamaremos X. Por facilidad, asumiremos que el producto X se utiliza para la manufactura de otro producto en la fábrica, y que se ha desarrollado un programa maestro para este último. Como puede observar en la información siguiente, hemos presentado tanto la lista de materiales como la base de datos que incluye los niveles actuales de inventario, tiempos de espera y tamaños de lote. El tamaño de lote “lote por lote” básicamente indica que el tamaño del pedido será equivalente a la cantidad exacta necesaria para el periodo establecido. Esto significa que si requieren 20 unidades se ordenará precisamente esa cantidad. Cuando los tamaños de lote se califican de una manera distinta a “lote por lote”, suelen llamarse tamaños de lote *mínimos*. Por ejemplo, si el tamaño de lote es 100 unidades y se requieren 78, se ordenarán 100 (aunque, por otro lado, si se necesitan 127 unidades es posible ordenar exactamente tal cantidad). En algunos casos, sobre todo si los artículos se compran a un proveedor externo, los tamaños de lote pueden ser múltiplos. Esto ocurre con frecuencia si los productos sólo pueden fabricarse o entregarse en grupos o en paquete. En este caso, si el tamaño de lote fuera de 100 unidades y se requirieran 127, ordenaríamos 200, o dos lotes (paquetes). Vea la figura 6.6

FIGURA 6.6 Ejemplo del producto “X”

ELEMENTO	Disponibilidad	Tiempo de espera (semanas)	Tamaño de lote
X	50	2	Lote por lote
A	75	3	100
B	35	1	50
C	100	2	300
D	20	2	300



(adaptada de las imágenes del texto *Production and Operation Management*, de Chase y Aquilano, 7ª edición).

En el sistema MRP, los registros básicos aparecen como se indica a continuación. Observe que —aunque existen variaciones— un método común consiste en mostrar los requerimientos en “compartimentos” semanales. La explicación de cada renglón es la siguiente:

- **Requerimientos brutos:** representa la cantidad total necesaria del artículo sobre una base semanal (o la cantidad a utilizar durante el periodo). En el nivel más alto de la lista de materiales, los requerimientos brutos casi siempre representan el insumo principal para generar la mayoría de los componentes necesarios. Si el artículo que se está planificando se encuentra en un nivel debajo del producto planificado en el programa maestro, los requerimientos brutos para el artículo serán principalmente los valores del PMP para el producto planificado por un programa maestro.
- **Recepciones programadas:** representa los pedidos que ya han sido comprometidos, ya sea como una orden de producción o como una orden de compra. Son importantes, porque representan un compromiso real de recursos de la empresa. El tiempo y la cantidad se refieren, evidentemente, al material que se espera recibir, y que se da por hecho estará disponible al inicio del periodo. Dado que estos valores representan compromisos de la empresa, por lo general *no se permite* que la lógica de la computadora los manipule libremente. Si la lógica muestra que deben ser desplazados, o que se cantidad debe modificarse, casi siempre el sistema generará un mensaje de excepción haciendo las sugerencias pertinentes. En general se recomienda evitar que la computadora comprometa los recursos de la empresa sin una revisión humana.
- **Proyección de disponibilidad:** representa el inventario disponible del componente al término del periodo semanal.
- **Requerimientos netos:** es la cantidad necesaria para la semana una vez que los requerimientos brutos se han ajustado respecto del inventario disponible y/o las recepciones programadas.
- **Liberaciones planificadas de pedidos:** es la cantidad de requerimientos netos que serán ordenados o liberados al inicio del periodo según la planificación, tomando en cuenta los tamaños de lote y los tiempos de espera. Las liberaciones planificadas de pedidos suelen ser calculadas por la computadora; en este caso, el equipo tiene libertad de moverlas o modificar su cantidad con base en las reglas programadas (como tamaño de lote). A diferencia de las recepciones programadas, no representan compromisos reales de recursos para la empresa: simplemente indican cuándo se liberará una orden, de acuerdo con la *planificación* y con la información disponible al momento. Las liberaciones planificadas de pedidos constituyen el principal resultado del MRP, ya que indican lo que debe comprarse o producirse, tanto en cantidad como en tiempo. En consecuencia, representan también el insumo principal para la planificación detallada de la capacidad, el sistema de compras y los sistemas de control de la actividad de producción, que programan y controlan la producción real de los pedidos.

Procedamos a completar el registro del MRP utilizando esta información. Es recomendable empezar siempre por la parte superior de la lista de materiales, en este caso por el ensamblaje X. Dado que este ensamblaje se utiliza en otro producto, es muy probable que la demanda de X —que se convierte en los requerimientos brutos para dicho ensamblaje— provenga directamente de los valores del PMP del producto padre.

Elemento: X	Disponibilidad: 50	Tamaño de lote: lote por lote					Tiempo de espera: 2				
Semana		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimiento bruto		20	20	20	10	10	20		40		40
Recepciones programadas											
Proyección de disponibilidad	50										
Requerimientos netos											
Liberación planificada del pedido											

Hemos completado la información de la demanda y, como puede observar, también la del inventario disponible (en el espacio “proyección de disponibilidad”) antes de la semana 1. Por otro lado, no tenemos recepciones programadas para este artículo. A partir de estos datos estamos listos para calcular los requerimientos netos con base en los requerimientos brutos y el inventario disponible.

Elemento: X	Disponibilidad: 50	Tamaño de lote: lote por lote					Tiempo de espera: 2				
Semana		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimiento bruto		20	20	20	10	10	20		40		40
Recepciones programadas											
Proyección de disponibilidad	50	30	10	0	0	0	0	0	0	0	0
Requerimientos netos		0	0	10	10	10	20	0	40	0	40
Liberación planificada del pedido											

Para explicar la lógica que nos condujo a estos resultados, revisemos primero la semana 1. A partir de aquí tenemos un requerimiento de 20 unidades y un inventario inicial de 50. Utilizando 20 unidades del inventario para satisfacer la demanda, quedarán 30 al final de la semana; no existen requerimientos netos en este momento, ya que contamos con suficiente inventario para satisfacer la demanda. Esta lógica continúa hasta la semana 3. Al final de la semana 2 sólo quedan 10 unidades en inventario, pero tenemos requerimientos de 20 unidades en la semana 3. Esto agotará por completo el inventario al final de la semana 3, dándonos un requerimiento adicional de 10 unidades por encima del inventario disponible (requerimientos netos). Dado que el tamaño de lote es lote-por-lote, sólo fabricaremos lo que necesitamos, dejando nuestra proyección de disponibilidad en cero, mientras que los requerimientos netos serán iguales a los requerimientos brutos para el resto del registro.

Alguien podría preguntarse cómo iniciamos con inventario si la regla del tamaño de lote es lote por lote. Cualquier persona que conozca el ambiente de negocios sabe

que la demanda de los clientes es muy dinámica. Los clientes cambian constantemente de opinión tanto respecto de la cantidad de producto como del tiempo en que la necesitan. En este caso, las 50 unidades en inventario podrían provenir de un lote que se generó para atender la demanda de un cliente que más tarde canceló su pedido.

Una vez que hemos generado los requerimientos netos, estamos listos para proceder con las liberaciones planificadas del pedido:

Elemento: X Disponibilidad: 50 Tamaño de lote: lote por lote Tiempo de espera: 2

Semana		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimiento bruto		20	20	20	10	10	20		40		40
Recepciones programadas											
Proyección de disponibilidad	50	30	10	0	0	0	0	0	0	0	0
Requerimientos netos		0	0	10	10	10	20	0	40	0	40
Liberación planificada del pedido		10	10	10	20		40		40		

Observe que el renglón de “liberación planificada del pedido” reproduce los valores del renglón “requerimientos netos”, pero dos semanas antes. Este desplazamiento se debe al tiempo de espera. En otras palabras, dado un tiempo de espera de 2 semanas, necesitamos liberar un pedido y comenzar a fabricar el producto en la semana 1 si queremos utilizarlo para atender un requerimiento neto en la semana 3.

Analicemos ahora los tamaños de lote restantes, y revisemos las recepciones programadas existentes:

COMPONENTE	TAMAÑO DE LOTE	RECEPCIONES PROGRAMADAS
A	100	Ninguna
B	50	Ninguna
C	300	300, semana 1
D	300	Ninguna

A partir de esta información podemos generar el registro del componente A. De acuerdo con la lista de materiales, dos unidades del componente A se utilizan para construir una parte X. Lo primero que debemos determinar son los requerimientos brutos para el componente A. Tenga en cuenta que dicho componente *no* se vende a los clientes. Por lo tanto, *la única demanda del componente A proviene de la necesidad de fabricar X*. Por este motivo nuestro propósito es planificar cuándo se debe *FABRICAR X*, y cuál es la cantidad necesaria del componente A para *FABRICAR X*, **NO** cuándo venderemos X ni cuántas unidades de ese producto venderemos. El momento y la cantidad de los requerimientos brutos de A provienen, por lo tanto, del momento en que fabricará X de acuerdo con la planificación, dato que se obtiene en el *renglón de “liberación planificada del pedido” del registro del artículo X*. Éste es un principio fundamental del sistema MRP:

Los requerimientos de cualquier componente provienen directamente de las liberaciones planificadas de pedido del componente padre.

En este caso, por supuesto, se requieren dos componentes A cada vez que se fabrica un artículo X. En consecuencia, los requerimientos brutos de A son el doble de los que se señalan en el renglón “liberación planificada del pedido” de X:

Elemento: A	Disponibilidad: 75	Tamaño de lote: 100				Tiempo de espera: 3					
Semana		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimiento bruto		20	20	20	40		80		80		
Recepciones programadas											
Proyección de disponibilidad	75										
Requerimientos netos											
Liberación planificada del pedido											

Ahora podemos utilizar la misma lógica que se empleó en el registro del artículo X para completar el registro del componente A:

Elemento: 1	Disponibilidad: 75	Tamaño de lote: 100				Tiempo de espera: 3					
Semana		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimiento bruto		20	20	20	40		80		80		
Recepciones programadas											
Proyección de disponibilidad	75	55	35	15	75	75	95	95	15	15	15
Requerimientos netos		0	0	0	25	0	5	0	0	0	0
Liberación planificada del pedido		100		100							

Sigamos la lógica para explicar algunas de estas cifras. El inventario existente, que es de 75 unidades, cumplirá las necesidades hasta la semana 4, cuando las 15 unidades restantes de la semana 3 no satisfarán la demanda de 40. El requerimiento neto de 25 unidades generará un pedido planificado 3 semanas antes (el tiempo de espera es de 3 semanas), pero el tamaño del mismo será de 100 unidades, debido a la regla del tamaño del lote. Bajo el supuesto (implícito en el sistema MRP) de que el lote de 100 unidades esté listo al inicio de la semana 4, y sumando las 15 unidades que quedan en inventario, obtendremos 115 unidades disponibles al inicio de la semana 4. Restando el requerimiento de 40, nos quedarán 75 unidades al final de la semana 4, como se muestra en la fila “proyección de disponibilidad”.

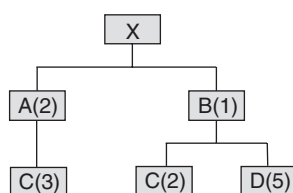
La misma situación se presenta de nuevo en la semana 6. Las 75 unidades que quedan después de la semana 5 no son suficientes para satisfacer la necesidad de 80 unidades para la semana 6, lo que da lugar a un requerimiento neto de 5 unidades. Esto generará la liberación planificada del pedido de 100 unidades en la semana 3, generando una proyección de disponibilidad de 175 unidades al inicio de la semana 6. Restando el requerimiento de 80 unidades, obtenemos un balance de proyección de disponibilidad de 95 unidades al final de dicha semana.

Revisemos ahora la situación del componente B. Como en el caso del componente A, éste sólo se utiliza para fabricar el artículo X. Sin embargo, a diferencia de A, sólo se necesita un componente B para cada X. Los requerimientos brutos de B, por lo tanto, serán exactamente iguales a las liberaciones planificadas de los pedidos de X. Empleando la misma lógica, el registro completo sería como sigue:

Elemento: B Disponibilidad: 35 Tamaño de lote: 50 Tiempo de espera: 1

Semana		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimiento bruto		10	10	10	20		40		40		
Recepciones programadas											
Proyección de disponibilidad	35	25	15	5	35	35	45	45	5	5	5
Requerimientos netos		0	0	0	15	0	5	0	0	0	0
Liberación planificada del pedido				50		50					

A continuación se analiza el caso del componente C. Ésta es la lista de materiales:



Respecto del componente C hay dos aspectos que requieren un análisis especial. Para empezar, C es el primer componente de nuestra lista que NO se utiliza para fabricar la parte X (por lo menos no directamente). En lugar de ello, el componente C tiene DOS padres en la lista de materiales (el componente A y el componente B): se requieren tres componentes C para fabricar un componente A, y otros dos para fabricar un componente B. Por lo tanto, para determinar el requerimiento bruto de C necesitamos revisar los registros de los componentes A y B. Como puede ver ya no analizamos el producto X, debido a que sólo nos interesa la fabricación de A y B. Para fabricar el producto X se requieren únicamente los componentes A y B; si tenemos suficientes unidades de ellos no necesitaremos ninguna unidad del componente C, que sólo se precisa para fabricar los componentes A y B. Éste es otro principio importante:

Para determinar los requerimientos de demanda dependiente para un componente de interés, sólo se analiza(n) el(los) padre(s) DIRECTO(S) del mismo.

Para ilustrar la manera en que los pedidos planificados de A y B se convierten en los requerimientos brutos de C, reproducimos los registros de A y B, generamos los requerimientos brutos de C, y completamos el registro:

Elemento: A Disponibilidad: 75 Tamaño de lote: 100 Tiempo de espera: 3

Semana		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimiento bruto		20	20	20	40		80		80		
Recepciones programadas											
Proyección de disponibilidad	75	55	35	15	75	75	95	95	15	15	15
Requerimientos netos		0	0	0	25	0	5	0	0	0	0
Liberación planificada del pedido		100		100							

Elemento: B Disponibilidad: 35 Tamaño de lote: 50 Tiempo de espera: 1

Semana		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimiento bruto		10	10	10	20		40		40		
Recepciones programadas											
Proyección de disponibilidad	35	25	15	5	35	35	45	45	5	5	5
Requerimientos netos		0	0	0	15	0	5	0	0	0	0
Liberación planificada del pedido				50		50					

Elemento: C Disponibilidad: 100 Tamaño de lote: 300 Tiempo de espera: 2

Semana		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimiento bruto		300		400		100					
Recepciones programadas		300									
Proyección de disponibilidad	100	100	100	0	0	200	200	200	200	200	200
Requerimientos netos		0	0	300	0	100	0	0	0	0	0
Liberación planificada del pedido		300		300							

Como se estableció antes, para obtener los requerimientos brutos necesitamos los registros tanto de A como de B. El requerimiento de 300 unidades del componente C en la semana 1 proviene directamente de la necesidad de fabricar 100 componentes A en esa semana (la liberación planificada del pedido). Recuerde que se requieren 3 unidades de C por cada A. El requerimiento de 400 unidades del componente C en la semana 3 proviene de la necesidad de fabricar 100 unidades de A (requiriéndose 300 unidades de C), y de la necesidad de fabricar 50 unidades de B (para lo que se requieren 100 unidades de C).

Además, es fácil observar el resultado de la recepción programada. El plan es recibir 300 unidades de C en la semana 1, mismas que utilizaremos de inmediato para cubrir el requerimiento bruto. Esto significa que el inventario que había al principio (100 unidades) aún está disponible al final de la semana 1.

Por último, es preciso que creemos el registro para el componente D. Su único requerimiento proviene de la necesidad de fabricar el componente B, y la lista de materiales muestra que necesitamos 5 unidades de D por cada B. El registro es el siguiente:

Elemento: D Disponibilidad: 20 Tamaño de lote: 300 Tiempo de espera: 2

Semana		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimiento bruto				250		250					
Recepciones programadas											
Proyección de disponibilidad	20	20	20	70	70	120	120	120	120	120	120
Requerimientos netos		0	0	230	0	180	0	0	0	0	0
Liberación planificada del pedido		300		300							

Antes de terminar el análisis, debemos señalar que en nuestro ejemplo numérico podemos ver el mismo problema de demanda “abultada” que se presentó en la gráfica inicial. Observe la diferencia que existe en las órdenes planificadas de los componen-

tes A, B, C y D cuando se comparan con los requerimientos brutos del producto X, para cuya fabricación se utilizan aquellos. Las reglas de tamaño de lote son las que tienen a producir estas condiciones de demanda “abultada” y el inventario resultante para los componentes de bajo nivel. Debido a ello, resultará útil resumir algunas de las “reglas” de tamaño de lote más utilizadas.

Reglas comunes para los tamaños de lote

Aunque se han desarrollado diversas reglas de tamaño de lote, algunas que rara vez se utilizan están fuera del alcance de este libro. Las reglas más comunes son:

- **Lote por lote.** Esta regla se presentó en el ejemplo anterior. Básicamente indica que se puede ordenar exactamente la cantidad necesaria para atender los requerimientos netos en el periodo que se está evaluando.
- **Cantidad fija.** Esta regla señala que debe ordenarse la misma cantidad cada vez que se realiza un pedido. Los motivos más comunes para implementar este tipo de regla estriban en que esa cantidad representa el menor costo total de producción u obtención de acuerdo con un análisis económico, o que se utiliza algún empaque estándar y, por lo tanto, todos los pedidos deben ser múltiplos de la cantidad que permite dicho empaque. En el primer caso, muchas veces el tipo de lote fijo representa la cantidad mínima que debe ordenarse, mientras que en el segundo la cantidad implica que todo requerimiento superior al tamaño de lote establecido debe ordenarse en múltiplos enteros del mismo.
- **Costo mínimo unitario.** Este método intenta evaluar qué sucedería si se ordenara el equivalente de los requerimientos de varios periodos, con el objetivo de aprovechar descuentos por volumen en la adquisición del artículo. Quizá la mejor manera de ilustrar este caso es mediante un ejemplo. Digamos que cierto artículo tiene un costo de \$50 por pedido y un precio unitario base de \$300, pero se ofrece un precio de descuento por volumen (\$270 por unidad) si la cantidad adquirida es de 500 o más unidades. El costo de manejo de \$1 por artículo por cada periodo que éste se mantiene en inventario. Los requerimientos para los siguientes seis periodos están dados como:

Periodo	1	2	3	4	5	6
Requerimientos	120	80	100	150	100	200

Con base en esta información, la siguiente tabla muestra el análisis para obtener el menor costo unitario:

Periodo	Requerimiento-	Req. Acum	Costo de pedido	Costo de inventario	Precio unitario	Costo total acumulado	Costo unitario
1	120	120	\$50	0	\$300	\$36,050	\$300.42
2	80	200	\$50	\$80	\$300	\$60,130	\$300.65
3	100	300	\$50	\$280	\$300	\$90,330	\$301.11
4	150	450	\$50	\$730	\$300	\$135,780	\$301.73
4q	50	500	\$50	\$930	\$270	\$135,980	\$271.96
5	100	550	\$50	\$1130	\$270	\$149,680	\$272.15
6	200	750	\$50	\$2130	\$270	\$204,680	\$272.91

Algunos de estos cálculos requieren más explicación. La columna Costo de inventario, por ejemplo, utiliza el costo de manejo de inventario, que es de \$1 por unidad por periodo. El costo de manejo de inventario —\$730— para el periodo 4, por ejemplo, se determinó sabiendo que ordenar 450 unidades (la cantidad acumulada para los periodos 1 a 4) implica que las 80 requeridas en el periodo 2 se tendrán que mantener en inventario por un periodo hasta ser utilizadas (lo que conlleva un costo de inventario de \$80); las 100 unidades requeridas para el periodo 3 se tendrán que mantener durante dos periodos (\$200), y las 150 unidades requeridas para el periodo 4 se tendrán que mantener durante tres periodos (\$450). La suma de \$450 + \$200 + \$80 da por resultado el valor del costo de manejo, que es de \$730. Observe que el costo total acumulado para el mismo periodo proviene del costo de 450 unidades a \$300 cada una (\$135,000), más el costo de pedido (\$50) y el costo de manejo de inventario (\$730).

El periodo señalado como “4q” también requiere una explicación. En algún momento durante el periodo 5 se alcanzará el objetivo de 500 unidades para lograr el descuento por volumen. Esto se debe a que la cantidad acumulada requerida durante el periodo 4 es de 450 unidades, y los requerimientos en el periodo 5 son de 100 unidades. Para efectos de análisis, identificamos en qué punto durante el periodo 5 se alcanza la meta de 500 unidades (para lo cual se solicitaron 50 unidades más que las requeridas en el periodo 4), y denominamos dicho periodo como “4q”. Observe que en este renglón al precio unitario se le aplica el descuento, así que ahora es de \$270. El costo de manejo de inventario resulta de que estas 50 unidades adicionales se utilizarán hasta el periodo 5, lo que significa que se mantendrán en inventario durante cuatro periodos, provocando un costo de manejo de \$200. Sumando estos \$200 al costo de \$730 para el periodo 4, se obtienen el costo total de manejo, que en este periodo es de \$930.

De acuerdo con la columna Costo unitario, resulta claro que vale la pena adquirir el número de unidades necesarias para obtener el descuento por volumen, pero no más. Observe que si se adquieren más de las 500 unidades, el costo unitario comienza a elevarse debido al costo de manejo.

- **Costo mínimo por periodo.** Este método está muy relacionado con el del costo mínimo unitario, pero se evalúa sobre la base del costo por periodo en lugar de hacerlo con base en costo por unidad. Volviendo a la información del ejemplo del costo mínimo unitario, podemos ver cómo funcionan los cálculos:

PERIODO	REQUERIMIENTOS ACUMULADOS	COSTO TOTAL ACUMULADO	COSTO POR PERIODO
1	120	\$36,050	\$36,050
2	200	\$60,130	\$30,065
3	300	\$90,330	\$30,110
4	450	\$135,780	\$33,945
4q	500	\$135,980	\$30,218
5	550	\$149,680	\$29,936
6	750	\$204,680	\$34,113

El número utilizado para dividir los \$135,980 del periodo “4q” fue 4.5. Este valor se obtuvo al observar que las 50 unidades adicionales requeridas para el periodo 4

representan exactamente 0.5 de las 100 unidades que se necesitan en el periodo 5 ($50/100 = 0.5$). Utilizando este análisis, podríamos seleccionar un tamaño de lote de 550 unidades, dado que esta cantidad nos da el menor costo del periodo.

6.4 OTROS ASPECTOS RELACIONADOS CON EL SISTEMA MRP

El análisis anterior ilustró el método básico del sistema MRP. Sin embargo, existen varios otros factores que debemos comentar para comprender la naturaleza dinámica de los sistemas MRP.

Generación de información

En un entorno dinámico de fabricación, casi siempre es preciso considerar cómo se hará el cálculo de toda esta información para todos los productos. Existen dos enfoques básicos para lograr lo anterior, ambos con sus variaciones particulares:

- **Regeneración.** Este proceso implica tomar toda la información necesaria (PMP, datos de inventario, lista de materiales, archivo maestro de elementos) y realizar la totalidad de los cálculos. Este método demanda una gran cantidad de tiempo de cómputo, pero dado que los resultados casi siempre se imprimen en lugar de almacenarse en la computadora, la memoria de ésta no se ve afectada. Éste fue el método original que utilizaban las empresas cuando la memoria para computadora era pequeña y comprar memoria adicional resultaba bastante caro. Muchos sistemas modernos no utilizan la regeneración, a menos que las políticas propias del entorno de negocios lo indiquen explícitamente. Además, en diversos entornos tiende a consumir mucho tiempo, y la naturaleza dinámica de casi todas las operaciones ocasiona que la información pierda vigencia y se vuelva irrelevante casi tan pronto como se genera, en especial porque muchas compañías sólo la regenerarán una vez a la semana.
- **Cambio neto.** Este proceso implica que toda la información (inventario, realización de pedidos, pedidos de clientes, etcétera) se ingresa en la computadora para que se le procese tan pronto como se presenta. Llevar a cabo esto toma muy poco tiempo, pero requiere una gran cantidad de memoria de cómputo, dado que toda la información se mantiene en línea y en tiempo real.
- **Lote.** En realidad, este proceso combina los dos métodos anteriores. Mantiene la mayoría de la información en línea para su acceso inmediato, pero no actualiza cambios de manera inmediata. En lugar de ello, las modificaciones en la información se mantienen en un subarchivo, y periódicamente toda la información se utiliza para actualizar los registros. La empresa determina los tiempos entre la actualización de lotes, y hoy en día muchos sistemas utilizan las actualizaciones de lote de forma tan efectiva que —desde el punto de vista del usuario— hay muy poca diferencia entre los métodos de lote y de cambio neto; la única discrepancia sustancial es la demanda de memoria de cómputo.

Actualización de información

A medida que transcurre el tiempo y se desarrolla la actividad de producción, los registros deben actualizarse para garantizar que se está utilizando la información correcta para la toma de decisiones. Para demostrarlo, veamos nuevamente el registro del producto X de nuestro ejemplo anterior:

Elemento: X	Disponibilidad: 50	Tamaño de lote: lote por lote					Tiempo de espera: 2				
Semana		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimiento bruto		20	20	20	10	10	20		40		40
Recepciones programadas											
Proyección de disponibilidad	50	30	10	0	0	0	0	0	0	0	0
Requerimientos netos		0	0	10	10	10	20	0	40	0	40
Liberación planificada del pedido		10	10	10	20		40		40		

Ahora supongamos que ha transcurrido la semana 1. Se presentó la demanda de 20 unidades en la semana 1 y el responsable de planificación dio luz verde a la liberación planificada de pedidos por 10 unidades en dicha semana. También daremos por sentado que en la semana 11 (del registro original) los clientes generan una demanda de 20 unidades. En consecuencia, en la siguiente semana el registro se modificaría como se muestra en la tabla. Observe que en la semana 1 el registro siguiente realmente contiene la información de la semana 2 del registro anterior, dado que la “antigua” semana 1 ha transcurrido y la nueva semana 1 en realidad es la misma que la “antigua” semana 2.

Elemento: X	Disponibilidad: 30	Tamaño de lote: lote por lote					Tiempo de espera: 2				
Semana		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimiento bruto		20	20	10	10	20		40		40	20
Recepciones programadas			10								
Proyección de disponibilidad	30	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Requerimientos netos		0	0	10	10	20	0	40	0	40	20
Liberación planificada del pedido		10	10	20		40		40	20		

Observe los cambios. La disponibilidad ahora es de 30 unidades, porque se utilizaron 20 en la “antigua” semana 1. Se dio luz verde a la liberación planificada de pedidos por 10 unidades en la “antigua” semana 1, y ahora se ha convertido en una recepción programada para la nueva semana 2. Todo lo demás se ha desplazado una semana, generándose el nuevo pedido de 20 unidades en la semana 10 (la “antigua” semana 11).

Es posible que los planes originales cambien por algún motivo. Tomemos el mismo registro y supongamos que, en lugar de las 20 unidades que esperamos serán demandas en la semana 1, los clientes sólo consumieron 15. En este caso, el nuevo registro sería como sigue:

Elemento: X	Disponibilidad: 35	Tamaño de lote: lote por lote					Tiempo de espera: 2				
Semana		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimiento bruto		20	20	10	10	20		40		40	20
Recepciones programadas			10								
Proyección de disponibilidad	35	15	5	0	0	0	0	0	0	0	0
Requerimientos netos		0		5	10	20	0	40	0	40	20
Liberación planificada del pedido		5	10	20		40		40	20		

Mensajes de excepción

Casi todos los sistemas MRP generan tanta información que cualquier responsable de planificación encontraría difícil revisarla toda. Para ayudarlo, el sistema casi siempre generará mensajes de excepción, los cuales básicamente sirven para llamar la atención del usuario y sugerirle algunas acciones para solucionar situaciones que puedan ser problemáticas. El más común de estos mensajes es el que se emite para liberar un pedido. Los dos tipos principales de liberación de pedidos son para órdenes de compra o para órdenes de producción. Casi siempre los artículos de la lista de materiales que no tienen componentes subordinados se adquieren a un proveedor externo, mientras que los componentes o subensamblajes que son padres de otros componentes generalmente se fabrican en la propia empresa.

Como se mencionó anteriormente, la computadora suele tomar el control de los artículos que no representan recursos reales (como la liberación planificada de pedidos), por lo que es recomendable que el sistema sólo genere mensajes de excepción para aquellas áreas que sí representan recursos reales, como las recepciones programadas. Veamos nuevamente el registro del componente C de nuestro ejemplo anterior:

Elemento: C	Disponibilidad: 100	Tamaño de lote: 300				Tiempo de espera: 2					
Semana		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimiento bruto		300		400		100					
Recepciones programadas		300									
Proyección de disponibilidad	100	100	100	0	0	200	200	200	200	200	200
Requerimientos netos		0	0	300	0	100	0	0	0	0	0
Liberación planificada del pedido		300		300							

Supongamos que por algún motivo (por ejemplo, cancelación del pedido por parte del cliente) las 300 unidades solicitadas como requerimientos brutos en la semana 1 no se necesitaron. El registro entonces se vería de la siguiente forma:

Elemento: C	Disponibilidad: 100	Tamaño de lote: 300				Tiempo de espera: 2					
Semana		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimiento bruto				400		100					
Recepciones programadas		300									
Proyección de disponibilidad	100	400	400	0	0	200	200	200	200	200	200
Requerimientos netos		0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
Liberación planificada del pedido				300							

Observe que la computadora reconoció que ya no necesitaba la liberación planificada de pedidos para la semana 1, y la eliminó. Esto es perfectamente aceptable, dado que sólo es una cifra planificada, que no compromete recurso real alguno. La recepción programada para la semana 1 es diferente; la computadora no modificará esa cantidad, ya que representa compromisos de recursos reales. En lugar de ello, observará que las 300 unidades en realidad no se necesitan en la semana 1, sino en la semana 3. El sistema generará entonces un mensaje de excepción para desplazar la recepción programada a la semana 3.

En este punto dependerá del responsable de la planificación decidir si el pedido se desplaza o no. Si, por ejemplo, los trabajadores de la operación de abastecimiento ya han comenzado a surtir el pedido, podría ser muy perjudicial suspender la configuración del equipo para introducir la nueva remesa de unidades. En consecuencia, tal vez el responsable de planificación decida continuar la operación como se planteó originalmente. Sin embargo, si no realizar el desplazamiento no resulta demasiado perjudicial, tal vez sería mejor llevarla a cabo, ya que los nuevos recursos podrían utilizarse para surtir otro pedido de producción. Parafraseando al difunto Oliver Wight, uno de los grandes pioneros en el desarrollo de los sistemas MRP: “cuando obtienes algo que no necesitas, casi siempre es a cambio de algo que sí necesitas”.

Otras fuentes de demanda

Partes de servicio. Aun si a un artículo determinado se le considera de demanda dependiente, puede experimentar una demanda de fuentes independientes. Por ejemplo, piense en una llanta para bicicleta. Ciertamente su principal demanda proviene de la fabricación de bicicletas, pero también es posible comprar una llanta para reemplazar otra de una bicicleta vieja. Muchos artículos que por lo general tienen demanda dependiente también tienen demanda independiente, o **de servicio**. Tal demanda debe reconocerse e integrarse en el registro del sistema MRP. Veamos cómo funcionaría esto volviendo al componente B de nuestro ejemplo.

Elemento: B	Disponibilidad: 35	Tamaño de lote: 50				Tiempo de espera: 1					
Semana		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimiento bruto		10	10	10	20		40		40		
Recepciones programadas											
Proyección de disponibilidad	35	25	15	5	35	35	45	45	5	5	5
Requerimientos netos		0	0	0	15	0	5	0	0	0	0
Liberación planificada del pedido				50		50					

Suponga ahora que existe una demanda de servicio independiente de 5 unidades por semana, proveniente de los clientes que ofrecen servicios de mantenimiento. El registro se vería de la siguiente forma:

Elemento: B	Disponibilidad: 35	Tamaño de lote: 50				Tiempo de espera: 1					
Semana		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimiento bruto		15	15	15	25	5	45	5	45	5	5
Recepciones programadas											
Proyección de disponibilidad	35	20	5	40	15	10	15	10	15	10	5
Requerimientos netos		0	0	10	0	0	35	0	35	0	0
Liberación planificada del pedido			50			50		50			

No sólo es preciso integrar un pedido planificado adicional, sino que también el tiempo se ha modificado. Asimismo, observe que como el artículo B es padre de dos componentes, los *requerimientos brutos para éstos también se modificarán*.

Inventario de seguridad. Desafortunadamente, todas las operaciones implican cierta incertidumbre, y no siempre resulta fácil controlarla. En ocasiones los registros de inventario son imprecisos, otras se presenta un problema con la calidad de cierta parte, y algunas más el tiempo de entrega es impreciso, etcétera. En determinados casos existe incluso incertidumbre en cuanto a si el tiempo de espera para el reabastecimiento de materiales puede extenderse más allá de un horizonte de planificación razonable. Muchas compañías eligen hacer frente a estas circunstancias por medio del uso de un inventario de seguridad, “por si acaso” algo saliera mal. El sistema MRP puede utilizarse para generar pedidos planificados con inventario de seguridad en mente. Como ejemplo, tomemos el registro del componente B con los requerimientos de servicio, pero incluyendo esta vez un requerimiento de inventario de seguridad de 10 unidades:

Elemento: B Disponibilidad: 35 Tamaño de lote: 50 Tiempo de espera: 1
Inventario de Seguridad: 10

Semana		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimiento bruto		15	15	15	25	5	45	5	45	5	5
Recepciones programadas											
Proyección de disponibilidad	35	20	55	40	15	10	15	10	15	10	55
Requerimientos netos		0	5	0	0	0	35	0	35	0	5
Liberación planificada del pedido		50			50		50		50		

Una vez más, los cambios son evidentes: en la semana 2 el registro anterior al requerimiento de inventario de seguridad muestra que ahora éste consta sólo de cinco unidades, lo cual viola el nivel mínimo indispensable. En consecuencia, el sistema desplaza el pedido planificado una semana antes para mantener la proyección de disponibilidad en 10 unidades o más. Lo anterior ocasiona también que se genere un pedido adicional en la semana 9, para evitar que el inventario de la semana 10 caiga por debajo del inventario de seguridad. La decisión de utilizar inventario de seguridad debe ponderarse cuidadosamente. Parafraseando de nueva cuenta a Oliver Wight, “el inventario de seguridad contamina las prioridades”. Lo que esto significa es que cuando los trabajadores vean llegar la orden de fabricar 50 unidades del componente B en la semana 1, saber que existe suficiente inventario para cumplir la demanda de la semana 2 podría hacerlos sentir escépticos respecto de la validez del sistema y de las cifras que éste genera; además, es evidente que el inventario de seguridad incrementa el gasto. Con frecuencia se recomienda que, contando con un buen sistema y controles de calidad, el inventario de seguridad se utilice sobre todo en los niveles más altos de la lista de materiales, muchas veces de manera exclusiva en el nivel del PMP, ya que es ahí en donde existe la variable más difícil de controlar: la demanda de los clientes. Todo lo correspondiente a los niveles más bajos deberá, por lo tanto, ser calculado y controlado desde la perspectiva de la dirección.

Rendimiento de calidad. Algunos procesos simplemente resultan incapaces de producir 100% de calidad para un lote completo. Si se presenta un problema de rendimiento, el sistema podrá utilizarse para hacerle frente. Volvamos una vez más a nuestro ejemplo: suponga que el proceso que se emplea para fabricar el componente D tiene

un rendimiento de 90%, lo que significa que históricamente sólo 90% —en promedio— de las partes fabricadas en el proceso pueden tener un nivel de calidad aceptable. Veamos el registro original y el nuevo registro con el rendimiento incorporado:

Registro original:

Elemento: D	Disponibilidad: 20	Tamaño de lote: 300				Tiempo de espera: 2					
Semana		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimiento bruto				250		250					
Recepciones programadas											
Proyección de disponibilidad	20	20	20	70	70	120	120	120	120	120	120
Requerimientos netos		0	0	230	0	180	0	0	0	0	0
Liberación planificada del pedido		300		300							

Nuevo registro:

Elemento: D	Disponibilidad: 20	Tamaño de lote: 300				Tiempo de espera: 2					
Rendimiento 90%											
Semana		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimiento bruto				250		250					
Recepciones programadas											
Proyección de disponibilidad	20	20	20	70	70	120	120	120	120	120	120
Requerimientos netos		0	0	230	0	180	0	0	0	0	0
Liberación planificada del pedido		333		333							

Observe que el sistema integra el bajo rendimiento planificando iniciar el proceso con 333 unidades. Con un rendimiento de 90%, esperamos que 300 unidades den lugar a un nivel aceptable. *El resto de las cifras del registro están basadas en las 300 unidades aceptables.*

Cambios en el diseño de ingeniería. El hecho de que el sistema MRP constituye un método de programación “que mira hacia adelante”, lo hace ideal para manejar cambios de diseño del producto. Utilizando la cifra de proyección de disponibilidad del balance, es fácil advertir cuando el inventario se encuentra demasiado bajo, o incluso cuando está en ceros, lo que nos permite programar un cambio de diseño con un riesgo reducido de que el inventario existente se vuelva obsoleto. En consecuencia, para que el sistema planifique el nuevo requerimiento de inventario todo lo que se necesita es integrar el nuevo número de partes en la lista de materiales y señalar una fecha efectiva.

Rastreo. De vez en cuando surgen problemas imprevistos con los artículos que ocupan un nivel bajo dentro de la lista de materiales. Por ejemplo, ¿qué sucedería si el proveedor del componente C nos informa que el pedido de 300 unidades para la semana 1 llegará una semana más tarde? ¿Cómo afectará esto nuestra producción y, lo más importante, cómo se verán impactados los pedidos de nuestros clientes por esta situación? Para obtener esta información utilizamos un concepto llamado **rastreo**, el cual —esencialmente— permite que el sistema trabaje de manera inversa hasta llegar a la lista de materiales y determinar los ensamblajes padres, o incluso a los pedidos de

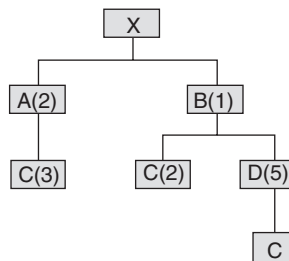
nuestros clientes que se verán impactados por el retraso de surtido. Esto nos permitirá notificar de forma oportuna a los clientes pueden ser notificados, o activar planes de contingencia antes de que el pedido retrasado se convierta en una crisis de producción. La replanificación basada la información de rastreo suele denominarse **replanificación de abajo hacia arriba**.

Pedidos planificados en firme. En muchas operaciones es frecuente que los pedidos de los clientes cambien; como tales modificaciones generalmente se presentan en el nivel superior de la lista de materiales, casi siempre dan lugar a numerosos cambios en todos los niveles inferiores. Esta condición suele denominarse “nerviosismo del sistema”, dado que un pequeño cambio en la parte superior ocasiona que todos los registros sufran alteraciones en respuesta. Esta situación hace que la planificación de un entorno relativamente estable se vuelva muy difícil; para evitarlo, en ocasiones se utiliza el concepto del pedido planificado de la empresa. El responsable de la planificación utiliza el **pedido planificado de la empresa** para indicar al sistema que se trata de un valor fijo y, por lo tanto, retirarlo del control de la computadora. Si el sistema detecta que el pedido debe desplazarse o que hay que modificar su cantidad, no se le permitirá hacerlo de manera automática; en lugar de ello, el sistema generará un mensaje de excepción señalando la necesidad detectada, pero será el responsable de la planificación quien tome la decisión. Otra forma de interpretar este concepto consiste en considerar que la computadora manejará el pedido planificado en firme como si fuera una recepción programada, aunque siga apareciendo en el renglón Liberación planificada del pedido y no represente recursos comprometidos de la compañía.

Asignación. En algunos casos existe la necesidad de “guardar” una parte de inventario adicional para un uso especial. Por ejemplo, suponga que un técnico de servicio llama al responsable de la planificación y le comenta que necesita reabastecer su inventario de componentes, utilizado tanto para servicio como para producción. Ciertamente esta demanda puede ser incluida como un pedido de servicio, pero si se trata de una situación “única” puede ser manejada por medio de la asignación. Esto básicamente significa que se apartan ciertos componentes y se resguardan, de manera que ya no estarán disponibles para la producción. Existen dos maneras de hacerlo; una de ellas se denomina “**asignación rígida**”, y consiste en que las partes se eliminan físicamente del almacén y los registros de inventario se modifican en consecuencia. Las partes se almacenan entonces en otra ubicación hasta que el técnico las solicite. El otro método es la “**asignación flexible**”, y consiste en llenar un campo del registro de la PMP para mostrar la utilización de las partes. Si, por ejemplo, existen 100 partes en inventario y el técnico necesita 20, es esta última cantidad la que se indica en el campo de asignación. Las 100 partes seguirán mostrándose en inventario, pero el registro de planificación tomará en cuenta 80 unidades en lugar de 100.

Por lo general se prefiere la asignación flexible, debido a que el registro muestra abiertamente la situación real. El problema con la asignación rígida radica en que las personas saben que los componentes existen en realidad, y pueden confundirse respecto de cuál es en verdad la disponibilidad para otros usos.

Codificación de bajo nivel. En ocasiones un artículo aparece varias veces en la lista de materiales (como en nuestro ejemplo inicial, donde el componente C aparece en dos ocasiones). Sin embargo, en algunos casos el artículo aparecerá en un nivel distinto

FIGURA 6.7 Lista de materiales para el producto X (modificada)

dentro de la lista de materiales. En nuestro caso anterior, el componente C se presentaba ambas veces en el nivel 2 de la lista. No obstante, suponga que la producción del componente D también exige un componente C, como se muestra en la figura 6.7.

En este caso el artículo C aparecería tanto en el nivel 2 como en el nivel 3. Dado que el sistema MRP tiende a realizar los cálculos nivel por nivel, calcularía la necesidad de C en el nivel 2 y luego otra vez al llegar al nivel 3. Para evitar este problema, por lo general a los artículos que se enumeran varias veces en una lista de materiales se les asignará el código del nivel más bajo en el que aparecen. De esta forma todos los componentes C serán calculados en conjunto, en el nivel 3.

Horizonte de planificación. Un factor importante a considerar es el horizonte de planificación, es decir, qué tan lejos en el futuro se desarrollarán los planes del sistema MRP. La respuesta casi siempre depende del tiempo de espera acumulado que requiere el producto en cuestión (como se analizó en el capítulo sobre programación maestra). Utilizando nuestro producto X (el original de la figura 6.6) como ejemplo, veamos los tiempos de espera acumulados a medida que avancemos sobre la lista de materiales. Existen tres “rutas” de arriba abajo. Una va de X a A y a C. La segunda va de X a B y a C, y la tercera va de X a B y a D. Sumando los tiempos de espera de cada ruta vemos que la ruta X-A-C consta de 7 semanas ($2 + 3 + 2$), y que las rutas X-B-C y X-B-D se componen de 5 semanas. El tiempo de espera acumulado más largo es de 7 semanas, lo que significa que ése será el horizonte de tiempo mínimo que necesitamos planificar para el abastecimiento futuro de componentes.

Como se analizó en el capítulo sobre programación maestra, planificar sin tomar en cuenta un horizonte suficientemente amplio conlleva una serie de problemas. Suponga, por ejemplo, que añadimos un pedido del producto X en la semana 6. Esto implica que la liberación de pedido para el producto X necesita hacerse con 2 semanas de anticipación, en la semana 4. Los requerimientos brutos de A se darán entonces en la semana 4 y, toda vez que el tiempo de espera es de 3 semanas, deberá efectuarse una liberación planificada del pedido en la semana 1. Por consiguiente, los requerimientos brutos de C surgirían en la semana 1; como tenemos un tiempo de espera de 2 semanas, ya estamos retrasados y ¡ni siquiera lo sabíamos!

6.5 RETOS POTENCIALES DEL SISTEMA MRP

A pesar del atractivo que guarda la lógica de los sistemas MRP, en ocasiones su efectividad se ve entorpecida por diversos factores de implementación. Algunos de los retos potenciales más importantes para la implementación son:

Precisión de los datos. Como fácilmente puede observarse a partir de los ejemplos desarrollados en este capítulo, el sistema MRP es *extremadamente* dependiente de la información. De hecho, utiliza varias bases de datos, que incluyen:

- Conteo y ubicación del inventario
- Registros maestros de artículos
- Registros de compras
- Lista de materiales
- Programas maestros

En tanto cualquiera de estas bases de datos presente información imprecisa o el ingreso de los mismos se dé con falta de oportunidad, el sistema reflejará el problema proporcionando cifras de planificación imperfectas.

Conocimiento del usuario. La educación y capacitación de los usuarios es muy importante. Las personas que no comprenden qué hace el sistema o cómo utilizar las cifras de planificación de manera efectiva, tendrán menos probabilidades de hacerlo trabajar con eficiencia.

PMP sobrecargado. Casi todas las cifras de planificación parten del programa maestro. Por lo tanto, resulta de enorme importancia que el desarrollo y mantenimiento de éste se dé de forma efectiva. Las técnicas para lograrlo se presentan en el capítulo sobre programación maestra. Uno de los problemas más comunes que impactan de manera negativa el uso efectivo del sistema MRP es la sobrecarga del mismo. En prácticamente todas las empresas se presentan de vez en cuando ciertos problemas inesperados (descomposturas de equipo, ausentismo, entregas retrasadas de proveedores, etcétera), que pueden ocasionar el incumplimiento de parte de la producción planificada en el programa maestro. Cuando esto sucede muchos gerentes bien intencionados simplemente insertarán el programa atrasado en el periodo de tiempo actual, sin importarles el impacto que esto tendría, tanto en la capacidad como en la utilización del material. Tales prácticas tarde o temprano dan lugar a programas poco factibles e irreales, lo que a su vez hace que las personas se muestren escépticas respecto de las cifras de planificación del MRP.

Compromiso de la dirección general. Para que un sistema MRP opere apropiadamente, es necesario contar con un alto nivel de disciplina dentro de la organización y, en algunos casos, exige también un cambio drástico en la “cultura corporativa” y en la prioridad de las medidas de desempeño dentro de la organización. Lograr esto es muy complicado en casi todas las organizaciones, sobre todo si no se cuenta con el liderazgo activo de un directivo superior. Éste debe comprender lo que el sistema hará por la organización, y asumir un papel activo y comprometido para realizar las modificaciones organizacionales necesarias a fin de apoyar el uso de este sistema de manera efectiva.

Insensibilidad de la capacidad. La explosión básica del MRP genera liberaciones planificadas de pedidos, con el supuesto subyacente de que estos pedidos contarán

con una capacidad apropiada y del tipo adecuado para producirlos o adquirirlos. Por este motivo los sistemas modernos utilizan planificación de la capacidad en conjunto con MRP. En gran medida, esto se logra mediante el desarrollo del plan de ventas y operaciones, pero este plan suele presentarse en un nivel demasiado alto para los pedidos de producción detallados. Por lo general se utilizan dos niveles adicionales de capacidad. El primero se denomina “corte aproximado” y se genera a partir de la información del PMP, al mismo tiempo que se desarrollan planes detallados de la capacidad, tomando en cuenta las liberaciones planificadas de pedidos del MRP.

La naturaleza de “empuje” del MRP. El MRP es un sistema de “empuje”, lo que significa que los pedidos se liberan de acuerdo con el plan y se “empujan” hacia el área de trabajo apropiada. El supuesto es que, si el plan es correcto, será necesario el material específico en la cantidad determinada. A pesar de que se ponga el suficiente cuidado en el desarrollo del plan, la verdad es que con frecuencia los pedidos se empujan hacia un centro de trabajo antes de que realmente se requieran, y en ocasiones sin requerirse en absoluto. Esta situación se presenta debido a la naturaleza volátil de muchos de los entornos de operación. Algunos problemas que pueden dar lugar a ello son:

- Cambios en los pedidos de los clientes, incluyendo tiempo y cantidad
- Problemas en el centro de trabajo, como fallas de la maquinaria
- Deficientes estándares de trabajo, que ocasionan que el trabajo real lleve más tiempo del planificado
- Problemas de entrega del proveedor, lo que da lugar a que un componente necesario para la producción no esté disponible

Como podría esperarse, es posible que las condiciones opuestas también se presenten, por ejemplo, que la liberación del pedido al centro de trabajo se retrase. Esto es bastante común cuando alguna condición (por ejemplo, requerimientos del cliente) ocasiona que la operación busque agilizar un pedido.

6.6 PLANIFICACIÓN DE RECURSOS EMPRESARIALES (ERP)

Toda vez que los resultados del sistema MRP representan básicamente la actividad principal que se lleva a cabo en la instalación de producción, las cifras pueden utilizarse, de hecho, como base para la planificación de casi todas las actividades globales de la empresa, incluyendo necesidades de marketing, finanzas, ingeniería y recursos humanos. Esto ha llevado al desarrollo de sistemas bastante completos y sofisticados durante los últimos años. Primero vino la generación del MRP de “lazo cerrado”, que evolucionó después a lo que se denomina MRP II (o planificación de recursos de manufactura). El sistema MRP II toma en cuenta el problema de insensibilidad de la capacidad de los cálculos del MRP básico, lo que permite que la determinación de recursos y capacidad modifique los planes originales. Posteriormente estos sistemas continuaron evolucionando hasta llegar a lo que generalmente se conoce como “ERP” (por las siglas en inglés de *Enterprise Resource Planning*), o sistema de planificación de recursos empresariales.

La premisa básica del ERP es que los planes de producción de la compañía derivan de (o trazan las directrices de) las decisiones de prácticamente todas las demás

partes de la compañía. En otras palabras, ninguna área funcional en una compañía puede, ni debe, operar de manera aislada. Casi todas las funciones en la compañía están (o deberían estar) vinculadas entre sí, buscando en conjunto la maximización del servicio al cliente y la consecución de las metas financieras y estratégicas de la empresa. Dada esta premisa bastante evidente, el “corazón” del sistema de planificación (MRP) puede utilizarse como base para desarrollar un software bastante integrado, capaz de emplearse para dirigir la empresa completa. Estos sistemas no sólo están integrados, sino que por lo general utilizan una base de datos común, con lo que la información clave utilizada para tomar las decisiones de la empresa se encontrará igualmente disponible para todas las funciones clave. En vista del incremento de capacidad, flexibilidad, funcionalidad y facilidad que permiten los modernos sistemas de cómputo, esta evolución hacia la vinculación e integración del software fue un “siguiente paso” lógico de la planificación y el control.

A medida que estos sistemas se desarrollaron y sus métodos se volvieron más integrados y “uniformes” para suministrar información funcional, se les asignó el nombre de **planificación de recursos empresariales (o ERP)**. Este calificativo intenta reflejar la manera en que la utilización de dichos sistemas se ha extendido más allá de la planificación y el control, abriendo la posibilidad de emplearlos para manejar la empresa completa de manera integrada y funcional. Algunos ejemplos incluyen:

- Ventas y marketing proporcionan la información respecto de ventas futuras, y pueden utilizar el sistema tanto para comprometer pedidos como para rastrearlos. También se incluye la distribución.
- El área de ingeniería puede hacer planes para modificar productos y procesos con base en los programas de producción y de marketing, así como en la disponibilidad del personal clave con habilidades específicas.
- Finanzas y contabilidad pueden proyectar flujos de efectivo y plantear la necesidad de inversiones o créditos, así como llevar el registro de los costos de producción y otros rubros de manera más efectiva y oportuna. ERP incluye también sistemas de contabilidad, como cuentas por pagar y cuentas por cobrar.
- Recursos humanos puede proyectar la necesidad de personal, incluyendo los tiempos, habilidades y cantidades, así como utilizar la información para determinar los requerimientos y programas de capacitación.
- La alta dirección puede tener un acceso disponible a toda la información necesaria para tomar decisiones operativas y estratégicas clave.
- Los proveedores y distribuidores pueden formar parte integral del sistema de planificación, convirtiendo el concepto de “administración de la cadena de suministro” más en una realidad que sólo en un punto de vista conceptual.
- Las operaciones, naturalmente, pueden realizar planes efectivos para la programación del trabajo y para la utilización efectiva de la capacidad y otros recursos. La disponibilidad de acceso a toda la información relevante para la planificación hace que esto sea posible.

A pesar de las ventajas obvias que un sistema integrado como éste puede ofrecer, su implementación exitosa puede convertirse en un mayor reto que la de un sistema

menos integrado. Esta integración provoca la necesidad de contar con flujos de información efectivos y eficientes, lo que implica que los procesos de negocio que generan y soportan tales flujos de información deben ser, también, efectivos y eficientes. Las personas involucradas en estos procesos deben conocer el sistema y ser efectivos en su utilización; además, tendrán que vigilarlo constantemente para garantizar que la información generada se mantenga y siga siendo precisa y oportuna. Un sistema integrado es como una pieza compleja de maquinaria: cada una de sus partes debe trabajar correctamente y en conjunto con las demás; de lo contrario, la maquinaria no cumplirá las expectativas para las que fue diseñada. Estos conceptos implican la necesidad de que todas las organizaciones lleven a cabo un análisis detallado de sus procesos, y muchas encontrarán que se requiere una importante labor de mejora o una reingeniería total de procesos antes de que puedan proceder lógicamente con cualquier implementación de ERP.

Los sistemas ERP modernos ofrecen una gran capacidad y valor a las compañías que lo implementan exitosamente. Por desgracia, la naturaleza integradora de los sistemas hace que el éxito de su implementación sea algo muy complicado; muchas compañías no lo han logrado, aun cuando en casi todos los casos hicieron un gran esfuerzo intentándolo. El éxito de la implementación exige un grupo de personal altamente capacitado, y por lo general también se necesita un nivel similar de habilidad para administrarlo y mantenerlo en operación.

Dada la naturaleza del ERP (que involucra a toda la organización y a sus funciones) un análisis más profundo se encuentra fuera del alcance de este libro. Además, buena parte de los retos de implementación involucran individuos distintos al personal operativo. Con esto en mente, resulta indispensable ser precavidos al considerar la implementación de un ERP: toda vez que este objetivo demanda un gran —y con frecuencia costoso— paquete de software, podría considerarse que se trata de una mera cuestión de tecnología de información. Sin embargo, aunque ésta juega un papel vital, la implementación de un ERP debe considerarse como una decisión global de la empresa, ya que prácticamente todas sus partes se verán impactadas.

6.7 ASPECTOS DEL ENTORNO DE NEGOCIOS

Aunque los conceptos de MRP pueden funcionar en prácticamente cualquier entorno, los requerimientos de información y formalidad del sistema lo vuelven impráctico para algunos de ellos. Entre los más obvios está el entorno de los servicios, en el que la “lista de materiales” (si es que existe tal cosa) es tan dependiente de los requerimientos del cliente que, en los casos más extremos, la compañía podría verse forzada a diseñar una nueva lista de materiales para cada cliente. Ésta es una situación en la que obviamente sería inapropiado ejecutar un sistema tan formal y complejo. Lo mismo puede decirse respecto de muchos entornos de fabricación bajo pedido (MTO) e ingeniería bajo pedido (ETO), debido a la gran variedad de artículos finales y diseños de productos finales.

El entorno de fabricación para almacenamiento (MTS) claramente es un buen ejemplo de una estructura definida que se prestaría bien para una configuración MRP. Sin embargo, si existe un grado relativo de estabilidad en la demanda y en el diseño

del producto final, quizá haya métodos más sencillos, que reducirán tanto la complejidad como el costo del sistema (vea el capítulo 9). El entorno de armado bajo pedido (ATO), sin embargo, prácticamente es el perfecto para que un sistema MRP trabaje bien. Por otro lado, todo entorno en el que existan complejidades tenderá a reafirmar el valor del MRP. Tales complejidades incluyen sofisticaciones del diseño (muchos cambios de ingeniería o nuevos productos), sofisticación de la demanda (alta variabilidad, por ejemplo), o alta complejidad en otros aspectos del entorno (calidad del producto, entrega de los proveedores, disponibilidad del equipo, etcétera). En general, MRP es un sistema de vanguardia que permite la planificación, en oposición a la reacción. En tanto el entorno se encuentre más caracterizado por la inestabilidad, más beneficios podrá ofrecer el MRP sobre otros sistemas y, con frecuencia, logrará que los costos de implementación y ejecución de un sistema tan formal y estructurado valgan la pena.

Toda vez que los sistemas ERP modernos representan el análisis y la planificación de recursos de prácticamente todos los aspectos del negocio, constituyen otra oportunidad para soportar al negocio. De manera específica, su naturaleza de anticipación y vanguardia permite que los directivos ingresen la información necesaria para evaluar el impacto que podrían provocar diversos escenarios sobre el negocio como un todo. Esto por lo general se denomina análisis de escenarios, y puede resultar muy revelador y valioso para la toma inteligente de decisiones de negocio.

TÉRMINOS CLAVE		
Archivo maestro de artículos	Liberación planificada de pedidos	Relación componente – padre
Asignación flexible	Lista de materiales	Replanificación de abajo hacia arriba
Asignación rígida	Lista esquemática de materiales	Requerimientos brutos
Cambio de ingeniería	Mensajes de excepción	Requerimientos netos
Cambio neto	MRP II	Tiempo de configuración
Codificación de bajo nivel	Pedido planificado en firme	Tiempo de desplazamiento
Demanda de servicio	Planificación de Recursos	Tiempo de espera
Demanda dependiente	Empresariales (ERP)	Tiempo de espera en fila
Demanda independiente	Procesamiento por lotes	Tiempo de espera por adquisición
Estructura de producto	Rastreo	Tiempo de procesamiento
Explosión de MRP	Recepción programada	Trayectoria del proceso
Horizonte de planificación	Regeneración	
Inventario de seguridad		

RESUMEN	
Este capítulo desarrolla una metodología básica para la planificación del inventario de demanda dependiente: el sistema conocido como planificación de requerimientos materiales (MRP, por sus siglas en inglés). Aun cuando muchas empresas han tenido dificultades para implementar exitosamente el concepto MRP (sobre todo debido a la necesidad de precisión en la informa-	

ción y al conocimiento necesario para utilizar el sistema), sigue siendo un enfoque lógico que puede resultar muy valioso. Las múltiples implementaciones exitosas han demostrado el valor que MRP tiene para las empresas que están dispuestas a desarrollar el entorno necesario para soportar la naturaleza altamente integrada de un sistema

MRP completo. A medida que las computadoras se han vuelto más poderosas y prácticas, el poder de la información generada por el MRP ha podido expandirse para ser utilizado como base para manejar el negocio completo, evolucionando de esta manera hasta el sistema de planificación de recursos empresariales (ERP)

REFERENCIAS

Chase, R. B. y N. J. Aquilano, *Production and Operations Management*. Homewood, Illinois: Irwin, 1985.

Fogarty, D. W., J. H. Blackstone, Jr. y T. R. Hoffmann, *Production and Inventory Management*. Cincinnati, Ohio: South Western, 1991.

Plossl, G., *Orlicky's Material Requirements Planning*. New York: McGraw-Hill, 1994.

Vollmann, T. E., W. L. Berry y D. C. Whybark, *Manufacturing Planning and Control Systems*. New York: Irwin McGraw-Hill, 1997.

PREGUNTAS Y PROBLEMAS DE ANÁLISIS

- ¿Qué cree usted que sucedería si se le solicitara asignar cierto inventario para I&D, pero al hacerlo estaría violando los niveles del inventario de seguridad?
- El producto Y se fabrica a partir de un componente P, tres componentes Q y dos componentes R. P se fabrica con dos partes S. Q se fabrica a partir de una parte S, y R a partir de dos partes S y tres partes T. Otros datos importantes son los siguientes:

Parte	Tiempo de espera	Tamaño de lote	Disponibilidad	Recepciones programadas	Inventario de seguridad
Y	1	lote por lote	30	ninguna	5
P	2	40	15	ninguna	ninguno
Q	2	100	8	ninguna	8
R	3	120	30	ninguna	ninguno
S	2	500	20	500, semana 1	20
T	2	600	370	ninguna	50

- Complete la explosión de MRP para el producto Y. Identifique cualquier problema y analice posibles soluciones.
 - El proveedor de la parte S le informa que su entrega se demorará una semana. ¿Qué problemas ocasiona esto y qué posibles alternativas existen?
- El producto "X" cuenta con la siguiente estructura de producto. Además se presentan detalles relevantes para cada componente.
 - Complete el programa maestro y genere los registros MRP para cada uno de los componentes.
 - Suponga que el proveedor de las 600 partes "C" programadas para la semana 1 le notifica que un problema con el equipo provocó que las partes le sean enviadas hasta la semana 3. ¿Cuáles son las implicaciones de esto? Describa TODAS las opciones posibles en este caso.

Producto “X”

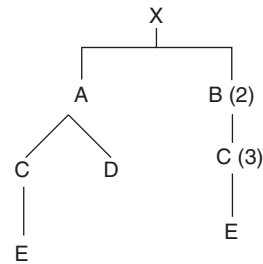
Disponibilidad = 30

Inventario de seguridad = 0

Barrera de tiempo de demanda = 2

Barrera de tiempo de planificación = 10

Tamaño de lote = 50



Programa maestro para X:

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pronóstico	20	25	20	30	20	20	25	25	25	25
Pedidos de clientes	26	21	13	8	3	1	0	0	5	0
Proyección de disponibilidad										
Disponible para promesa										
PMP		50		50		50		50		50

Información de los componentes:

Componente	A	B	C	D	E
Tamaño de lote	Lote por lote	150	600	70	1000
Disponibilidad	20	30	110	55	0
Tiempo de espera	1	2	3	1	2
Inventario de seguridad	Ninguno	Ninguno	100	20	Ninguno
Recepciones programadas	Ninguno	150, Sem 2	600, Sem 1	Ninguno	1000, Sem 1
Requerimientos de servicio	Ninguno	20/semana	Ninguno	Ninguno	40/Sem

4. El producto A se fabrica a partir de dos componentes, B y C. Se necesita un componente B y tres C para fabricar un solo producto A. El componente B se fabrica a partir de dos partes D. El componente C se fabrica a partir de una parte D y 2 partes C. Utilice esta información junto y los datos siguientes para responder las preguntas:

Parte	Tiempo de espera	Tamaño de lote	Disponibilidad	Recepciones programadas
B	1	Lote por lote	10	Ninguna
C	2	200	100	Ninguna
D	1	300	120	Ninguna
E	2	500	0	500, semana 1

El inventario de seguridad de la parte E es de 100 unidades.

- Realice los registros para B, C, D y E. Las cantidades de producción y las fechas de inicio de producción para A son: 20 en la semana 2, 50 en la semana 4, 30 en la semana 6, 40 en la semana 7, 50 en la semana 9, y 40 en la semana 11.
- Suponga que el gerente de calidad le indica que las 120 partes D disponibles fueron dañadas en un accidente de riego, y que no estarán disponibles para la producción. ¿Qué acciones deberá tomar?
- El gerente de compras le ha confirmado que el proveedor de la parte E sólo fue capaz de enviar 480 de las 500 unidades que usted esperaba recibir en la semana 1. ¿Qué problemas potenciales ocasiona esto y cómo les haría frente?

5. Utilice los espacios vacíos del registro de MRP adjunto para completar la información relativa a los componentes B, C, D y E. Luego, emplee dichos datos para responder las tres preguntas. El artículo A es el producto terminado, fabricado con una parte B y dos C. El artículo B se fabrica a partir de tres partes D y una E. El artículo C se fabrica a partir de una D y dos E.

A continuación se presentan las cantidades de PMP para el artículo A (cantidades de PMP, no demanda de los clientes):

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
PMP			20	30		50		40	30		50	

Otros datos necesarios:

Artículo	B	C	D	E
Tamaño de lote	Lote por lote	150	250	400
Tiempo de espera	1	2	1	2
Disponibilidad	10	50	10	320
Recepciones programadas	Ninguna	Ninguna	250, Semana 1	Ninguna
Inventario de seguridad	Ninguno	Ninguno	20	Ninguno

- ¿Hay algo importante de qué preocuparse? ¿Qué y por qué?
 - El departamento de I&D desea tomar inmediatamente las 10 unidades de D que están disponibles, y quiere otras 20 en la semana 1. ¿Qué les diría y por qué?
 - El responsable de la programación maestra le pregunta si es posible mover el PMP de 20 unidades de la semana 3 a la semana 2. A partir de los registros del PMP, ¿qué le diría y por qué?
 - I&D cuenta con un nuevo diseño que desea implementar para la parte C, y le pregunta cuándo debería planificar llevarlo a cabo. ¿Qué les diría y por qué?
6. a. El producto A se fabrica a partir de tres subensamblajes B y dos C. El subensamblaje B se fabrica a partir de dos subensamblajes E y uno D. El subensamblaje C se fabrica con un E y dos D. Dada esta información y los datos siguientes, complete las explosiones de MRP para cada B, C, D y E en la tabla (los tamaños de lote son mínimos).

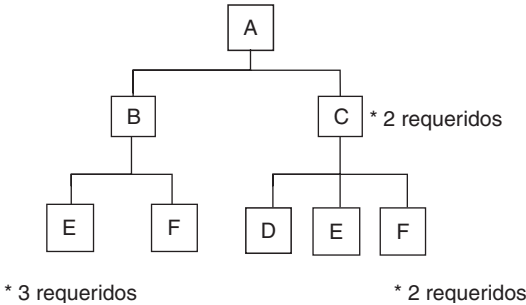
Componente	Tamaño de lote	Tiempo de espera	Recepciones programadas	Disponibilidad	Inventario de seguridad
B	Lote por lote	1	Ninguna	15	Ninguno
C	80	2	Ninguna	30	Ninguno
D	200	1	200, semana 2	10	Ninguno
E	250	2	Ninguna	180	75

El producto A tiene los siguientes valores de PMP:

10 en la semana 3
 20 en la semana 5
 10 en la semana 6
 30 en la semana 8
 20 en la semana 10

- El especialista en inventario le acaba de informar que 140 unidades del componente E presentan un defecto y deben ser desechados. ¿Qué acciones deberá tomar?

7. La figura siguiente muestra la lista la materiales (LDM) para la compañía Acme PolyBob. Complete los registros de MRP de la siguiente página. Toda la información que necesita se muestra en la LDM y los registros de MRP.



B Tiempo de espera = 1 semana Cantidad mínima de pedido = 1

Semana	1	2	3	4	5	6
Requerimientos brutos		250	300	300	300	200
Recepciones programadas						
Proyección de disponibilidad	0					
Requerimientos netos						
Recepciones programadas						
Liberaciones planificadas de pedidos						

C Tiempo de espera = 3 semanas Cantidad mínima de pedido = 500

Semana	1	2	3	4	5	6
Requerimientos brutos						
Recepciones programadas		500	600			
Proyección de disponibilidad	0					
Requerimientos netos						
Recepciones programadas						
Liberaciones planificadas de pedidos						

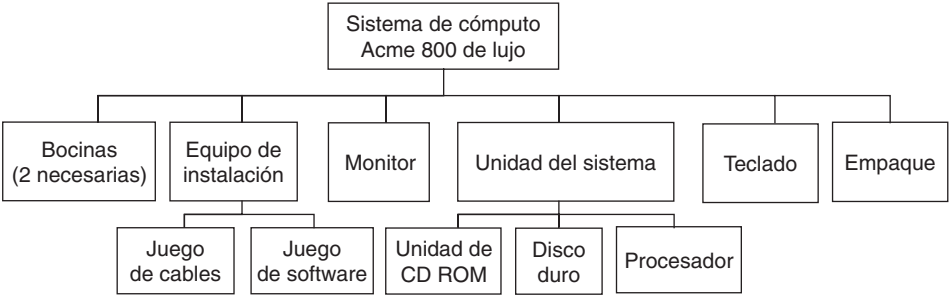
E Tiempo de espera = 4 semanas Cantidad mínima de pedido = 5000

Semana	1	2	3	4	5	6
Requerimientos brutos						
Recepciones programadas						
Proyección de disponibilidad	5,750					
Requerimientos netos						
Recepciones programadas						
Liberaciones planificadas de pedidos						

F Tiempo de espera = 5 semanas Cantidad mínima de pedido = 750

Semana	1	2	3	4	5	6
Requerimientos brutos						
Recepciones programadas						
Proyección de disponibilidad		4,750				
Requerimientos netos						
Recepciones programadas						
Liberaciones planificadas de pedidos						

8. Complete los registros MRP de la siguiente página. Observe el diagrama que se muestra a continuación:



- Los planes de producción para el sistema de cómputo Acme 800 de lujo son los siguientes:
 - Inicio del ensamblaje de 2,500 equipos en la semana 2
 - Inicio del ensamblaje de 3,000 equipos en las semanas 3, 4 y 5
 - Inicio del ensamblaje de 2,000 equipos en la semana 6
- Los requerimientos brutos para la **unidad del sistema** ya se le han proporcionado, pero deberá calcular los correspondientes a los artículos siguientes.
- Todas las recepciones programadas, tiempos de espera y niveles de inventario inicial se listan enseguida.

Unidad del sistema

Tiempo de espera = 1 semana

Cantidad mínima de pedido = 1

Semana	1	2	3	4	5	6
Requerimientos brutos		2,500	3,000	3,000	3,000	2,000
Recepciones programadas						
Proyección de disponibilidad		0				
Requerimientos netos						
Recepciones programadas						
Liberaciones planificadas de pedidos						

Bocinas

Tiempo de espera = 1 semana
Cantidad mínima de pedido = 5000

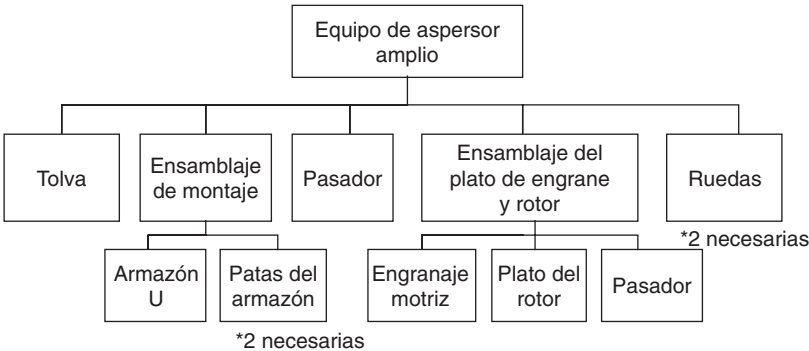
Semana	1	2	3	4	5	6
Requerimientos brutos						
Recepciones programadas	5,000					
Proyección de disponibilidad	0					
Requerimientos netos						
Recepciones programadas						
Liberaciones planificadas de pedidos						

Unidades de CD ROM

Tiempo de espera = 6 semanas
Cantidad mínima de pedido = 5000

Semana	1	2	3	4	5	6
Requerimientos brutos						
Recepciones programadas						
Proyección de disponibilidad	13,500					
Requerimientos netos						
Recepciones programadas						
Liberaciones planificadas de pedidos						

9. La compañía Acme Tool & Manufacturing fabrica una amplia variedad de productos para el cuidado de jardines. Los productos de Acme se venden bajo varias marcas, y están disponibles en tiendas minoristas. Uno de los productos de Acme es el Aspersor amplio modelo #540, cuyo diagrama de fabricación se muestra a continuación.



Complete los registros de MRP de la siguiente página. Tome en cuenta esta información:

- Acme pretende iniciar el ensamble de 2,000 equipos de aspersores amplios en las semanas 2, 4 y 6.

- Los requerimientos brutos para el **ensamblaje de plato de engrane y rotor** ya se le han proporcionado. En el caso de los artículos restantes necesitará calcularlos usted mismo.
- Todas las recepciones programadas, tiempos de espera y niveles de inventario inicial se muestran en la lista.
- Observe que los pasadores aparecen **dos veces** en la lista de materiales.

Ensamblaje del plato de engrane y rotor

Tiempo de espera = 1 semana

Cantidad mínima de pedido = 2500

Semana	1	2	3	4	5	6
Requerimientos brutos		2,000		3,000		2,000
Recepciones programadas						
Proyección de disponibilidad	1,000					
Requerimientos netos						
Recepciones programadas						
Liberaciones planificadas de pedidos						

Ruedas

Tiempo de espera = 1 semana

Cantidad mínima de pedido = 1

Semana	1	2	3	4	5	6
Requerimientos brutos						
Recepciones programadas						
Proyección de disponibilidad	0					
Requerimientos netos						
Recepciones programadas						
Liberaciones planificadas de pedidos						

Pasadores

Tiempo de espera = 3 semanas

Cantidad mínima de pedido = 15,000

Semana	1	2	3	4	5	6
Requerimientos brutos						
Recepciones programadas						
Proyección de disponibilidad	11,000					
Requerimientos netos						
Recepciones programadas						
Liberaciones planificadas de pedidos						

- La compañía Acme Electronics fabrica dos modelos de reproductores de audiocintas Wyle E. Coyote. Aunque existen diferencias entre los productos, también cuentan con partes en

común. Cada modelo A se fabrica a partir de 1 subensamblaje C y 2 subensambles D. El modelo B se fabrica a partir de 2 C y 2 E. El subensamblaje C se fabrica a partir de 2 F y 2 G. El subensamblaje D se fabrica a partir de 2 F. Cada uno de los componentes F se fabrica a partir de 2 I, y cada componente G, a partir de 1 H. El subensamblaje E y los componentes I y H se compran a un proveedor externo. La tabla siguiente presenta información sobre cada componente. Observe que si los requerimientos para cualquier periodo exceden el tamaño de lote, se ordenará la cantidad exacta necesaria. Identifique si existe algún problema potencial y presente alguna forma de resolverlo. Actualmente el PMP para A requiere fabricar 100 unidades en la semana 7, 300 unidades en la semana 9, y 200 unidades en la semana 11. El PMP para B requiere fabricar 50 unidades en la semana 7, 400 unidades en la semana 8 y 300 unidades en la semana 10.

<i>Componente</i>	<i>Disponible</i>	<i>Tamaño de lote</i>	<i>Tiempo de Espera (semanas)</i>
C	75	250	1
D	80	300	2
E	100	400	1
F	150	2000	1
G	40	550	1
H	600	700	5
I	1300	5000	2

- Utilice esta información para generar liberaciones planificadas de pedidos para todo el material componente, a fin de cumplir la demanda de PMP.
- Después de hacer el plan, se le indica que 200 de los componentes H en inventario se han desechado debido a problemas de calidad. El proveedor de H ha dicho que sería imposible agilizar el envío ya que está enfrentando problemas de maquinaria. ¿Cómo le impactaría esto y cuál sería el mejor curso de acción?

CAPÍTULO 7

Administración de la capacidad

Esquema del capítulo

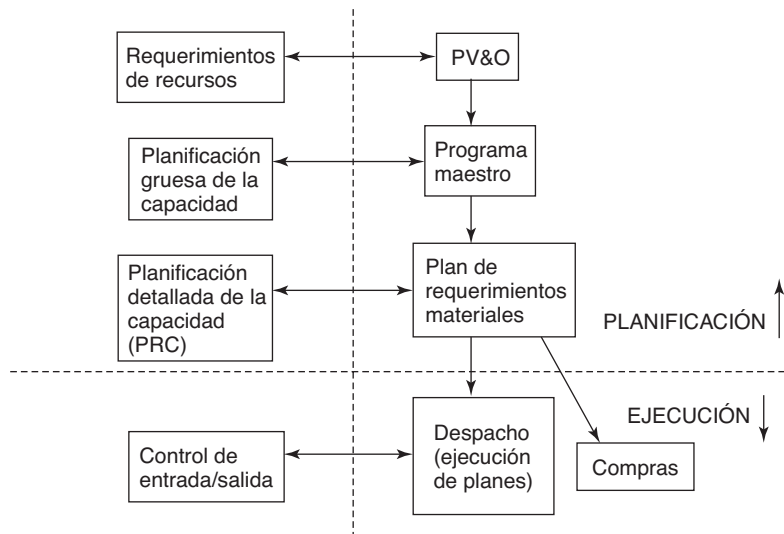
- 7.1 Definiciones de la capacidad
- 7.2 Planificación gruesa de la capacidad
- 7.3 Planificación de requerimientos de capacidad (PRC)
- 7.4 Control de Entrada/Salida (E/S)
- 7.5 Medidas de capacidad
- 7.6 Método general para la administración de la capacidad

Introducción— Prácticamente todo el análisis de planificación que hemos realizado hasta el momento se ha centrado en la producción de bienes y/o servicios provenientes de la operación. En el estudio de algunas de las herramientas (como el sistema MRP), básicamente dimos por sentado que la producción podría efectuarse si se hacía una apropiada planificación y programación de la cantidad correcta de los componentes adecuados.

Es probable que esta aseveración sea bastante cierta, *SI* se ha desarrollado una planificación adicional, paralela al desarrollo de los planes específicos. La actividad de planificación más importante consiste en asegurarnos de que las cantidades adecuadas de los tipos de capacidad correcta estarán disponibles para ejecutar correctamente los planes de producción.

Recuerde que existen varios niveles de planificación para la producción (por ejemplo, planificación de negocios, de ventas y operaciones, programación maestra, MRP), cada uno de cuyos niveles toma en cuenta distintos subniveles de detalle, tanto en materiales como en tiempo. Del mismo modo, las herramientas de planificación de la capacidad se ajustan a los niveles apropiados de detalle. Para decirlo de manera más específica:

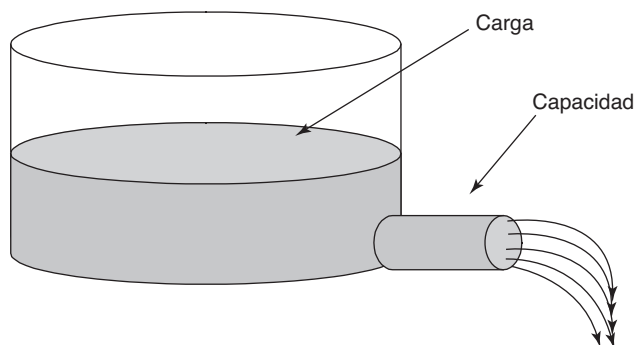
La planificación de recursos de alto nivel, inherente al plan de ventas y operaciones, se analizó en el capítulo 3. Por consiguiente, en éste nos enfocaremos sobre todo en la planificación gruesa de la capacidad (por lo general vinculada con el programa maestro), en la planificación detallada de la capacidad (casi siempre conocida como planificación de requerimientos de capacidad —o PRC—, vinculada con el sistema MRP), y en el control de entrada/salida. Sin embargo, antes de proceder al análisis de dichos temas, es necesario aclarar algunas definiciones referentes a la capacidad.

FIGURA 7.1 Relaciones de la planificación

7.1 DEFINICIONES DE LA CAPACIDAD

Aunque la siguiente afirmación no tiene validez universal, para casi todas las organizaciones (en especial en el caso de las empresas de manufactura) la **capacidad** es una declaración de la tasa de producción y, por lo general, se mide como la salida (o resultado) del proceso por unidad de tiempo. Las empresas que utilizan una medición diferente de la capacidad por lo general son organizaciones de servicio especializado. Los hospitales, por ejemplo, suelen medir la capacidad en función del número de camas.

Cuando se planifica o administra la capacidad, otro término que resulta frecuente encontrar es la carga del proceso. La **carga** representa el trabajo liberado y planificado para el proceso durante un periodo determinado. La relación entre la capacidad y la carga se ilustra en la figura 7.2, en donde esta última está representada por la cantidad de agua dentro de un tanque, mientras que la capacidad se indica mediante la velocidad a la que éste puede vaciarse.

FIGURA 7.2 Representación gráfica de la carga y la capacidad

En términos generales, la **planificación de la capacidad** es el proceso que consiste en reconciliar la diferencia entre la capacidad disponible del proceso y la capacidad requerida para administrar de manera apropiada una carga, con el objetivo de satisfacer los tiempos de producción para el cliente específico cuyos pedidos representan la carga. Una vez que la carga y la capacidad disponible se miden, el proceso de planificación básicamente requiere que el responsable de la planificación ajuste esta última para atender la carga o, en algunos casos, ajustar la carga a la capacidad disponible. En el último caso (ajuste de la carga) suele existir muy poca flexibilidad en la capacidad disponible. Tal vez resulte por completo imposible modificar la capacidad disponible, sobre todo en el corto plazo. En este caso, los responsables de la planificación tendrán que concentrarse en administrar la carga a través de promesas/compromisos de pedido, o mediante algún otro mecanismo (como un sistema de reservaciones). Casi todas las compañías intentarán ajustar la capacidad —en la medida de lo posible— para atender la carga, a fin de mantener un alto nivel de servicio respecto de las necesidades de los clientes.

7.2 PLANIFICACIÓN GRUESA DE LA CAPACIDAD

Existen varios métodos de planificación gruesa. Como es de esperar, los métodos que son más fáciles de calcular y que requieren la menor cantidad de información también son los más “aproximados”, lo que significa que son los menos específicos y detallados. Las compañías más pequeñas y las empresas de servicios con frecuencia no cuentan con sistemas formales de planificación gruesa, aunque muchas de ellas desarrollan metodologías informales o de propósito específico para determinar si su programa maestro es factible. El análisis siguiente se centra en los métodos más formales, y va de los básicos a los más específicos. Los métodos que se emplean en los sistemas más informales y en las operaciones de servicio son similares en su filosofía y estrategias básicas.

Planificación de la capacidad utilizando factores globales. Éste es el más “aproximado” de los métodos gruesos. El concepto es simple: se toman las horas estándar para cada uno de los artículos que se producen de acuerdo con el programa maestro, y se multiplican por las horas estándar (o por un promedio histórico de éstas) utilizadas para producir el artículo. Después se determina la capacidad necesaria por centro de trabajo, tomando un porcentaje histórico de su utilización. Considere el siguiente ejemplo: el programa maestro incluye dos artículos, X y Y. Ambos se producen utilizando tres centros de trabajo, denominados mediante los números 100, 200 y 300.

La tabla siguiente lista los valores de PMP de los dos productos para los próximos cinco periodos:

Semana	1	2	3	4	5
X	10	10	15	15	15
Y	25	25	20	20	25

El total de horas estándar para producir el artículo X están dadas como 1.557, y como 5.331 horas en el caso del artículo Y. Históricamente, 20% de las horas requiri-

das para fabricar los productos se desarrollan en el centro de trabajo 100, 45% se llevan a cabo en el centro de trabajo 200, y el 35% restante se efectúa en el centro de trabajo 300.

Utilizando las horas totales para cada producto podemos calcular las horas totales requeridas para cumplir con el programa maestro:

Semana	1	2	3	4	5
Horas totales	148.845*	148.845	129.975	129.975	156.63

$$*[10(1.557) + 25(5.331)] = 148.845$$

Todo lo que tenemos que hacer ahora para obtener un estimado grueso de los requerimientos de capacidad de cada uno de los tres centros de trabajo (CT), es multiplicar las horas totales por los porcentajes históricos.

Semana	1	2	3	4	5
CT 100	29.77	29.77	25.0	25.0	31.33
CT 200	66.98	66.98	58.49	58.49	70.48
CT 300	52.1	52.1	45.49	45.49	54.82

A partir de esta información podremos hacernos una idea aproximada de los requerimientos de capacidad para que cada centro de trabajo pueda cumplir con el programa maestro. En este punto resulta evidente que será preciso tomar algunas decisiones: la capacidad deberá planificarse para cumplir con el programa de fabricación proyectado según lo define el programa maestro, o el programa maestro deberá modificarse en aquellos casos en que la capacidad no pueda ajustarse o cuando se determine que hacerlo resulta demasiado costoso o difícil.

El motivo por el que este método es tan “aproximado” es obvio: no se realiza acomodo alguno del inventario actual de partes componentes, ni existe ajuste por el tiempo de espera de los mismos.

Listas de capacidad. El siguiente método de planificación de la capacidad es más complejo, pero proporciona mejores datos, y más específicos. Para obtener dichos datos, las listas de capacidad utilizan dos piezas adicionales de información relativa a los productos bajo análisis: la lista de materiales y la información de ruteo. Hemos hablado ya de las listas de materiales. La información de ruteo, como indica su nombre, describe la “ruta” (o trayectoria) que debe tomar el producto para ser fabricado. El tipo de datos que se incluyen en la información de ruteo puede variar de acuerdo con cada empresa, pero generalmente tomará en cuenta parámetros como:

- Las operaciones que deben realizarse, y su orden de ejecución.
- Los centros de trabajo que deberán utilizarse para realizar las distintas operaciones.
- El tiempo estándar para cada operación, incluyendo el tiempo de configuración del equipo y el tiempo de ejecución por pieza.

Además, la información de ruteo puede indicar qué herramientas se emplean para cada operación y los centros de trabajo alternativos para llevarla a cabo. En la figura 7.3 se muestra una tabla de información de ruteo de ejemplo.

FIGURA 7.3 Información de ruteo (ejemplo)

Número de parte: 6768240

Rodamiento exterior: 676824

Núm. esquema: 676824-150

Número de operación	Centro de trabajo	Tiempo de configuración (horas)	Tiempo de (horas/pieza)	Descripción de la operación
10	3A	1.1	0.17	Corte exterior del tubo
20	4A	0.7	0.20	Esmerilar canal
30	7A	0.5	0.11	Esmerilar cara
40	11A	0.4	0.22	Fresar ranura de la cara
50	2A	0.6	0.08	Esmerilar superficie
60	Almacén			Desplazar a inventario

Para ilustrar el uso de una lista de capacidad, tomemos una lista sencilla de materiales y revisemos la información de ruteo para dos productos de ejemplo, X y Y:

Lista de materiales**Información de ruteo**

Producto/ parte	Tamaño de lote	Centro de trabajo	Operación	Horas de conf.	Horas de conf. por unidad	Tiempo de ejecución por unidad	Horas totales por unidad
X	30	100	1 de 1	0.5	0.017	0.5 hrs	0.517
Y	20	100	1 de 1	0.5	0.025	1.1	1.125
A	100	200	1 de 1	2	0.02	0.7	0.72
B	50	300	1 de 1	1	0.02	.03	0.32
C	40	200	1 de 2	1	0.025	0.8	0.825
C	40	300	2 de 2	0.7	0.018	0.9	0.918

Tomando en cuenta esta información podemos imaginar con bastante claridad el número real de horas estándar que se empleará en la fabricación de los productos en cada centro de trabajo, en lugar de utilizar únicamente un porcentaje promedio histórico:

CENTRO DE TRABAJO	PRODUCTO X TIEMPO TOTAL/UNIDAD	PRODUCTO Y TIEMPO TOTAL/UNIDAD
100	0.517	1.125
200	0.72	2.37
300	0.32	1.836
TOTAL	1.557	5.331

Algunas de las cifras en esta tabla se explican por sí mismas, pero tal vez otras requieran una explicación adicional, por ejemplo, ¿por qué el centro de trabajo 200 necesita 2.37 horas para procesar el producto Y? El producto Y se fabrica a partir de un componente A y dos componentes C. Observe en la tabla que producir cada componente A lleva 0.72 horas en el centro de trabajo 200, y la fabricación de cada parte C toma 0.825 horas en el centro de trabajo 200. Como requerimos dos componentes C para fabricar el producto Y, utilizaremos $2(0.825)$, o 1.65 horas. Suma esta cantidad a las 0.72 horas y obtendrá 2.37 horas. En el caso del centro de trabajo 300, se dedican 0 horas a la producción del artículo A, ya que dicho centro no se utiliza para su procesamiento. Para el artículo C, sin embargo, el centro 300 utiliza 0.918 horas para producir cada unidad. Como se requieren 2 unidades C, el tiempo de procesamiento del centro de trabajo 300 para fabricar un producto Y será de 2 veces 0.918, es decir, 1.836 horas.

Con esta información más específica basada en estándares y en la lista de materiales, podemos determinar requerimientos de capacidad más precisos para que cada centro de trabajo pueda cumplir el programa maestro dado. La información del programa maestro es, nuevamente:

Semana	1	2	3	4	5
X	10	10	15	15	15
Y	25	25	20	20	25

Al multiplicar los tiempos estándar de las listas de capacidad por la cantidad indicada en el programa maestro se genera la siguiente tabla:

Semana	1	2	3	4	5
CT 100	33.295	33.295	30.255	30.255	35.88
CT 200	66.45	66.45	58.2	58.2	70.05
CT 300	49.1	49.1	41.52	41.52	50.7

Perfiles de recursos. El siguiente método grueso es más detallado, toda vez que añade la dimensión del tiempo de espera al cálculo. Continuaremos con nuestro ejemplo para ilustrar el desarrollo de los perfiles de recursos. A fin de lograrlo asumiremos —por conveniencia— que cada operación en el ruteo toma 1 semana para concluirse. En el caso de los productos que deben haberse fabricado al final de la semana 5 (y, por lo tanto, ensamblado durante esa semana), esto implica que los componentes necesarios debieron haberse producido en la semana 4. La única excepción es el hecho de que existen dos operaciones a realizar sobre el componente C. Como el tiempo de espera es de 1 semana para cada operación, la primera de ellas (suponga que es la operación 2) deberá finalizarse en la semana 3, de modo que la segunda (operación 1) se realice en la semana 4. La siguiente tabla muestra las horas por unidad que necesita cada centro de trabajo para fabricar los productos X y Y para la semana 5; cada dato corresponde a la semana en que se efectúa el trabajo:

	CT	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5
Producto X	100	0	0	0.517
	200	0	0.72	0
	300	0	0.32	0

Producto Y	100	0	0	1.125
	200	0	2.37	0
	300	1.836	0	0

A partir de esta información podemos generar la tabla de requerimientos de capacidad nuevamente, sólo que esta vez multiplicaremos la cantidad de PMP para ajustar cada semana en función de los tiempos de espera, como se muestra en la tabla siguiente:

Semana	Vencimiento	1	2	3	4	5
CT 100	0	33.295	33.295	30.255	30.255	35.88
CT 200	66.45	66.45	58.2	58.2	70.05	0
CT 300	95	39.92	41.5	50.7	4.8	0

A primera vista podrían preocuparnos las horas vencidas; sin embargo, dado que ésta es una capacidad gruesa no se incluye el trabajo en proceso. Si la programación se ha realizado cuidadosamente y los pedidos de producción fueron liberados de manera apropiada, podríamos esperar que los pedidos representados por las horas vencidas no sólo habrán sido liberados, sino que probablemente estarán terminados y listos para el ensamblaje de los productos finales en la semana 1.

No existen “reglas” específicas para determinar el método grueso que deberá utilizarse en distintos entornos operativos, pero en general la decisión depende del nivel de detalle necesario y de la cantidad de información disponible. Resulta evidente que el método basado en factores globales arroja información menos detallada, pero tiene la ventaja de requerir poca información, lo que generalmente significa que podrá realizarse de manera rápida y fácil. Los perfiles de recursos, por otro lado, suelen representar la situación opuesta. Sin embargo, a medida que los modelos de hojas de cálculo electrónicas tienen mayor disponibilidad, los modelos más detallados y complejos se han vuelto más fáciles de desarrollar, y ofrecen mayor información.

7.3 PLANIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS DE CAPACIDAD (PRC)

Los insumos de información de la PRC en cuanto a requerimientos de producción no provienen del programa maestro, *sino directamente del MRP*. Por supuesto, el MRP ya toma en cuenta la lista de materiales, la información de ruteo (hasta cierto grado), y los ajustes por tiempos de espera. La PCR toma en cuenta, además, el trabajo en proceso y los ajustes para el inventario inicial, así como otras demandas como inventarios de servicio y desechos anticipados. En consecuencia, es la más detallada de todas las técnicas de planificación de capacidad.

Además de las liberaciones planificadas de pedidos indicadas en el sistema MRP, una planificación detallada de la capacidad requerirá información de otras fuentes; de manera específica, se necesita:

- *El archivo de pedidos abiertos.* Éstas son las tareas que se liberaron a producción y que ahora se encuentran en proceso. Aparecen en los archivos MRP como una recepción programada. El motivo por el que la planificación detallada de la capacidad requiere la información de pedidos abiertos —además de la información de

recepciones programadas del MRP—, radica en que el archivo de MRP no indica las operaciones sobre el pedido abierto que ya se han finalizado. El archivo de pedidos abiertos por lo general contiene información respecto de qué tanto falta para que se complete el pedido o, desde una perspectiva de capacidad, respecto de qué capacidad específica se requiere todavía para completar el resto del pedido.

- *El archivo de información de ruteo.* Contiene información sobre la trayectoria que seguirá el trabajo a lo largo de los centros de trabajo de la instalación, incluyendo las operaciones que se ejecutarán en cada uno de ellos.
- *El archivo del centro de trabajo.* Por lo general contiene datos sobre los distintos elementos del tiempo de espera asociado con el tipo de equipo con que cuenta el centro. Esto elementos de tiempo incluyen:
 - **Tiempo de desplazamiento.** El tiempo que suele necesitarse para que el material se desplace de un centro de trabajo a otro.
 - **Tiempo de espera.** El tiempo que el material debe esperar para desplazarse una vez que se ha finalizado una operación.
 - **Tiempo en fila de espera.** El tiempo que debe esperar el material antes de poder ser procesado por una operación. En muchas operaciones el tiempo en fila de espera tiende a ser el elemento más significativo del tiempo total de espera.

El tiempo de espera de producción casi siempre se define como el total del tiempo de desplazamiento, el tiempo de espera, el tiempo de configuración y el tiempo de ejecución para el tamaño de lote dado del material producido.

El “inconveniente” de utilizar una PRC detallada estriba en que, mientras que casi todos los métodos gruesos o aproximados pueden configurarse en una hoja de cálculo utilizando solamente información estándar a partir del programa maestro, la PRC requiere que se ejecute el sistema MRP. De hecho, la mayoría de los sistemas modernos incluye un módulo PRC detallado, vinculado directamente con la ejecución del MRP. La PRC tiende a ser muy compleja, y requiere demasiada información de otras fuentes como para ser ejecutada en una aplicación “independiente” de hoja de cálculo.

Un factor importante que empaña el uso efectivo de una PRC detallada es el hecho de que el MRP se modificando constantemente a medida que el material se produce, se recibe o se utiliza en producción. Por este motivo, la PRC asociada estará cambiando de forma ininterrumpida, lo que la hace más difícil de manejar con efectividad.

Un problema adicional que podría presentarse al implementar la PRC radica en que ésta se basa en estándares de tiempo (lo cual también es válido en el caso de los métodos “gruesos” más detallados) cuyo desarrollo es un tanto subjetivo, y que pueden cambiar sustancialmente a lo largo del tiempo debido a las curvas de aprendizaje y a las modificaciones en los procesos. Incluso si fuera posible administrar toda la información generada por la PRC, en muchas operaciones la precisión de buena parte de los datos será dudosa. Por ello, es recomendable efectuar con regularidad una revisión de los estándares de trabajo, seguida por una actualización de los archivos de trabajo estándar, según se requiera.

Aun cuando la PRC sea difícil de manejar debido a la naturaleza cambiante de la información y a la variabilidad de su precisión, puede resultar un insumo bastante útil

para tomar decisiones gerenciales, sobre todo si el administrador comprende cómo se desarrolla la información y cuáles son los métodos más apropiados para manejarla.

7.4 CONTROL DE ENTRADA/SALIDA (E/S)

La palabra clave en la descripción de este método es *control*. Esto significa que no se trata de una herramienta de planificación, sino de un método desarrollado para *controlar la capacidad de la operación una vez que los pedidos para los requerimientos han sido liberados*. Incluso el nivel en que se utiliza este método es distinto, ya que casi siempre se implementa (en las operaciones en que tiene cabida) a nivel del centro de trabajo. La intención real es supervisar y regular las horas totales laboradas en todos los centros, en un intento por controlar el flujo de trabajo que entra y sale de ellos. Otra importante ventaja de utilizar este método radica en que permite identificar posibles fuentes de problemas al mantener un flujo de actividad apropiado dentro de la operación.

Utilizando la misma analogía con la que abrimos este capítulo, en donde un centro de trabajo es similar al líquido almacenado en un tanque, podríamos decir que el principal propósito del control de entrada/salida es vigilar la cantidad de líquido (carga), regulando tanto la cantidad de líquido que ingresa al tanque (entrada) como de la cantidad de líquido que fluye de él (salida) (vea la figura 7.4).

Como ejemplo, observe el informe de E/S de un centro de trabajo en la figura 7.5.

Resulta obvio que el plan global para este centro de trabajo consistía en reducir el tamaño de la fila de trabajo a realizar, toda vez que durante las 5 semanas que se muestran existe una entrada planificada de 110 horas, y una salida planificada de 125 horas. De manera más específica, el plan era reducir 20 horas el tamaño de la fila en el centro de trabajo hacia el final de las 5 semanas.

FIGURA 7.4 Analogía del tanque de líquido para el control de Entrada/Salida

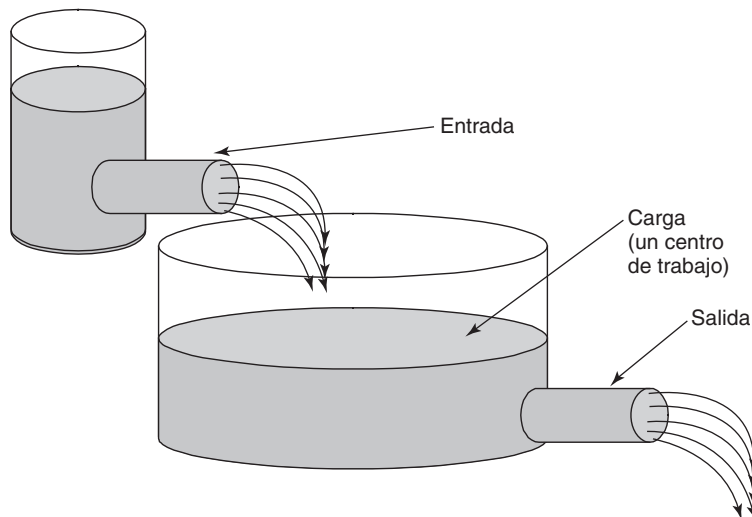


FIGURA 7.5 Informe sencillo de E/S

Semana	1	2	3	4	5
Entrada planificada	25	20	30	15	20
Entrada real	22	27	24	23	27
Desviación acumulada	-3	+4	-2	+6	+13
Salida planificada	25	25	25	25	25
Salida real	21	26	23	25	22
Desviación acumulada	-4	-3	-5	-5	-8
Retraso real (carga)	35	36	37	38	36

En un entorno real de producción muy pocas cosas resultan exactamente como fueron planificadas. En este caso ingresó más trabajo al centro (material desplazado ahí para procesamiento, convertido a horas estándar de producción) de lo esperado, 13 horas más, para ser exactos. El resultado real fue un incremento de 6 horas de retraso en la operación: de 35 a 41 horas. Esto da al gerente una buena idea de lo bien que se desempeña el centro de trabajo respecto del plan que se diseñó para él, e incluso una idea de la potencial fuente de problemas. En este caso, por ejemplo, existen dos factores que valdría la pena analizar. El primero es por qué ingresó más trabajo del esperado, y el segundo, por qué los trabajadores perdieron 8 horas de trabajo de salida durante el transcurso de las 5 semanas.

7.5 MEDIDAS DE CAPACIDAD

Típicamente existen varias medidas para administrar la capacidad. En esta sección definiremos algunas de las más comunes. Es muy importante señalar que, al utilizarlas, siempre debe existir cierto escepticismo respecto de la precisión de la medida, sobre todo porque casi todas ellas emplean estándares de tiempo de alguna manera. Como se mencionó antes, el desarrollo de estándares de tiempo depende de algunos factores subjetivos (específicamente, el uso de un índice de desempeño y la aplicación de una reserva para retrasos inevitables). Sin embargo, un aspecto de mayor importancia es la manera en que los estándares de tiempo cambian a lo largo del tiempo. Por ejemplo (éste es un caso real), la compañía A descubrió que ya no podía seguir siendo competitiva en su mercado sobre la base del precio. Algunas investigaciones le permitieron descubrir que el motivo era que los trabajadores de ensamblaje, a los que se les pagaba una tarifa determinada por pieza con base en un estándar de tiempo, estaban produciendo regularmente ¡300% del estándar! Al parecer los estándares no se habían revisado durante los últimos 7 años, y la curva de aprendizaje se había presentado constantemente en el trabajo. Desde la perspectiva de la compañía A, esto significaba que sus empleados de ensamblaje ganaban el triple del salario que sus equivalentes de la competencia, y que la operación de ensamblaje costaba tres veces más por concepto de mano de obra, volviendo no competitiva a la compañía A. Por supuesto, es posible imaginar el problema que enfrentó la empresa al sugerir a los trabajadores que la producción debía permanecer igual, pero que ¡sus salarios se reducirían a una tercera parte!

- **Utilización.** En general, la utilización muestra las horas máximas que podemos esperar estará activo el centro de trabajo. Muchos factores pueden afectar el número de horas que el equipo es susceptible de utilizarse, incluyendo problemas con las máquinas, ausentismo laboral, problemas con materiales y otros tipos de retrasos. Por lo tanto, la utilización se define como:

$$\text{Utilización} = (\text{Horas trabajadas})/(\text{Horas disponibles}) \times 100\%$$

O, desde una perspectiva de producto:

$$\text{Utilización} = (\text{salida real})/(\text{capacidad de diseño}) \times 100\%$$

- **Eficiencia.** La eficiencia mide básicamente la salida real de un área definida, en comparación con la tasa estándar de producción en el mismo número de horas. Por supuesto, la tasa estándar de producción se basa en los estándares de tiempo. Dado el análisis anterior, resulta fácil observar cuántas operaciones pueden lograr una eficiencia superior al 100 por ciento.

$$\text{Eficiencia} = (\text{horas estándar producidas})/(\text{horas trabajadas}) \times 100\%$$

O, desde una perspectiva de producto:

$$\text{Eficiencia} = (\text{tasa de producción actual})/(\text{tasa de producción estándar}) \times 100\%$$

- **Capacidad nominal.** Se define como el producto del tiempo disponible, la eficiencia y la utilización.

$$\text{Capacidad nominal} = (\text{tiempo disponible}) \times (\text{eficiencia}) \times (\text{utilización})$$

- **Capacidad demostrada.** Como indica su nombre, la capacidad demostrada es la salida de la capacidad real, de acuerdo con los registros de producción.

7.6 MÉTODO GENERAL PARA LA ADMINISTRACIÓN DE LA CAPACIDAD

Como se indica en la figura 7.1, la administración de la capacidad es una actividad de gran importancia para la dirección de una operación. Los mejores planes y programas de producción prácticamente no tendrán utilidad si no se determina la cantidad de capacidad apropiada para ejecutar tales planes.

Por lo tanto, la clave de la administración de la capacidad radica en comparar constantemente la capacidad disponible con la capacidad requerida para cumplir las necesidades de los clientes, según se definen en el PMP y en el MRP. Si existe una diferencia, el administrador responsable analizará las opciones y tomará la decisión que dé la mejor eficiencia de costos posible. De manera similar a lo que se mencionó en el análisis que realizamos en el capítulo 3, “Planificación de ventas y operaciones”, el administrador puede elegir modificar la cantidad o los tiempos de la capacidad, cambiar la carga, o ambas. Dado que los marcos de tiempo son mucho más cortos en el PMP que en el PV&O, muchas de las opciones que manejan la carga no estarán disponibles. En el corto plazo, buena parte de la carga representa pedidos en firme de los clientes,

en oposición al PV&O, que lo hace con base en pronósticos. Debido a que ya se ha prometido la entrega a muchos de los clientes, resultará difícil alterar los compromisos.

El factor principal se centra entonces en el uso de soluciones de relativamente corto plazo para administrar la cantidad y tipo de capacidad disponibles para procesar la carga. De la misma forma que en el caso del PV&O, existen varias opciones disponibles, entre ellas:

- Tiempo extra
- Subcontratación
- Contratación/despido de empleados
- Contratación de trabajadores temporales
- Desplazamiento de trabajadores de un centro de trabajo a otro (lo que supone flexibilidad por parte de la fuerza de trabajo)
- Utilización de rutas alternativas para el trabajo (aun cuando la trayectoria alternativa no sea igual de efectiva en algunos casos). De hecho, muchas empresas se han percatado de que si cuentan con una operación más eficiente que las alternativas, todas las tareas se seleccionarán para utilizarla, provocando con ello que se sature. Utilizar una operación menos eficiente puede ser preferible a no entregar el pedido a un cliente en la fecha prometida.

Sin embargo, la “buena noticia” es que si se ha hecho un buen trabajo de proyección y los pronósticos resultantes se han utilizado para realizar una planificación efectiva de ventas y operaciones, es probable que los recursos correctos estén en su lugar. De modo más específico, el proceso completo de planificación de la capacidad —como se detalla en este capítulo— realmente deberá ser algo muy parecido a un “ajuste fino” de la capacidad requerida. Si éste no es el caso, antes que nada es preciso revisar los métodos de PV&O y de pronóstico, en lugar de acudir en primera instancia a los métodos de planificación de la capacidad más detallados que analizamos en este capítulo.

TÉRMINOS CLAVE

Capacidad	Eficiencia	Planificación de requerimientos
Capacidad demostrada	Información de ruteo	de capacidad (PRC)
Capacidad nominal	Listas de capacidad	Planificación gruesa de la
Carga	Perfiles de recursos	capacidad
Control de entrada/salida	Planificación de la capacidad	Utilización

RESUMEN

Este capítulo analiza la importancia de la capacidad; sin una capacidad apropiada se tendrá muy poca posibilidad de implementar los mejores planes de producción. Se analizaron varios métodos, desde los más

gruesos (o aproximados) hasta la PRC, que es más detallada. Además se analizó el control de la capacidad mientras se ejecuta el plan. Por último, se presentaron algunas de las medidas de capacidad más comunes.

REFERENCIAS

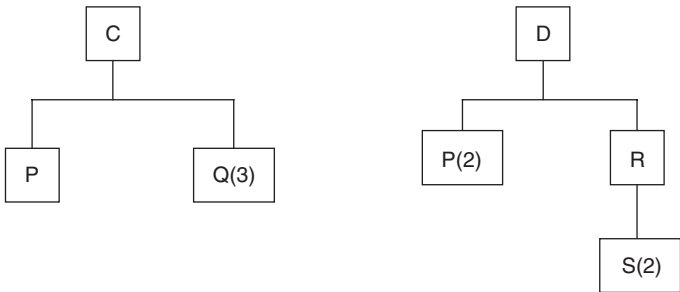
Fogarty, D. W., J. H. Blackstone, Jr. y T. R. Hoffmann, *Production and Inventory Management*. Cincinnati, Ohio: South-Western, 1991.

Schonsleben, P., *Integral Logistics Management*. Boca Ratón, Florida: St. Lucie Press, 2004.

Vollmann T. E., W. L. Berry y D. C. Whyback, *Manufacturing Planning and Control Systems*. New York: Irwin McGraw-Hill, 1997.

PREGUNTAS Y PROBLEMAS DE ANÁLISIS

1. Cierta empresa fabrica dos productos con las siguientes listas de materiales:



Información de ruteo (los tiempos se muestran en horas)

Producto/ parte	Tamaño de lote	Centro de trabajo	Operación	Horas de configuración	Tiempo de ejecución por unidad
C	20	100	1 de 1	0.6	0.8
D	40	100	1 de 1	0.8	1.2
P	100	200	1 de 1	1	0.4
Q	70	300	1 de 1	2	0.7
R	50	200	1 de 2	1.6	0.5
R	50	300	2 de 2	0.8	1.3
S	100	200	1 de 2	1.2	0.6
S	100	300	2 de 2	0.5	0.9

A partir de esta información, configure las listas de capacidad y determine la capacidad necesaria por centro de trabajo para ejecutar el siguiente programa maestro:

Semana	1	2	3
Producto C	50	40	45
Producto D	15	20	18

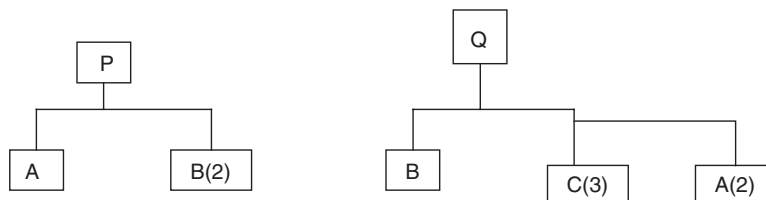
2. Describa la manera en que las siguientes condiciones pudieron ser ocasionadas por una mala planificación de la capacidad.
 - a. Agilización
 - b. Costos de envío de primera por parte de los proveedores
 - c. Subutilización del equipo
 - d. Baja eficiencia de los trabajadores
 - e. Inventario excesivo
 - f. Problemas de flujo de efectivo
3. El siguiente informe de entrada/salida se preparó para un centro de trabajo con un retraso acumulado inicial de 10 horas:

Semana	1	2	3	4	5	6
Entrada planificada (hrs.)	60	60	60	60	60	60
Entrada real (hrs.)	65	67	61	58	57	55
Desviación acumulada						
Salida planificada (hrs.)	60	60	60	60	60	60
Salida real (hrs.)	62	64	63	58	55	56
Desviación acumulada						
Retraso real						

- a. Complete el informe de entrada/salida para este centro.
 - b. ¿Qué recomendaciones haría al responsable de este centro de trabajo?
4. Se proporcionan las siguientes listas de capacidad para los artículos S y R.

Centro de trabajo	S	R
10	0.14 horas	0.07 horas
20	0.82 horas	0.71 horas
30	1.16 horas	0.88 horas

- a. En la semana 1 existe un PMP de 60 S y 70 R. Las cantidades del PMP de la semana 2 son 50 S y 90 R. ¿Cuáles son los requerimientos de capacidad para cada centro de trabajo en las semanas 1 y 2?
 - b. Si cada centro de trabajo tiene una capacidad establecida de 120 horas estándares disponibles por semana, ¿qué acciones deben tomarse?
5. Dadas las siguientes listas de materiales e información de ruteo, desarrolle listas de capacidad para cada uno de los productos P y Q:



Artículo	Centro de trabajo	Tamaño de lote	Operación	Configuración (hrs.)	Ejecución (hrs. por unidad)
P	10	30	1 de 1	1.2	0.43
Q	10	50	1 de 1	0.6	0.57
A	20	60	1 de 2	0.8	0.18
A	30	60	2 de 2	0.9	0.33
B	20	80	1 de 1	1.3	0.19
C	20	50	1 de 2	2.1	0.22
C	30	50	2 de 2	0.8	0.09

6. a. Complete la información del siguiente informe de entrada/salida; luego conteste las preguntas referentes al informe. El centro de trabajo tiene un atraso inicial de 25 horas. Todos los valores están en horas:

Semana	1	2	3	4	5	6
Entrada planificada (hrs.)	80	80	80	70	70	70
Entrada real (hrs.)	88	83	85	80	73	75
Desviación acumulada						
Salida planificada (hrs.)	82	82	81	70	70	70
Salida real (hrs.)	80	79	83	74	71	72
Desviación acumulada						
Retraso real						

- b. Interprete el informe. ¿Cuál cree usted que era el plan? ¿Qué está sucediendo?
7. Los artículos P y Q tienen las siguientes listas de capacidad:

Centro de trabajo	P	Q
10	0.31 horas	0.09 horas
15	0.55 horas	0.82 horas
20	1.23 horas	0.47 horas

- a. En la semana 1 existe una cantidad de PMP de 90 P y 75 Q. En la semana 2 la cantidad de PMP específica 78 P y 103 Q. ¿Cuáles son los requerimientos de capacidad para cada uno de los centros de trabajo en las semanas 1 y 2?
- b. Cada centro de trabajo tiene una capacidad estándar establecida de 120 horas por semana. Si la instalación utiliza técnicas de planificación de la capacidad infinitas, ¿qué deberían hacer? (Sea específico).
8. El siguiente informe de entrada/salida se preparó para un centro de trabajo con un retraso inicial de 23 horas:

Semana	1	2	3	4	5	6
Entrada planificada (hrs.)	50	50	50	55	55	55
Entrada real (hrs.)	57	53	51	56	53	59
Desviación acumulada						
Salida planificada (hrs.)	60	55	55	55	55	55
Salida real (hrs.)	53	51	54	56	52	58
Desviación acumulada						
Retraso real						

- Complete el informe de entrada/salida para este centro.
 - Explique lo que probablemente esté intentando lograr el centro, de acuerdo con las cifras de planificación.
9. Birchmark Industries fabrica dos artículos para la industria del mueble: estantes y paneles finales. A continuación se muestra la información de ruteo y los tiempos estándar para ambos artículos.

Artículo	Tamaño de lote	Operación	Centro de maquinado	Tiempo de configuración (hrs.)	Tiempo de ejecución por unidad (hrs.)
Paneles finales	60	1 de 3	Sierra	0.7 horas	0.1 horas
		2 de 3	Cepilladora	0.25	0.15
		3 de 3	Direccionador	0.0	0.075
Estantes	100	1 de 3	Sierra	0.1	0.06
		2 de 3	Cepilladora	0.25	0.03
		3 de 3	Direccionador	0.5	0.06

Suponga que las tres operaciones indicadas son las únicas necesarias para fabricar cada artículo. Genere la lista de capacidad para cada artículo. ¿Cuál es el tiempo estándar por unidad?

10. Describa el entorno en el que la utilización de la planificación detallada de la capacidad puede volverse difícil o imposible. ¿Sería más efectiva la planificación gruesa de la capacidad en tal entorno? ¿Por qué?

CAPÍTULO 8

Control de la actividad de producción

Esquema del capítulo

- 8.1 Información general del CAP
- 8.2 Asignación de prioridades
- 8.3 Programación
- 8.4 Carga
- 8.5 Acciones correctivas

Introducción– Como indica su nombre, el **Control de la Actividad de Producción** (CAP) se encarga de vigilar la actividad real de fabricación de un producto, o la prestación de un servicio. Esto implica que la planificación ya se ha realizado y que la orden real para manufacturar el producto o prestar el servicio ya se ha ejecutado. Al analizar el método de control de entrada/salida en el capítulo anterior (“Administración de la capacidad”), tuvimos ya la oportunidad de revisar uno de los factores del CAP (el control de la capacidad). Aunque el control de entrada/salida tiene mucho que ver con el control de la capacidad (carga) en un centro de trabajo, el CAP se ocupa de fiscalizar el orden de *prioridad* con el que se desarrollan las actividades en él.

Al igual que toda empresa y negocio tienen una programación maestra, las organizaciones de todo tipo cuentan con alguna metodología para determinar cómo se ejecutará el pedido. La principal diferencia entre ambos rubros, por supuesto, estriba en que la programación maestra es una actividad de *PLANIFICACIÓN*, mientras que el CAP es un *CONTROL DE EJECUCIÓN*. Un ejemplo sencillo ayudará a clarificar esta distinción. Todas las personas tenemos un plan básico de lo que deseamos lograr cierto día, semana, mes, etcétera. Sin embargo, una vez que el día o la semana en cuestión inician, es preciso echar a andar la ejecución de los planes correspondientes. A medida que se presentan acontecimientos y factores no previstos, muchas veces nos vemos forzados a modificar el orden de prioridad que establecimos para realizar nuestras actividades. El control del orden de prioridad y la ejecución de la tarea son necesidades que todos nosotros debemos enfrentar cada cierto tiempo. Tal necesidad existe también en todas las operaciones de negocios, aunque en este caso las acciones tienden a ser más formales y estructuradas debido al tamaño y al alcance de las necesidades de negocio, así como a los requerimientos de información e implementación de sistemas para supervisar, priorizar y controlar las acciones involucradas en la operación.

El conjunto de actividades, métodos y sistemas utilizados para lograr este objetivo es lo que suele denominarse control de la actividad de producción, o CAP. Este concepto también es conocido como **control de planta**, aunque esta denominación implica que su implementación principal se da en entornos de manufactura. Como casi todos los principios que conforman el CAP son válidos tanto para las operaciones de servicios como para las de manufactura, muchas veces resulta mejor emplear el nombre CAP.

8.1 INFORMACIÓN GENERAL DEL CAP

Dos de los principales insumos de información que utilizan los sistemas CAP son: la fuente de los pedidos que necesitan procesarse y la información por medio de la cual se controlan y procesan dichos pedidos. De manera más específica, los insumos de información incluyen:

- Pedidos recién liberados (dato que suele provenir del MRP).
- Estado de los pedidos existentes.
- Información de ruteo (como se analizó en el sistema de capacidad). La información de ruteo (o de trayectoria) describe secuencialmente los pasos que deben efectuarse para completar el proceso.
- Información del tiempo de espera (dato proveniente del archivo maestro de artículos).
- Estado de los recursos (cantidad de recursos disponibles, problemas de equipos, programas de mantenimiento, etcétera).

A estas alturas de nuestro análisis seguramente le resultará obvio que también se requieren recursos para ejecutar cualquier programa de producción. Otros insumos de gran importancia para el sistema CAP son la cantidad, el tipo y la condición de dichos recursos, entre los que se incluyen:

- Personal. ¿Cuántos trabajadores están disponibles y con qué habilidades cuentan? También es necesario saber cuánto tiempo están disponibles cada día.
- Herramientas. Este rubro se refiere a cualquier accesorio o equipo que se deba utilizar para la configuración de la operación, para el funcionamiento de la maquinaria o para desarrollar el proceso productivo.
- Capacidad de la maquinaria o equipo, y tiempos programados de inactividad.
- Materiales. Los componentes y/u otros materiales necesarios para completar el pedido.

Para que cualquier sistema CAP pueda considerarse provechoso es preciso que, además de emplear información, produzca datos útiles para la administración. Parte de la información que pueden generar los sistemas CAP incluye:

- Estado y ubicación de los pedidos.
- Estado de los recursos clave.
- Medición del desempeño en función de los estándares (ya sean de tiempo y/o de costo).
- Informe de desperdicio/reprocesamiento.
- Notificación de algún problema (por ejemplo, daños en el equipo o en las herramientas).

Naturalmente, algunos sistemas de producción utilizan métodos mucho más simples que el CAP, o incluso es posible que no cuenten con ninguno. Las industrias de transformación —como las que se dedican a realizar ciertos procesamiento químicos— y las compañías con líneas de ensamblaje muy repetitivas —que fabrican un producto estándar de alto volumen— en general no cuentan con un CAP detallado. Casi toda su responsabilidad se centra en satisfacer los requerimientos de producción del sistema a partir de un programa maestro, y luego procesar y supervisar la producción a medida que ésta se fabrica. Sin embargo, en los sistemas compuestos por menos tareas discretas, los insumos de información se procesan para dar por resultado, en muchas de las ocasiones, una **lista de despacho**. Como indica su nombre, esta lista constituye una relación de las tareas a ejecutar en un centro de trabajo dado, de acuerdo con el orden en que deben realizarse. En muchos casos la lista ofrece también otros datos útiles, como:

- Estimados de tiempo, incluyendo fecha de ejecución programada, tiempo de configuración y tiempo de ejecución, así como un estimado de la capacidad disponible.
- Información de procesamiento, por ejemplo, respecto del equipo que se empleará y la operación específica a ejecutar.
- Tamaños de lote.
- El lugar (centro de trabajo) al que se desplazará el trabajo después del procesamiento.
- Tareas que se espera serán desplazadas al centro de trabajo en cierto periodo específico.

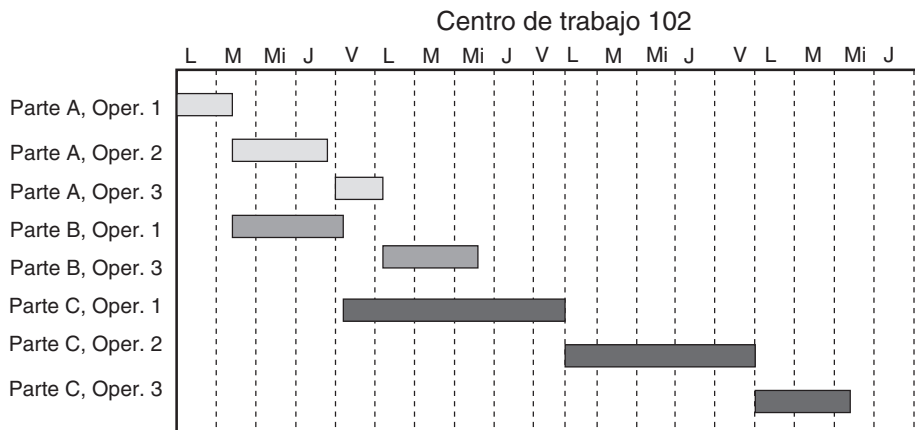
Esta lista de tareas futuras permite que los trabajadores planifiquen con más detalle la secuencia de actividades que llevarán a cabo. De esta manera podrán minimizar, por ejemplo, el tiempo de configuración necesario mediante la realización secuencial de tareas cuyos requerimientos de configuración sean similares de acuerdo con el procesamiento.

En prácticamente todos los casos existe también la necesidad de retroalimentar el sistema CAP en cuanto a lo que ha sucedido:

- Lo que se ha producido (número y cantidad de las partes).
- Problemas, como fallas en cuestión de calidad o desabastos de partes.
- Información de la fuerza de trabajo, que suele emplearse para definir la eficiencia y la utilización.
- Estado del equipo.

El diagrama de Gantt. El **diagrama de Gantt** es una sencilla herramienta visual que sirve no sólo para programar el trabajo de acuerdo con las prioridades, sino también para evaluar rápidamente el estado de todas las tareas, tanto para conocer al instante su situación como para modificar el orden de prioridad según se necesite. Su utilización en relación con el CAP es bastante similar a cómo se le aplica en la administración de proyectos. Los diagramas de Gantt muestran gráficamente el trabajo a realizar, una expectativa del tiempo requerido, los tiempos iniciales y finales y, por lo general, el estado del trabajo. Casi siempre se realiza uno por cada centro de trabajo, e incluso por cada una de las piezas de equipo específicas.

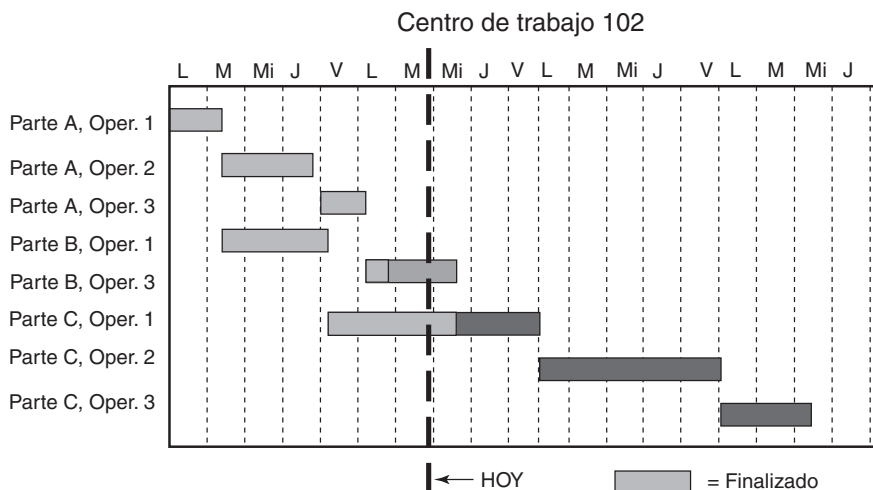
En el ejemplo de diagrama de Gantt que se ilustra en la **figura 8.1** se analizan tres tareas (números de partes), conformadas por múltiples labores que deben realizarse

FIGURA 8.1 Un diagrama de Gantt sencillo

en un centro de trabajo específico. En algunos casos (en la operación 2 de la Parte A, y en la operación 1 de la Parte B) las tareas se programan para ejecutarse en paralelo, debido a que son operaciones diferentes (y, por lo tanto, tal vez utilizan equipos distintos). Por otro lado, las operaciones involucradas en la producción de la parte C no pueden ejecutarse en paralelo, porque se ejecutan sobre la misma parte. En este caso, aparentemente es preciso finalizar la operación 1 sobre todas las partes C antes de poder iniciar la siguiente operación.

El diagrama permite observar la fecha actual y una representación gráfica del estado de cada tarea a medida que transcurre el tiempo. Esta información puede utilizarse para establecer informes específicos del estado del trabajo, pero constituye también un método gráfico para reprogramar, en caso de ser necesario.

Como se observa en el diagrama, el estado de las tareas se indica con toda claridad. En este caso, la operación 1 de la parte C se encuentra adelantada respecto del

FIGURA 8.2 Diagrama de Gantt actualizado

programa, mientras que la operación 3 de la parte B está retrasada. La parte A ya se concluyó. A partir de esta información, el responsable de la operación puede analizar el posible problema que se está enfrentando respecto de la tarea efectuada para producir la parte B, y corregirlo o reprogramar, de ser posible. Resulta evidente que, para ser útiles, este tipo de diagramas exigen una actualización frecuente, no sólo en relación con el estado de las tareas, sino también para reflejar la adición de nuevas tareas a medida que llegan, así como la eliminación del trabajo ya finalizado.

8.2 ASIGNACIÓN DE PRIORIDADES

Existen varios métodos para asignar prioridades al trabajo que se realiza en un centro de trabajo. Las reglas que comentaremos a continuación son válidas tanto para las operaciones de servicio como para las de manufactura. A pesar de que se han desarrollado reglas más complejas para aplicaciones específicas (máquinas múltiples, por ejemplo), su análisis excede los objetivos de este capítulo. Entre las reglas básicas están:

- ***Fecha de vencimiento*** (conocida también como fecha de vencimiento más próxima). Como indica su nombre, esta regla selecciona la tarea cuya fecha de vencimiento sea más próxima, a fin de ejecutarla primero. En caso de empate, se puede utilizar una regla secundaria (de esta lista) para determinar el orden de prioridad. Esta regla suele utilizarse en operaciones cuya planificación se basa en el sistema MRP, ya que la fecha de vencimiento es inherente a dicho método, y el sistema la genera de manera natural.
- ***Tiempo de procesamiento más corto (TPC)***. Nuevamente el nombre de la regla resulta bastante descriptivo. Las tareas se organizan en orden de prioridad de acuerdo con el tiempo de procesamiento estimado para realizarlas (la tarea con el tiempo de procesamiento más corto se coloca en primer lugar de la lista). Una de las ventajas de este método radica en que muchas tareas se completarán rápidamente. Por desgracia, la regla no cuenta con parámetros que indiquen cuándo requiere el cliente su pedido. Por otro lado, utilizar esta regla en ocasiones provoca que las tareas más complejas se dejen al final de la lista, dando lugar a retrasos en su realización; esta condición es poco recomendable en entornos donde las tareas complejas suelen estar relacionadas con pedidos de clientes valiosos y de gran tamaño.
- ***Holgura total***. De acuerdo con esta regla, se elige una tarea específica, luego se calcula el tiempo total necesario para realizar todas las operaciones restantes del trabajo en cuestión, y después el tiempo total que transcurrirá hasta que la tarea se venza. Al restar el tiempo de procesamiento total del tiempo total hasta el vencimiento se obtiene un valor denominado *holgura*. En realidad, la holgura es un tiempo en almacenamiento temporal o un tiempo que puede transcurrir sin peligro de retrasar la tarea. La regla consiste en seleccionar aquellas tareas que permiten el menor tiempo de holgura y realizarlas primero, dado que son las que se encuentran en más peligro de retraso si no se les atiende.
- ***Holgura por operación***. Se trata de una variante de la holgura total. De acuerdo con esta regla, la holgura total se divide entre el número de operaciones restantes. La tarea con menor holgura total por operación se programa primero. Esto ofrece más información que la regla de holgura total, por ejemplo, la holgura promedio de cada operación en lugar de la holgura total de la tarea completa.

- **Primero en llegar, primero en ser atendido.** Ésta es la regla que más utilizan las organizaciones de servicios, como bancos y tiendas minoristas, aunque muchas veces se debe a que no tienen alternativa. El supuesto inherente es que la primera tarea también se requiere primero. Además, esta regla suele ser percibida como justa, ya que la tarea que ingresa primero a la operación tendrá prioridad de ejecución.
- **Proporción crítica.** En el caso de esta regla se calcula una proporción sin unidades de medición, dividiendo el tiempo restante hasta el vencimiento entre el trabajo remanente. El trabajo remanente es el tiempo total de procesamiento, mientras que el tiempo restante es aquel que transcurre hasta que vence la ejecución de la tarea. Si la proporción crítica es mayor que 1, significa que hay holgura; si es igual a 1, no existe holgura y el trabajo debe llevarse a cabo sin retraso; si es menor que 1, la tarea ya se encuentra retrasada. Evidentemente, esta regla indica que la tarea con menor proporción crítica debe programarse primero. Muchas personas consideran que ésta es la mejor regla, ya que toma en cuenta tanto la fecha de vencimiento como el tiempo de holgura.

EJEMPLO 8.1

Suponga que un centro de trabajo tiene las siguientes seis tareas en espera de procesamiento (se presentan en el orden en que llegaron al centro de trabajo):

Trabajo	Vencimiento	Horas restantes de trabajo
A	3 horas	4
B	9 horas	2
C	4 horas	1
D	15 horas	5
E	11 horas	3.5
F	19 horas	4

Necesitamos analizar cuál es el “mejor” programa para realizar el trabajo en este centro. Observe que, sin importar lo que decidamos, es muy probable que exista un problema. La tarea A, por ejemplo, se vence dentro de las próximas 3 horas, y sólo contamos con 4 horas más de trabajo. También podemos observar que hay 19.5 horas de trabajo total, y que la tarea con el tiempo de vencimiento más tardío se vence dentro de 19 horas, lo que significa que por lo menos alguna otra tarea se retrasará. En todo caso, necesitamos revisar la secuencia de tareas bajo la perspectiva de las distintas “reglas” para determinar el orden de prioridad más efectivo:

Fecha de vencimiento. Con esta regla el establecimiento de prioridades es sencillo. Simplemente observamos el vencimiento de las tareas, y la que se venza primero tendrá la prioridad más alta. También debemos tomar en cuenta las implicaciones para la “demostración” de pedido, suponiendo que iniciamos en la hora “0”:

Trabajo	Vencimiento	Tiempo restante	Hora de inicio	Hora de finalización	¿Retraso?
A	3 horas	4 horas	0	4	Sí, una hora
C	4 horas	1 hora	4	5	Sí, 1 hora
B	9 horas	2 horas	5	7	No
E	11 horas	3.5 horas	7	10.5	No
D	15 horas	5 horas	10.5	15.5	Sí, 0.5 horas
F	19 horas	4 horas	15.5	19.5	Sí, 0.5 horas

Tiempo de procesamiento más corto. Observe que cuando aplicamos esta regla tenemos un “empate” entre dos tareas, la A y la F. Por lo tanto, utilizaremos una regla secundaria —en este caso, fecha de vencimiento— para determinar el orden de prioridad.

<i>Trabajo</i>	<i>Vencimiento</i>	<i>Tiempo restante</i>	<i>Hora de inicio</i>	<i>Hora de finalización</i>	<i>¿Retraso?</i>
C	4 horas	1 horas	0	1	No
B	9 horas	2 horas	1	3	No
E	11 horas	3.5 horas	3	6.5	No
A	3 horas	4 horas	6.5	10.5	Sí, 7.5 horas
F	19 horas	4 horas	10.5	14.5	No
D	15 horas	5 horas	14.5	19.5	Sí, 4.5 horas

Observe las disyuntivas a que se da lugar. En el caso de la fecha de vencimiento, teníamos cuatro de las seis tareas retrasadas, pero ninguna demasiado. La demora total de las cuatro tareas era de sólo 3 horas. En el caso del TPC, sin embargo, únicamente hay dos tareas retrasadas, pero por demasiado tiempo. La demora combinada de las dos tareas fue de 12 horas.

Holgura total. Para determinar el orden de procesamiento necesitamos calcular la demora y luego establecer la prioridad a partir de ésta. En este caso, la demora es simplemente la diferencia entre el trabajo restante y el tiempo que falta para el vencimiento.

<i>Trabajo</i>	<i>Vencimiento</i>	<i>Tiempo restante</i>	<i>Holgura</i>	<i>Hora de inicio</i>	<i>Hora de finalización</i>	<i>¿Retraso?</i>
A	3 horas	4 horas	1 hora	0	4	Sí, 1 hora
C	4 horas	1 hora	3 horas	4	5	Sí, 1 hora
E	11 horas	3.5 horas	6.5 horas	5	8.5	No
B	9 horas	2 horas	7 horas	8.5	10.5	Sí, 1.5 horas
D	15 horas	5 horas	10 horas	10.5	15.5	Sí, 0.5 horas
F	19 horas	4 horas	15 horas	15.5	19.5	Sí, 0.5 horas

Resulta bastante obvio que este método tal vez no es el mejor para el grupo de nuestro caso. Aunque ninguna de las tareas retrasadas lo está por demasiado tiempo, sólo hay una actividad que no tendrá demora de acuerdo con nuestros planes.

Proporción crítica. La última regla que ejemplificaremos es la proporción crítica. Recuerde que la proporción se calcula dividiendo el tiempo restante hasta el vencimiento entre el trabajo restante. Las tareas con la menor proporción crítica se toman en cuenta primero.

<i>Trabajo</i>	<i>Vencimiento</i>	<i>Tiempo restante</i>	<i>Holgura</i>	<i>Hora de inicio</i>	<i>Hora de finalización</i>	<i>¿Retraso?</i>
A	3 horas	4 horas	0.75	0	4	Sí, una hora
D	15 horas	5 horas	3	4	9	No
E	11 horas	3.5 horas	3.14	9	12.5	Sí, 1.5 horas
C	4 horas	1 hora	4	12.5	13.5	Sí, 9.5 horas
B	9 horas	2 horas	4.5	13.5	15.5	Sí, 6.5 horas
F	19 horas	4 horas	4.75	15.5	19.5	Sí, 0.5 horas

Incluso aunque este método puede tener un gran atractivo debido a que incorpora casi toda la información, resulta claro que no es el mejor para este grupo de tareas en par-

ticular. Sólo una de las tareas estará a tiempo; el resto están retrasadas, sobre todo dos de ellas. De acuerdo con los resultados que hemos obtenido en este ejemplo, es preciso reconocer que pocas veces existe un método “idóneo”.

Programación en entornos MRP y de arrastre

Las reglas de programación que hemos descrito suelen aplicarse en entornos de producción donde no se utilizan sistemas integrados de control de la producción, por ejemplo, en talleres pequeños. En aquellos entornos donde se utilizan métodos integrados (por ejemplo, MRP o sistemas de arrastre Kanban), son los propios sistemas los que proporcionan prioridades inherentes de programación.

- **Sistemas MRP.** Como el programa maestro se “explota” mediante la lógica de MRP, la fecha de vencimiento señalada en el programa maestro para cada artículo y los ajustes por tiempos de espera que utiliza la lógica MRP generarán fechas de vencimiento para todos los subensamblajes y componentes. Estas fechas de vencimiento se emplean después para establecer el orden de prioridad para la producción. En consecuencia, el método MRP usa la programación de prioridades de fecha de vencimiento como parte de la lógica básica del sistema.
- **Sistemas de arrastre (*pull*) Kanban.** Los sistemas de arrastre (mismos que [analizaremos con detalle en el capítulo 9](#)) son, en esencia, sistemas reactivos que generan información sobre la demanda a partir del uso del material. Las señales de producción provienen de la necesidad de reemplazar el material que se ha sido “arrastrado” desde el inventario para su procesamiento. En este sentido, los sistemas de arrastre son —básicamente— sistemas de prioridad del tipo primero en llegar, primero en ser atendido. La principal diferencia entre ambos surge cuando se presentan múltiples requerimientos de arrastre prácticamente simultáneos al centro de trabajo. En otras palabras, podría resultar difícil determinar cuál requerimiento se generó primero. Por otro lado, además de reconocer una señal de arrastre que llegue primero al centro, casi siempre es importante evaluar las necesidades de material implícitas. La modificación del orden de prioridad es resultado de la información sobre la tasa de producción o de la necesidad de material a medida que se utiliza en centros de trabajo subsiguientes. En este sentido, la recomendación es que cuando llega una señal de arrastre para múltiples partes prácticamente al mismo tiempo, es mejor procesar primero el material que se utiliza con más rapidez en centros de trabajo subsiguientes.

8.3 PROGRAMACIÓN

Suponiendo que no se utilizan sistema MRP ni sistemas de arrastre (como se analizó en la sección anterior), es posible desarrollar un estimado de cuándo alcanzará la tarea un centro de trabajo determinado, y de cuándo debe finalizarse el trabajo en él. Existen dos métodos básicos para establecer estos estimados de tiempo. El primero, llamado programación inversa, inicia el cálculo a partir del momento en que la tarea se vence (o se ha comprometido), y utiliza la información del tiempo de espera para retroceder hasta determinar cuándo llegará la tarea al centro de trabajo y cuándo deberá finalizarse. El segundo método, conocido como programación directa, funciona exactamente al revés. Se inicia cuando la tarea se libera al proceso de producción. Una

vez más mediante estimaciones del tiempo de espera, el método calcula en qué momento debe llegar la tarea al centro de trabajo, y cuándo deberá ser completada ahí, para concluir con una estimación del momento en que se terminará todo el trabajo. Este tiempo de terminación global representa el tiempo de promesa más lógico para el cliente. Debido a que la programación inversa inicia con la fecha esperada de vencimiento para la entrega, casi siempre se prefiere este método (de hecho, éste es el enfoque que utiliza el sistema MRP).

EJEMPLO 8.2

La siguiente información se refiere a una tarea particular. Estamos empezando el día 214 de la programación y la operación se realiza en un solo turno de siete horas productivas. Para efectos de ilustración, supondremos que las capacidades de producción estarán disponibles cuando se les requiera. La tarea exige que se fabriquen 100 unidades:

<i>Operación</i>	<i>Tiempo de espera total para producir 100 unidades (incluye configuración, ejecución, tiempo en fila de espera y tiempo de desplazamiento)</i>
A	21 horas
B	14 horas
C	35 horas
D	7 horas
E	10.5 horas
F	3.5 horas

Si utilizáramos programación directa, enviaríamos la tarea a producción lo antes posible. En este caso, suponga que podemos hacerlo de inmediato (día 214). Esto implicaría lo siguiente:

<i>Operación</i>	<i>Completada</i>
A	Final del día 216 (tres turnos)
B	Final del día 218
C	Final del día 223
D	Final del día 224
E	A mitad del día 226
F	Final del día 227

Utilizando este método podemos asumir que lo más temprano que puede finalizarse la tarea es al final del día 227, lo que probablemente nos permitirá entregar el pedido el día 228. Claro que esta suposición parte de la premisa de que no existirán problemas que impacten el tiempo en fila de espera. Observe que los supuestos de simplificación del tiempo total dan por sentado que el tiempo en fila de espera está integrado; sin embargo, casi siempre este parámetro es el más grande y variable entre los que conforman el tiempo de espera.

A continuación analizaremos el uso de la programación inversa. Suponga que se prometió al cliente que la tarea estaría terminada para el día 240, utilizando (probablemente) una cotización por tiempo de espera estándar en muchas funciones de ventas. En consecuencia, daremos por sentado que la tarea debe finalizarse —cuando mucho— el día 239 si se quiere evitar un retraso en la entrega. La programación inversa se realiza del día 239 hacia atrás:

<i>Operación</i>	<i>Compromiso de vencimiento</i>	<i>Compromiso de inicio</i>
F	Final del día 239	A mitad del día 239
E	A mitad del día 239	Principio del día 238
D	Final del día 237	Principio del día 237
C	Final del día 236	Principio del día 232
B	Final del día 231	Principio del día 230
A	Final del día 229	Principio del día 227

Observe que la programación inversa presenta la fecha de inicio más lejana posible, es decir, al principio del día 227. Naturalmente nada puede evitar que la tarea se inicie antes del día 227, pero hacerlo así implicará un incremento en la cantidad de inventario. Muchas operaciones elegirán hacerlo, dada la variabilidad de los tiempos de espera y la dificultad para predecirlos, sobre todo cuando están involucrados tiempos en fila de espera.

8.4 CARGA

De acuerdo con lo que se señaló en el análisis sobre el control de entrada/salida (capítulo 7), el tiempo total estimado para finalizar todas las tareas en un centro de trabajo específico suele denominarse carga del centro de trabajo. Muchas veces la carga se mide en unidades de tiempo, por ejemplo, horas de trabajo. Antes de analizar los métodos por los que se puede determinar la carga de un centro, nos será útil comprender dos métodos fundamentalmente distintos para su administración.

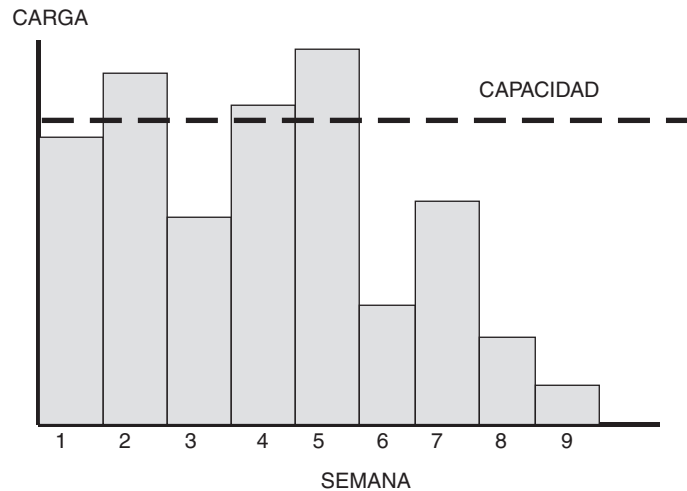
Carga infinita

En este método las tareas se cargan a un centro de trabajo de acuerdo con el momento en que deben realizarse para responder a las necesidades del cliente, sin importar la respuesta de la capacidad ante dicha carga. En cierto sentido, las tareas se cargan bajo el supuesto de que el centro de trabajo cuenta con una capacidad prácticamente ilimitada (lo cual, por supuesto, no es el caso). El diagrama de la figura 8.3 ilustra el ejemplo de una carga.

La principal dificultad respecto de las cargas infinitas radica en cómo administrarlas. En el caso anterior, por ejemplo, prácticamente no existe posibilidad de ejecutar la carga adicional de la semana 2 al principio de la semana 1. El responsable seguramente tendrá que hacer algo para incrementar temporalmente la capacidad en la semana 2, como programar tiempo extra. La sobrecarga en la semanas 4 y 5, sin embargo, puede realizarse en la semana 3 (suponiendo que la ejecución de las tareas puede efectuarse de manera anticipada), toda vez que existe una capacidad ociosa en ese momento. De lo contrario, el responsable enfrentará nuevamente el reto de encontrar alternativas de expansión de la capacidad.

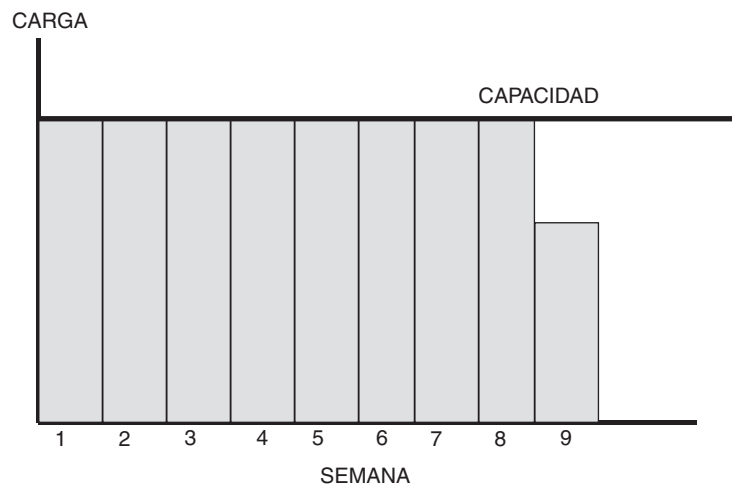
Carga finita

Como su nombre lo indica, este método implica que el centro de trabajo cuenta con una capacidad conocida, finita y sujeta a medición. Si el centro de trabajo tiene una carga que excede su capacidad en un periodo dado, el trabajo se desplaza al siguiente periodo. Este método se ha utilizado bastante en los últimos años, a medida que se

FIGURA 8.3 Ejemplo de carga “infinita”

han presentado numerosos paquetes de software de programación finita. La representación gráfica se ilustra en la figura 8.4.

Aunque este método de programación finita presenta claras ventajas para balancear la carga y disminuir los gastos adicionales por tiempo extra y otras actividades de agilización, es evidente que tiene un inconveniente. Específicamente, cuando la carga se desplaza a un periodo posterior en los casos en que se excede la capacidad del centro de trabajo, las fechas de vencimiento respecto del cliente pueden verse afectadas de manera negativa. En otras palabras, aunque tal vez sea mejor para la estabilidad de las instalaciones, el método de carga finita puede ser muy dañino para el servicio al cliente. A pesar de ello, se utiliza con frecuencia, sobre todo en operaciones donde añadir una capacidad de corto plazo resulta muy caro o imposible.

FIGURA 8.4 Ejemplo de carga finita

También es preciso comprender algunos supuestos antes de utilizar este sistema. Un supuesto inherente a la carga es que la capacidad se conoce y es precisa, lo mismo que el tiempo de procesamiento. Por desgracia, estas dos medidas tienden a basarse en estándares de tareas cuyo desarrollo no sólo es un tanto subjetivo, sino que además pueden cambiar con el paso del tiempo debido a las curvas de aprendizaje.

Básicamente hay dos métodos para cargar un centro de trabajo:

- **Carga vertical.** En este método se selecciona un centro de trabajo y las tareas se cargan en él una por una, de acuerdo con alguna de las reglas de prioridad que se describieron antes. El foco de atención es el centro de trabajo, en donde las tareas se cargan una por una.
- **Carga horizontal.** En este método la tarea con la prioridad más alta se carga en cada uno de los centros de trabajo donde se requiera. Luego se carga la siguiente tarea de la misma forma, y así sucesivamente. Este método es el más utilizado por los sistemas de programación finita que hemos mencionado. Aquí el foco son las tareas, que se cargan en un centro de trabajo a la vez.

EJEMPLO 8.3 EJEMPLO DE CARGA

Un centro de trabajo (centro X) tiene las tareas que se presentan a continuación de acuerdo con el orden en que llegaron. Como estrategia de carga, el centro de trabajo utiliza fechas de vencimiento determinadas a partir del método “primero en llegar primero en ser atendido” para evitar “empates” en el orden de prioridad. Es el inicio del día 137, y cada día cuenta con 7 horas productivas (420 minutos):

<i>Trabajo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Día de vencimiento</i>	<i>Tiempo de configuración</i>	<i>Estándar por pieza</i>
A	130	136	10 minutos	1.5 minutos
B	100	137	30 minutos	1.8 minutos
C	50	137	10 minutos	0.6 minutos
D	200	138	25 minutos	0.8 minutos
E	120	138	15 minutos	1.1 minutos
F	100	138	20 minutos	1.3 minutos

Antes que nada, suponga que utilizaremos la carga vertical y que contamos con capacidad infinita. El primer paso consiste en determinar el tiempo necesario para completar cada tarea de acuerdo con el estándar:

<i>Trabajo</i>	<i>Tiempo estándar por cantidad</i>	<i>Tiempo de configuración</i>	<i>Tiempo total</i>
A	$(130) \times (1.5) = 195 \text{ min.}$	10 min.	205 min.
B	180 min.	30 min.	210 min.
C	30 min.	10 min.	40 min.
D	160 min.	25 min.	185 min.
E	132 min.	15 min.	147 min.
F	130 min.	20 min.	150 min.

Utilizando el método de carga infinita, tendríamos que cargar el centro de trabajo de acuerdo con la fecha de vencimiento. Esto significa que las tareas A (ya retrasada), B y C serían cargadas el día 137, y las D, E y F serían cargadas en el día 138. Al hacer esto se re-

querirán 455 minutos en el día 137 y 482 minutos en el día 138. Dado que ambos días requieren ahora más minutos (de acuerdo con el estándar) de los que se puede disponer (420 minutos), el centro de trabajo probablemente necesitará programar tiempo extra para cumplir con el trabajo (suponiendo estándares más o menos precisos).

En contraste, si se utiliza la carga finita sólo se intentaría finalizar las tareas A y B en el día 137. Dado que éstas requieren 415 minutos, lo mejor sería iniciar la configuración de 10 minutos para la tarea C antes de terminar el día. En el día 138 se podría terminar la tarea C (utilizando los 35 minutos restantes) y completar las tareas D y E. La tarea E tendría que completarse en la marca de los 367 minutos, lo que permitiría 53 minutos para configurar e iniciar la tarea F. El centro de trabajo sólo podría terminar aproximadamente 25 de los 100 artículos (53 minutos – 20 minutos de configuración = 33 minutos de ejecución; 33 minutos/1.3 minutos por artículo = 24.5 artículos). La consecuencia de esto es previsible: seguramente las tareas C y F se retrasarían.

Este ejemplo ilustra el balance implícito en los métodos de carga. En general, se puede decir que la carga infinita tiende a flexibilizar la capacidad y da mayor importancia a la fecha de vencimiento en lugar de agregar capacidad adicional (y posiblemente aumentar el costo). La carga finita, en contraste, asume que las instalaciones no pueden o no quieren flexibilizar la capacidad aun cuando tengan que hacer frente a los costos que esto conlleva y a la disminución potencial del servicio al cliente.

Por supuesto, en los años recientes se han desarrollado otras técnicas de programación. Por ejemplo, el método Justo a tiempo cuenta con sus propias herramientas, lo mismo que la programación mediante el uso de teoría de restricciones. Los métodos inherentes a estos conceptos se analizarán de manera independiente en los capítulos específicos que tratan dichos temas.

8.5 ACCIONES CORRECTIVAS

Es evidente que casi todos los métodos analizados en este capítulo cuentan con un supuesto básico: que los tiempos de proceso y otros elementos del tiempo de espera se conocen y son precisos. Sin embargo, sabemos que en la práctica rara vez éste es el caso. Existen elementos subjetivos al desarrollar los tiempos estándar; la “curva de aprendizaje” alterará de manera constante el tiempo de procesamiento real, y todo tipo de condiciones en la planta de producción afectarán el tiempo real disponible para realizar muchas de las tareas.

En consecuencia, es muy probable que se requieran acciones correctivas de vez en cuando. Algunas de las acciones correctivas más comunes incluyen:

- *Subcontratación o adquisición de componentes.* Esto implica adquirir las partes requeridas en lugar de fabricarlas, o contratar una organización externa para que fabrique las partes en lugar de utilizar las instalaciones de producción internas.
- *División por lotes.* Implica considerar sólo la cantidad mínima de partes y presionar el proceso para su finalización. Esto permitirá despachar una cantidad mínima al cliente mientras que se deja el resto del pedido pendiente para completarlo en una fecha posterior.

- *Traslape de operaciones.* Esto implica desplazar parte del pedido a la siguiente operación antes de que la actual lo haya terminado de procesar. Generalmente este método permitirá completar más rápido el pedido.
- *División de la operación.* Implica asignar más recursos (personal y equipo) a la fabricación del pedido, de modo que el procesamiento pueda realizarse en paralelo y, por lo tanto, finalizar más rápido.
- *Ruteo alternativo.* Esto implica desplazar la tarea a las operaciones que normalmente no se utilizan para la producción, sobre todo cuando los recursos primarios de producción no están disponibles o ya están comprometidos en otro trabajo.
- *Cancelación de pedidos.* Evidentemente éste es el último recurso, pero puede utilizarse cuando el costo de finalizar el pedido utilizando estas acciones “especiales” pudiera exceder la utilidad esperada. Sin duda es preciso tomar en consideración la relación con el cliente y la reputación de largo plazo antes de utilizar este método.

TÉRMINOS CLAVE

Carga finita	Control de la actividad de	Lista de despacho
Carga horizontal	producción (CAP)	Programación directa
Carga infinita	Control de planta	Programación inversa
Carga vertical	Diagrama de Gantt	

RESUMEN

Los mejores planes del mundo tendrán poco valor a menos que se ejecuten como se espera. Este capítulo analiza varias de las reglas de programación más comunes para realizar las tareas una vez que se liberan a la operación. A medida que las condiciones cambian, es importante controlar tanto la prioridad del trabajo dentro de las insta-

laciones como la capacidad utilizada para efectuar el trabajo. Este capítulo identifica muchos de los aspectos y métodos más comúnmente utilizados para incrementar la probabilidad de una ejecución efectiva del trabajo dentro de la operación.

REFERENCIAS

- | | |
|---|---|
| Chase, R. B. y N. J. Aquilano, <i>Production and Operations Management</i> . New York: Irwin, 1995. | Melnyk, S. y P. Carter, <i>Production Activity Control</i> , New York: Irwin, 1987. |
| Fogarty, D. W., J. H. Blackstone, Jr. y T. R. Hoffmann, <i>Production and Inventory Management</i> . Cincinnati, Ohio: South-Western, 1991. | Schonsleben, P., <i>Integral Logistics Management</i> . Boca Ratón. Florida: St. Lucie Press, 2004. |

PREGUNTAS Y PROBLEMAS DE ANÁLISIS

1. Analice el impacto que los estándares de trabajo pueden tener sobre las actividades principales del CAP. Dado que los estándares de trabajo rara vez son exactos y se ven impactados por el aprendizaje, ¿cuáles son sus implicaciones para las principales actividades de CAP?
2. Ben es dueño de un taller de reparación de bicicletas, y cada día de trabajo (de 10 horas) le esperan las siguientes tareas. El compromiso con sus clientes fue que todas las tareas de reparación de bicicletas que se presentan a continuación estarían listas en ciertas horas del día de hoy. Determine el orden de prioridad para programar las tareas utilizando reglas de tiempo de vencimiento; primero en llegar, primero en ser atendido; tiempo de procesamiento más corto; holgura total, y proporción crítica. Las tareas se muestran en el orden en el que los clientes las solicitaron.

<i>Tarea de reparación</i>	<i>Tiempo hasta el vencimiento (hrs.)</i>	<i>Tiempo estimado de reparación</i>
A	2	2.5
B	3	0.5
C	5	1.5
D	5	2
E	6	0.5
F	7	1
G	9	1
H	10	1.5

- a. Si los clientes de Ben están dispuestos a aceptar un ligero retraso en sus trabajos sin molestarse, ¿cuál regla debería utilizar y por qué?
 - b. Si los clientes pueden molestarse por el hecho de que sus trabajos no están terminados exactamente cuando les fueron prometidos, ¿cuál regla debería utilizar Ben y por qué?
 - c. A partir de la información que se analizó en este capítulo, ¿cuál método/enfoque le recomendaría a Ben que adoptara en el futuro antes de efectuar sus tareas de programación?
3. Se ha presentado un nuevo trabajo en una instalación de producción. Es el principio del día 143, y se asumen 8 horas de capacidad productiva disponibles por día. El trabajo consiste en la producción de 200 unidades. La siguiente lista presenta las operaciones requeridas y los estándares de tiempo apropiados.

<i>Operación</i>	<i>Tiempo de configuración</i>	<i>Tiempo de ejecución por unidad</i>
A	1.2 horas	3.5 minutos
B	0.5 horas	1.7 minutos
C	2.5 horas	4.4 minutos
D	3 horas	7.1 minutos
E	1.5 horas	2.3 minutos
F	1 hora	3.1 minutos

- a. Si la operación utiliza programación directa y lanza la tarea a producción inmediatamente, ¿cuándo debería esperarse que se realizara, suponiendo que la capacidad apropiada está disponible cuando se requiera?
- b. El cliente ha solicitado que el pedido se le entregue el día 170. Si se utiliza programación inversa a partir de ese día, ¿cuándo es lo más tarde que debe iniciarse la tarea, nuevamente suponiendo que la capacidad apropiada está disponible cuando se requiera?

4. Cierta gerente de operaciones comentó: “No tengo que tomar una decisión sobre que tipo de programación utilizar, directa o inversa, dado que empleo el sistema MRP y él se encarga de tomar la decisión”. Analice si está de acuerdo con esta afirmación y explique por qué.
5. Las siguientes tareas están en espera de ser procesadas en un centro de trabajo. Se tienen 7 horas por cada día productivo. Estamos en el principio del día 211. Los días de vencimiento se presentan cuando las tareas no se han completado en el día prometido, y se listaron según el orden en que llegaron al centro de trabajo. Éste utiliza un sistema de prioridad de fecha de vencimiento con un sistema de primero en llegar, primero en ser atendido para evitar los casos de “empate”.

<i>Trabajo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Día de vencimiento</i>	<i>Tiempo de configuración</i>	<i>Tiempo estándar por pieza</i>
A	120	211	30 minutos	2.1 minutos
B	200	212	40 minutos	1.7 minutos
C	100	212	20 minutos	1.2 minutos
D	250	213	35 minutos	1.5 minutos
E	150	214	50 minutos	2.3 minutos
F	200	214	65 minutos	3.2 minutos
G	150	214	30 minutos	1.9 minutos

- a. Utilice carga vertical para asignar las tareas al centro de trabajo, suponiendo capacidad infinita. ¿Qué posibles problemas identifica y cómo los resolvería?
- b. Ahora cargue las tareas utilizando capacidad finita. Nuevamente, ¿qué problemas identifica y cómo los resolvería?

CAPÍTULO 9

Sistemas de producción esbelta y justo a tiempo (JIT)

Esquema del capítulo

- 9.1 Conceptos fundamentales
- 9.2 Impactos en la capacidad
- 9.3 El sistema *pull* (o de arrastre)
- 9.4 El sistema *kanban*
- 9.5 Uso del sistema *kanban* para la mejora de procesos
- 9.6 Producción esbelta y programación maestra
- 9.7 ¿Son compatibles los sistemas *kanban* y MRP?

Introducción— La corriente administrativa conocida como *Justo a Tiempo* (o *JIT*, por las siglas en inglés de *Just In Time*) comenzó a utilizarse en Japón (en especial en la empresa automotriz Toyota Motor Company) a mediados de los años setenta, en respuesta a la crisis mundial del petróleo que se vivió en aquella década. Como Japón prácticamente no posee recursos naturales (excepto su población), a lo largo de su historia siempre se ha visto en la necesidad de importar gran cantidad de productos. Toda vez que en esa época la crisis energética provocó escasez y aumento de precios en muchos artículos, la nación nipona tuvo que volverse muy ahorrativa para seguir siendo competitiva en el mercado mundial.

Cuando los fabricantes del resto del mundo se percataron de las increíbles mejoras en la calidad de producción, de la reducción de costos y de los significativamente más efectivos tiempos de entrega que el nuevo método administrativo estaba aportando a sus exitosos adeptos, se generó mucho interés y se comenzó a gestar una gran actividad para descubrir las metodologías que estaban empleando los orientales. Los esfuerzos iniciales para comprenderlas produjeron varias concepciones erróneas acerca del JIT, como las siguientes:

- se supuso que el sistema sólo funcionaría en los entornos donde se fabrican productos repetitivos y altamente estandarizados;
- se creyó que era inapropiado para operaciones de servicio;
- se asumió que su efectividad se debía únicamente a los estrechos vínculos entre los clientes y sus proveedores clave, así como a su proximidad geográfica; y
- se pensó que sólo funcionaría si los organismos gubernamentales aportaban su apoyo.

Por fortuna, los profesionales del área operativa han podido comprender —con el paso del tiempo— los principios básicos inherentes al JIT, hasta el punto en que la aplicación de modificaciones del sistema se ha generalizado y hoy se usa en casi cualquier tipo de operación: grande y pequeña, de servicios y de manufactura.

Sin embargo, la prisa por implementar los principios correspondientes durante los primeros años después de su aparición provocó numerosas fallas, debido a que las compañías trataron de hacer cambios sin entender en realidad qué implicaciones tendría ni cuál método sería el más apropiado para sus condiciones particulares. Afortunadamente, aquellas primeras “salidas en falso” no entorpecieron el desarrollo ni la mejora de los conceptos. Hoy en día éstos han evolucionado hasta dar lugar a lo que se conoce como “**producción esbelta**”. Los conceptos básicos son casi los mismos que los desarrollados originalmente por Toyota, pero el método actual no implica tan sólo entender los conceptos de manera genérica, sino también agregar mejoras que contribuyan a la comprensión de los procedimientos y de las implicaciones que tendrán cualesquiera cambios realizados en el sistema. Un ejemplo de lo anterior es el uso del **mapeo del flujo de valor**. En este enfoque, todos los flujos de actividades, inventarios e información (tamaño de la producción, funciones y costos) se “esquematizan” en un método semejante al mapeo de procesos, pero añadiéndole un análisis cuidadoso de todas las tareas involucradas en las diferentes operaciones.

En este punto es preciso señalar que un análisis completo acerca de la producción esbelta rebasa el alcance de este libro, dado que la implementación apropiada de dicho sistema involucra casi todos los elementos de la organización. Por lo tanto, nuestro objetivo será concentrarnos únicamente en las áreas de producción esbelta que tienen un impacto importante en las operaciones de control y planificación.

9.1 CONCEPTOS FUNDAMENTALES

La escasez energética sirvió como catalizador para el desarrollo ulterior del método JIT original, que se enfocaba en la reducción de desperdicio en distintos rubros: desperdicio de desplazamiento, de tiempo, por exceso de inventario y por calidad deficiente. La única manera en que una operación sería capaz de enfocarse eficazmente en todas esas formas de desperdicio, consistía en rediseñar el proceso utilizado en la producción y, en consecuencia, muchas veces el diseño mismo de los productos. En general, se comprendió que el origen de tanto desperdicio (sobre todo de la forma de desperdicio más visible: el exceso de inventario) se encontraba en incertidumbres del sistema, como las siguientes:

- **Condiciones del mercado.** Como se analizó en el capítulo 2, “Principios básicos de pronóstico”, la demanda real del mercado representa algún grado de incertidumbre hasta que se levanta una orden real de un cliente. En el caso de algunas compañías, aun entonces el cliente puede modificar sus pedidos, ya sea en lo relativo a la cantidad, al tiempo, a las especificaciones del producto, o los tres parámetros.
- **Problemas de calidad.** Si el administrador no puede garantizar la calidad de un producto elaborado por cierta operación, muchas veces ordenará que se fabrique una mayor cantidad sólo “por si acaso” algunas unidades no pueden utilizarse. Por ejemplo, si alguien necesita 100 artículos “buenos” pero sabe que por lo general el

proceso de fabricación sólo genera 90% de productos buenos, es probable que ordene 110 unidades o más para evitar verse afectado por la tendencia de calidad deficiente.

- Cambios en el diseño. Si el diseño de un componente se modifica y no se le implementa de manera apropiada, es muy probable que subsistan algunos de los problemas del antiguo diseño.
- Errores. Siempre que el ser humano interviene en un sistema, se abre la posibilidad de que se cometan errores. Muchas veces se requiere inventario extra sólo para paliar los efectos de tales errores.
- Bases de datos imprecisas. Cuando una persona no tiene certeza de cuál es el contenido real de un inventario por contar con datos históricamente deficientes, su respuesta típica será aumentar la producción “por si acaso”.
- Problemas de equipo (por ejemplo, tiempos improductivos, tiempos de preparación, o baja calidad). Si existe una alta probabilidad de que una pieza del equipo no pueda operar con la calidad apropiada, el inventario extra servirá como respaldo.
- Problemas laborales (por ejemplo, capacitación y falta de flexibilidad). Esto implica que, de darse escasez de trabajadores calificados para producir un artículo justo cuando se requiere, se presentará la necesidad de generar material de respaldo.
- Problemas con los proveedores (por ejemplo, problemas de calidad o de entrega). Muchas veces se mantiene un aprovisionamiento extra de materia prima por si el proveedor retrasa su entrega, o surte los pedidos con material deficiente o inadecuado.

Además del obvio desperdicio de capital, hubo una razón para que el inventario se convirtiera en un factor tan importante. En la época en que los métodos de producción esbelta evolucionaron, las compañías se volvieron más competitivas en muchos aspectos, y tal vez uno de los más importantes fue la velocidad de entrega (tiempo). Una relación bien conocida, denominada ley de Little, vincula el inventario y el tiempo de la siguiente forma:

$$I = RT$$

Donde R es la tasa de producción, T es el tiempo del periodo de producción, e I es el inventario. Como casi todas las empresas pueden hacer bien poco por alterar de manera evidente las tasas de producción de los artículos que fabrican, la ley muestra la relación directa que hay en el sistema entre inventario y tiempo durante el periodo de producción. De manera más específica, si la tasa de producción (R) es básicamente constante en cierta operación, quiere decir que existe una relación directa entre el inventario y el periodo de producción. Esto significa que una reducción importante en el inventario podría representar una mejora significativa en el tiempo del periodo de producción, el cual está directamente relacionado con la velocidad de entrega.

Además, sabemos (como se comentó en el capítulo 5, “Administración de inventarios”) que en cualquier organización el inventario es un reflejo de cómo se está manejando el negocio. Esto fue muy evidente durante el cambio a JIT, cuando las compañías solían enfocarse —al empezar la implementación del sistema— en la re-

ducción de inventario como primer curso de acción, como si ése fuera el problema. Muy pronto casi todas esas compañías se dieron cuenta de que la reducción del inventario sólo crearía un conjunto de problemas enteramente nuevos que, en muchas ocasiones, resultarían más costosos que el inventario mismo. Algunos de los problemas comunes que ocasionó la implementación de niveles de inventario inapropiados son:

- Incremento de los costos y de las actividades de agilización.
- Aumento de los envíos mediante fletes de primera por parte de los proveedores.
- Producción dividida en lotes y la consecuente necesidad de configuraciones excesivas.
- Deficientes medidas de eficiencia y malos niveles de utilización a causa de desabastos.
- Y, por supuesto, el problema obvio de falta de existencias.

Si consideramos cada una de las incertidumbres y problemas mencionados en la primera lista del capítulo, podremos darnos cuenta de cómo el método JIT constituyó un esfuerzo sistemático e integral para alterar los procesos de producción básicos, e incluso la “cultura” de las áreas de producción. De manera específica, cada una de las áreas de operación se preocupó de mejorar los siguientes factores:

- **Condiciones de mercado.** La mejora más grande en este rubro fue la reducción de tiempos de espera mediante la implementación de configuraciones más simples, disminución del tamaño de los lotes, cambios en la distribución, programación de modelo mixto y procesamiento rápido de la información (actividad que, por lo menos en parte, se llevó a cabo mediante la aplicación del sistema Kanban). Un tiempo de espera significativamente más corto implica que podemos comenzar la producción mucho más cerca de la fecha comprometida para entregar el pedido al cliente. Como se analizó en el capítulo 2, este horizonte más corto de pronóstico requerido permite que la proyección resulte más exacta y que haya menos desperdicio. Además, incrementa la flexibilidad del sistema, lo que permite dar respuestas más rápidas y eficaces ante cualquier cambio de las condiciones de mercado.
- **Problemas de calidad.** Muchas personas conocen la estrecha relación que existe entre JIT y la *administración de la calidad total* (conocida también como TQM por las siglas de *Total Quality Management*). Uno de los principales objetivos del sistema de administración TQM consiste en minimizar los problemas de calidad que pudieran presentarse en la producción y en el sistema de diseño, enfocándose en el análisis y la mejora de los procesos. Otra importante meta de la TQM es minimizar cualquier forma de desperdicio, sobre todo el que tiene que ver con la calidad. Estos enfoques no sólo son compatibles con los conceptos JIT, sino que además constituyen un factor importante para su implementación.
- **Cambios en el diseño.** Parte del esfuerzo TQM se enfocó en la calidad del diseño. Además, muchos productos se diseñaron de manera que cualquier opción o característica especial podía añadirse en las etapas finales del proceso de fabricación, lo que permitía más estabilidad en la primera parte del flujo de la operación.
- **Errores.** Tanto los diseños de procesos como los de productos se desarrollaron con la intención de que fueran “a prueba de errores” (por lo menos en lo posible). Las conexiones con códigos de color son un buen ejemplo de este método.

- **Bases de datos inadecuadas.** El hecho de que los sistemas permitieran producir a partir de una menor cantidad de recursos no sólo contribuyó a corregir los problemas de precisión de la información, sino también a reducir las actividades de seguimiento necesarias. Además, algunas de las “reglas” implementadas permitieron la fácil obtención de datos. Ése fue el caso, por ejemplo, de la regla que exigía que todas las piezas contaran con un contenedor estándar con capacidad para un número estándar de unidades: por lo general se exige que dichos contenedores estén llenos a toda su capacidad, lo que evita tener que contar parte por parte; para saber cuántas unidades hay, todo lo que se debe hacer es contar los contenedores y multiplicar su número por la cantidad estándar de unidades que contiene cada uno de ellos.
- **Problemas con el equipo.** El enfoque aquí es muy simple de explicar: sin excepción se lleva a cabo un programa integral de mantenimiento preventivo.
- **Problemas laborales.** En este rubro se utiliza una gran diversidad de métodos, como la capacitación, la participación de los empleados y la flexibilidad de la fuerza de trabajo.
- **Problemas con proveedores.** El desarrollo de sociedades entre clientes y proveedores con fuentes únicas de abasto permite establecer vínculos estrechos y mejores relaciones. Los canales de comunicación se fortalecen, y esto ayuda al proveedor a entender las necesidades del cliente de manera más completa, así como a sentirse más comprometido para asegurarse de que los desabastos sean raros. Todo esto dio lugar a una reducción de los costos relativos a la elaboración de órdenes de compra, y se logró gracias al establecimiento de mejores canales de comunicación (de hecho, muchas compañías utilizan intercambio electrónico de datos [EDI, por sus siglas en inglés] o conexiones de Internet para reducir significativamente los costos de comunicación). Como los vínculos de abasto son más seguros, el inventario total puede reducirse y el proveedor puede involucrarse de manera más cercana con el diseño del producto, lo que redundará en mejores diseños, de más alta calidad y a costos más bajos.

En general, la transformación de los procesos y sistemas tuvo por objetivo

- Reducir o eliminar perturbaciones.
- Flexibilizar el sistema.
- Reducir los tiempos de configuración y de entrega.
- Minimizar las necesidades de inventario.

Se utilizaron diferentes conceptos para atacar los problemas, cada uno de los cuales cae en una —o en varias— de estas tres categorías. Cada concepto hace su propia contribución, pero en conjunto constituyen un sistema de producción totalmente nuevo. Las tres categorías son:

1. Reducción directa de desperdicios.
2. Reducción de aquellas incertidumbres involucradas en el proceso que ocasionan desperdicios, generalmente como respaldo.
3. Determinación de métodos más efectivos para manejar las incertidumbres de proceso que no se pueden eliminar.

Los siguientes son ejemplos de los programas que fueron utilizados (junto con un resumen de cómo implementaron las empresas el sistema JIT):

- Cargas estables y uniformes – con lo que disminuyó una parte de la incertidumbre relativa a las demandas de mercado.
- Tasas de producción sincronizadas con el mercado – minimizan el inventario, reducen los tiempos de espera e incrementan el servicio al cliente (disminuyendo la incertidumbre).
- Administración total de la calidad – reduce el desperdicio ocasionado por calidad deficiente, así como la necesidad de contar con inventario de respaldo, “por si acaso” la calidad de algún producto resulta inapropiada (con lo que disminuye la incertidumbre).
- Redes integradas de proveedores – incrementan la certeza del suministro, disminuyen el costo por órdenes de compra, reducen el inventario, incrementan la calidad y el valor mediante mejores diseños (reduciendo el desperdicio y la incertidumbre).
- Administración participativa – permite contar con una fuerza laboral más motivada, estimula la participación de los empleados y da mayor flexibilidad (incrementando la capacidad para manejar la incertidumbre que pudiera subsistir).
- Comunicación simple e interactiva – comunicación rápida de las necesidades y problemas a costo muy bajo (incrementando la capacidad para manejar la incertidumbre que pudiera persistir).
- Mayor hincapié en el mantenimiento preventivo – aumenta la certidumbre en la disponibilidad del equipo; mejora la calidad de la producción de manera más constante (disminuyendo la incertidumbre y los desperdicios).
- Programas de reducción de configuración – permiten lograr tamaños de lote más pequeños, reducen los inventarios y los tiempos de espera, y ofrecen mayor calidad con configuraciones menos radicales (reduciendo el desperdicio y la incertidumbre).
- Distribuciones celulares – permiten una mejor comunicación, menor inventario en proceso, tiempos de configuración más cortos, costos de manejo más bajos, tiempos de entrega más breves (incrementando la capacidad para manejar las incertidumbres que pudieran subsistir y reduciendo el desperdicio).
- Diseños integrados de producto – permiten reducir los costos de diseño, mejorar la calidad, lograr tiempos más cortos de salida al mercado y disminuir los costos de producción (reduciendo el desperdicio y la incertidumbre).
- Instalaciones especializadas – producen beneficios semejantes a los de la distribución celular.
- Balance del flujo y de línea – permite reducir los tiempos globales de espera y los niveles de inventario (disminuyendo el desperdicio y la incertidumbre).
- Incremento de la capacitación laboral – da lugar a más flexibilidad por parte de los trabajadores, mejora la calidad y aumenta el espíritu laboral de los trabajadores (reduciendo el desperdicio y la incertidumbre).

Todos estos cambios en los sistemas no sólo afectaron la producción sino que, además, causaron transformaciones dramáticas en los métodos para administrar los procesos. A partir de la eliminación de inventario y de la necesidad de respaldo que permitieron estos cambios, resultaba imposible tratar cada operación por separado. Cualquiera que haya sido la razón por la que antes existía inventario, en última instancia

servía para desacoplar las operaciones, dando lugar a su manejo casi como entidades separadas. Con la implementación del nuevo sistema esto dejó de ocurrir. Los administradores se vieron obligados a utilizar una perspectiva total del sistema y, como los propósitos y los enfoques de éste ahora eran distintos, también tuvieron que modificarse los métodos y las medidas utilizados en él. El siguiente ejemplo nos ayudará a explicar el impacto provocado por la nueva situación:

Suponga que tenemos una operación sencilla con tres centros de trabajo (A, B y C), como se ilustra en la figura 9.1.

En el diagrama, los triángulos representan el inventario. Concentre su atención en uno de los centros de trabajo, digamos el centro B, y hágase algunas preguntas, por ejemplo: ¿qué sucedería si el centro de trabajo B experimentara una falla en su equipo? La respuesta sería que, *en el corto plazo*, sólo el centro de trabajo B se vería afectado. Dado que hay espacio para el inventario entre A y B, el centro A podrá continuar trabajando y tener un lugar para colocar el inventario. Por otra parte, debido a que también existe inventario entre los centros de trabajo B y C, el centro C puede continuar trabajando durante el tiempo que dure el inventario. Lo más importante es que la operación puede seguir atendiendo al cliente. El resultado es el mismo sin importar la razón de cualquier alteración que pudiera sufrir el centro de trabajo B: ausentismo laboral, fabricación de productos de baja calidad, etcétera. Esto permite que la administración se concentre exclusivamente en solucionar el problema que enfrenta el centro B, y que el costo para la empresa equivalga únicamente a su resolución.

Esto ilustra un punto muy importante respecto del inventario (mencionado brevemente en los párrafos precedentes): *En todos los sistemas y sin importar la razón de su existencia, los inventarios actúan de manera automática como agentes de desacoplamiento, ya que permiten que la administración concentre su atención únicamente en una parte del sistema a la vez.* Como también hemos indicado, esto es válido tan sólo para el corto plazo o, de forma más específica, hasta que se agote el inventario entre los centros de trabajo.

A continuación examinaremos la misma instalación, pero después de implementar con éxito un programa JIT en ella. Aun cuando lograr una reducción significativa en los niveles de inventario no es el único objetivo del sistema JIT, sin duda ésta es una meta muy importante, y puede considerársele como un subproducto de todas las actividades que hemos venido describiendo. Si damos por sentado que el programa tiene ya algún tiempo en práctica, podemos asumir que los niveles de inventario son muy bajos, situación que se ilustra en la figura 9.2.

FIGURA 9.1 Operación con grandes cantidades de inventario

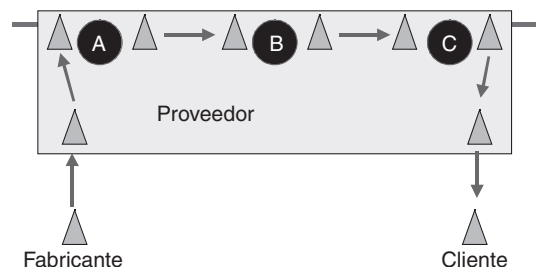
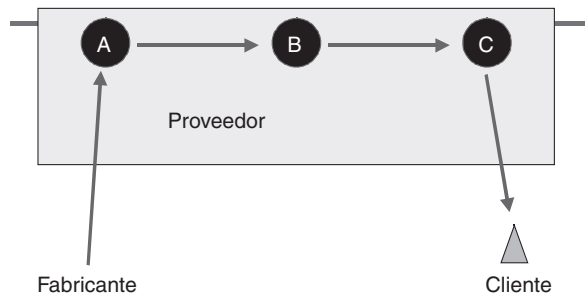


FIGURA 9.2 Operación con cantidades de inventario muy reducidas

En esta situación el inventario ha sido reducido hasta el punto en que toda cantidad importante se puede presentar sólo en la fábrica del cliente (suponiendo que la asociación entre éste y el proveedor ha sido exitosa), lo que permite tanto la reducción de materia prima en nuestra fábrica como de los productos terminados equivalentes en la instalación del proveedor). En este caso, podemos volver a formular la misma pregunta básica: ¿qué sucedería en el corto plazo si el equipo del centro B se descompusiera? La respuesta esta vez será que toda actividad se detendrá, *incluyendo los envíos al cliente*. El centro A se detendrá debido a que no hay lugar para colocar inventario ni demanda para él (suponiendo que esté implementado un sistema de arrastre, o *pull*). El centro C también tendrá que interrumpir sus actividades, ya que no hay inventario para trabajar. En ausencia de inventario de desacoplamiento, el responsable de la fábrica *deberá administrarla como un sistema estrechamente vinculado*.

El impacto potencial de ese cambio de enfoque administrativo puede ser, de hecho, muy profundo. Un ejemplo sencillo puede ilustrar esto. Suponga que una fábrica tiene la capacidad de producir 1000 unidades de cierto producto al día (turno). Ahora imagine que la demanda de mercado durante un periodo determinado es de sólo 800 unidades diarias. ¿Qué haría con el 20% de exceso de capacidad? Es evidente que podría despedir a algunos empleados o permitirles descansar. Sin embargo, en términos generales, éste no es el enfoque de los sistemas JIT. Suele decirse, respecto del uso de la capacidad, que *es normal que la maquinaria presente periodos de inactividad, pero no que la gente deje de ser productiva*. En consecuencia, es preciso determinar qué hacer con esa capacidad desaprovechada. Para ello, debemos reconocer que existen varias actividades productivas que no están relacionadas con la producción: desarrollo de programas de calidad, capacitación, mantenimiento del equipo, reducción de configuraciones, etcétera.

¿Se presentan problemas administrativos al utilizar trabajadores para llevar a cabo esas actividades? Ciertamente en muchos casos tales empleados son obreros dedicados a la manufactura, y los parámetros para medir su trabajo (eficiencia y utilización, entre las más comunes) no reflejarán correctamente su participación en labores no productivas. Por otro lado, estos empleados necesitarán supervisión, capacitación y motivación para cumplir con las nuevas actividades. Es evidente que los retos que enfrentará la dirección para administrar y medir el desempeño de dichos trabajadores amerita un análisis riguroso, y quizá sea necesario implementar cambios significativos respecto de métodos de administración distintos al sistema JIT.

PENSAMIENTO NO SISTÉMICO: UN EJEMPLO ANECDÓTICO REAL

A principios de la década de los ochenta, un investigador estadounidense estaba tratando de aprender más acerca de JIT. Para lograrlo, se puso en contacto con las compañías que lo estaban implementado. Cuando acudió a una de ellas, se le pidió que hablara con el gerente de compras, dado que JIT era un “sistema de compras”. Ésta era una interpretación corporativa típica de la época. En lugar de enfocarse en su propia operación, los administradores que no habían comprendido cabalmente en qué consistía el sistema JIT daban por sentado que la reducción de inventario dependía de que los proveedores entregaran pequeñas cantidades de material “justo a tiempo” para su uso. El investigador sostuvo charlas con el gerente de compras de la compañía, y también con el director general de uno de sus principales proveedores durante varios días. He aquí un resumen de las mismas:

INVESTIGADOR: “¿Qué piensa del programa JIT?”

GERENTE DE COMPRAS: “Es grandioso; nuestro inventario de materia prima se ha reducido de manera considerable”.

PROVEEDOR: “Es bueno. Como parte del programa mi cliente está disminuyendo el número de sus proveedores. Los que «sobrevivamos» tendremos oportunidad de hacer más negocios”.

INVESTIGADOR AL PROVEEDOR: “Se supone que JIT reduce el inventario a lo largo de todo el sistema. ¿Su inventario está disminuyendo?”

PROVEEDOR: “¿Está bromeando? Está incrementándose más que nunca. ¡He alquilado dos nuevas bodegas tan sólo para almacenarlo!”

INVESTIGADOR: “Tal vez se deba a que los tratos comerciales con su cliente están aumentando. ¿El inventario se está incrementando en la misma proporción en que aumentan sus transacciones comerciales?”

PROVEEDOR: “No, el inventario está creciendo mucho más que el negocio”.

INVESTIGADOR: “¿Por qué?”

PROVEEDOR: “Porque el cliente está tan confundido con su programación como antes. Muchas veces sabe qué necesita hasta el último minuto, y ahora que no tiene inventario espera que nosotros se lo proporcionemos, y rápido. Nosotros no tenemos tiempo para fabricarlo, así que mejor hacemos acopio de productos terminados. En realidad el único cambio que ha tenido mi cliente es que ahora cambia frecuentemente de opinión respecto de cuáles son sus necesidades, y hace sus pedidos con muy poca anticipación”.

INVESTIGADOR AL GERENTE DE COMPRAS: “¿Está consciente de que su proveedor está manteniendo un inventario más grande que nunca para usted?”

GERENTE DE COMPRAS: “Sí, sé que lo ha tenido que hacer”.

INVESTIGADOR: “¿No le molesta? ¿No es mucho más costoso tener que pagar por el almacenamiento de inventario?”

GERENTE DE COMPRAS: “No me molesta en lo absoluto. Tenemos contratos de largo plazo con los proveedores, así que el precio está garantizado. Por lo tanto, no es preciso que absorbamos el costo de inventario, aunque el proveedor sí debe hacerlo. Supongo que piensa que vale la pena para mantener nuestra relación comercial”.

INVESTIGADOR A PROVEEDOR: “Su cliente dice que usted está absorbiendo todo el costo de mantener el inventario adicional. ¿Es cierto?”

PROVEEDOR: “No, él está absorbiendo el costo”.

INVESTIGADOR: “No entiendo. Su cliente afirma que establecieron un precio fijo y que usted no puede transferirle el costo de inventario”.

PROVEEDOR: “Es correcto, pero otra parte del contrato estipula que podemos transferirle cualquier costo en el que incurra como resultado de un cambio en el diseño del producto. El cliente siempre está cambiando los diseños de los productos que fabrico para él. ¿En realidad cree usted que el único costo que le estoy transfiriendo es el relativo a los cambios de diseño?”

Esta historia verídica ejemplifica con toda claridad la necesidad de que los administradores que utilizan programas de producción esbelta entiendan el sistema general y sus efectos. En este caso, por ejemplo, el costo del inventario adicional —necesario debido a que el programa no se implementó correctamente— se transfiere al cliente final, lo cual difiere del objetivo global del JIT: reducir el desperdicio general en el sistema.

La anécdota también nos ayuda a ilustrar cómo, a medida que los administradores fueron aprendiendo más acerca de la implementación del sistema JIT y se dieron cuenta de sus impactos y métodos inherentes, contribuyeron a mejorarlo y hacerlo evolucionar. Algunas personas creen que el enfoque moderno de compras y logística que suele denominarse “administración de la cadena de suministro” tiene sus raíces en la evolución y refinamiento continuo de los principios de JIT respecto de la actividad de compras. Sin embargo, desde la perspectiva del enfoque de cadena de suministro el gerente de compras de la historia nunca hubiera descuidado el impacto que sus políticas podrían tener sobre los proveedores en lo particular, y sobre la cadena total de suministro de materiales en el sistema general. Trataremos el concepto de cadena de suministro con más detalle en el capítulo 11.

9.2 IMPACTOS EN LA CAPACIDAD

Es conveniente hacer algunos comentarios adicionales respecto de la administración de capacidad en la producción esbelta. Anteriormente se mencionó que los administradores de los sistemas de producción esbelta deben tomar en cuenta la capacidad desde un punto de vista más flexible. Ese análisis se realizó en el contexto de una capacidad de fuerza laboral que excede las necesidades de la producción, pero existen también otros factores que provocan que el responsable de un sistema JIT administre la capacidad de manera diferente a como lo haría en un sistema normal.

En el análisis referente al inventario (capítulo 5), se afirmó que una forma de concebir dicho activo es como una capacidad almacenada. En un sistema de producción esbelta, donde el inventario se reduce, el fabricante tiende a administrar los requerimientos de capacidad en “tiempo real”, ya que no se puede dar el lujo de tener capacidad almacenada en forma de inventario. En casi todos los entornos de producción la demanda del cliente para cualquier periodo tiene cierto grado de incertidumbre, a pesar de todas las mejoras que se han desarrollado para tratar de paliarla (de las que ya hemos hablado). Debido al poco inventario con que cuenta para responder a esa incertidumbre, es importante que disponga de un inventario de respaldo que le permita

fabricar el producto necesario para satisfacer esa demanda (en lugar de surtir el pedido a partir del inventario).

La buena noticia es que, gracias a todos los esfuerzos realizados para reducir la incertidumbre, incrementar la flexibilidad y reducir los tiempos de espera, la capacidad de respaldo no tiene que ser excesiva. Sin embargo, es preciso que se le planifique de manera cuidadosa, reconociéndola como uno de los costos de tener un programa JIT efectivo.

9.3 EL SISTEMA *PULL* (O DE ARRASTRE)

El sistema MRP suele llamarse también sistema *push* (o de empuje), lo que significa que es preciso calcular con antelación el material que requerirá la operación (liberaciones planificadas de pedidos), para luego —en caso de no presentarse cambios importantes en los planes— “empujarlo” hacia el sistema mediante una orden de producción. Lo que “dispara” el plan total es el pronóstico de la necesidad de producto final, determinado en el programa maestro de producción (PMP). Uno de los problemas inherentes al PMP radica en que muchas veces los planes no son efectivos debido a:

- Cambios en los requerimientos del cliente, tanto en cantidad como en tiempo.
- Problemas de entrega del proveedor, en materia de tiempo, de cantidad y de calidad.
- Bases de datos imprecisas que pueden, incluso, llegar a invalidar los planes.
- Problemas de producción, como:
 - Ausentismo laboral
 - Baja productividad y/o ineficiencia
 - Tiempos de inactividad por averías en el equipo
 - Reducción de los niveles de calidad
 - Mala comunicación

Por lo general, estos problemas dan lugar a un ambiente —a pesar de que se cuente con buenos planes— propicio para una ejecución ineficiente y un aumento en los niveles de inventario que (precisamente) se intentaba reducir. En este punto es preciso hacer notar que la lista anterior está conformada, en esencia, por los mismos problemas que representaron el ataque principal ante la implementación de los sistemas JIT.

El sistema *pull* fue desarrollado como alternativa del clásico método MRP, considerado *push*, y no se basa en la planificación anticipada ni en la generación de programas, sino en reaccionar ante el pedido final del cliente, ya sea aumentando o “disminuyendo” los requerimientos de operación para producir sólo lo que se necesita para satisfacer la demanda, y hacerlo únicamente cuando sea necesario. En lo fundamental, este sistema es muy parecido al de punto de reorden que se utiliza en los entornos de inventario independiente, así que muchas personas se preguntan por qué tendrían que confiar en él en este momento, si su funcionamiento no fue del todo eficaz antes de que surgieran los sistemas MRP que, por cierto, se desarrollaron principalmente para paliar las desventajas de los puntos de reorden.

La principal razón por la que los puntos de reorden normalmente no funcionaron bien en los entornos de inventario dependiente radica en que estos entornos no cum-

plen la importante condición de que la demanda sea más o menos constante. Ilustremos esta afirmación mediante un ejemplo sencillo.

Suponga que el producto que nos interesa es un modelo específico de bicicleta. Las bicicletas se fabrican por lotes, un método de producción común en los entornos de ensamble bajo pedido. En el caso de nuestro ejemplo, el tamaño del lote es de 200 bicicletas.

Consideremos ahora un artículo de inventario dependiente que se encuentra un nivel por debajo de la bicicleta en la lista de materiales: el asiento. Suponga que el tamaño del lote de esta pieza es de 300 unidades, que su tiempo de espera es de dos semanas y un punto de reorden de 80 (recuerde que nuestro propósito es analizar cómo responden los puntos de reorden a la demanda dependiente).

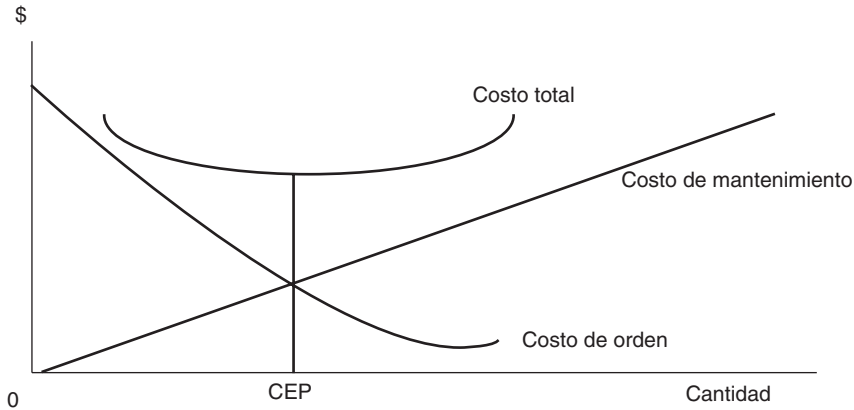
Ejemplo 1. En este caso suponga que tenemos un inventario de 290 asientos. La dirección de la empresa acaba de ordenar la fabricación de un nuevo lote de bicicletas, así que utilizaremos 200 unidades de dicho inventario dentro de muy poco tiempo. En consecuencia, sólo nos quedan 90 asientos (10 unidades por arriba del punto de reorden). Sin embargo, no solicitaremos reabastecimiento de este artículo, toda vez que el punto de reorden aún no se alcanza. Los 90 asientos permanecerán en inventario hasta que se genere el siguiente pedido de bicicletas, lo cual podría ocurrir tras un largo periodo. Cuando llegue el pedido y finalmente se requiera fabricar otras 200 bicicletas, sólo podremos producir 90, puesto que nuestro inventario de asientos sólo consiste de ese número de unidades. En consecuencia, tendremos que ordenar inmediatamente otro lote de 300 asientos, pero una vez hecho el pedido transcurrirán dos semanas antes de poder contar con ellos.

Ejemplo 2. Suponga ahora que tenemos menos inventario, con un número de asientos suficiente como para alcanzar el punto de reorden justo después de fabricar el lote de 200 bicicletas. Imagine, por ejemplo, que tenemos 270 asientos. El pedido de 200 bicicletas ingresa, utilizamos 200 asientos y alcanzamos el punto de reorden para el inventario de esta pieza. Esto provocará que solicitemos el reabastecimiento de inmediato. Dos semanas después recibimos 300 asientos que se suman a los 70 remanentes que tenemos en el almacén. Ahora contamos con 370 asientos que permanecerán en inventario (ocasionando un costo significativo) hasta la siguiente vez que se solicite de nuevo el modelo de bicicleta en el que se utilizan, lo cual puede tardar mucho tiempo.

Como ilustra el ejemplo anterior, el problema de ajustar el tamaño de lote en los entornos de demanda dependiente ocasiona, muchas veces, que enfrentemos crisis de desabasto o tengamos que solicitar reabastecimiento de inventario antes de lo que en realidad se requiere. Sin embargo, como pudimos ver, la responsabilidad de este problema recae en los grandes tamaños de lote y los largos tiempos de espera, “blancos” principales de la reducción de desperdicio que se busca mediante la producción esbelta.

A continuación analizaremos el modelo estándar de los sistemas JIT, conocido como cantidad económica de pedido (CEP), uno de cuyos propósitos es ayudarnos a determinar el tamaño de lote más económico. En este caso, por supuesto, tendremos que enfrentarnos con la disyuntiva entre costo de mantenimiento de inventario y costo de pedido, tal como se describe en los cursos introductorios sobre administración de operaciones (vea la figura 9.3).

Un supuesto básico de este modelo es que los dos costos principales involucrados en su implementación son conocidos y relativamente fijos. Si bien esto es correcto —por lo menos en principio— respecto de los costos de mantenimiento, no es cierto por lo que toca a los costos de pedido. Si la responsabilidad del costo de pedido recae en la configuración del equipo, uno de los objetivos más importantes del sistema JIT será reducirlo; por otro lado, si se trata de un artículo comprado, nuestra principal tarea se-

FIGURA 9.3 Modelo básico de la cantidad económica de pedido (CEP)

rá lograr que los proveedores reduzcan el costo y el tiempo relacionados con la orden de compra y con la entrega. De lograr estas metas, la curva de costo de pedido será descendente y hacia la izquierda, como se muestra en la *figura 9.4*.

Al realizar estas acciones se genera una nueva curva de costo total que se basa en la curva de costo recién obtenida, lo cual produce una CEP significativamente más pequeña, como se ilustra en la *figura 9.5*.

La modificación del costo de pedido y del costo total implica que las cantidades económicas de pedido y el punto de reorden sean muy pequeños, lo que significa que se ordenará a menudo, pero en lotes muy pequeños. Volviendo a nuestro ejemplo de las bicicletas podemos afirmar que, como las acciones que acabamos de describir también se llevan a cabo en el nivel del producto final, la manufactura de lotes pequeños de bicicletas requerirá cantidades reducidas de asientos, obligando a un reabastecimiento en periodos más regulares.

Revisión del ejemplo de bicicletas

Si volvemos a analizar el escenario de las bicicletas y los asientos, seguramente nos percatamos del impacto que tienen los cambios realizados en los costos de pedido. El tamaño de lote es muy pequeño, tanto en el caso de las bicicletas como en el de los

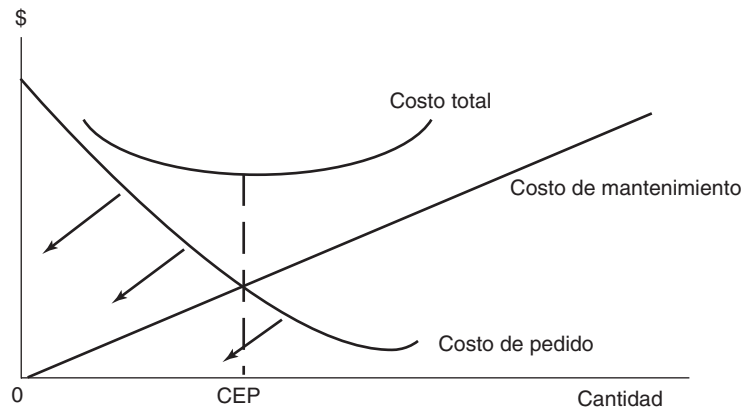
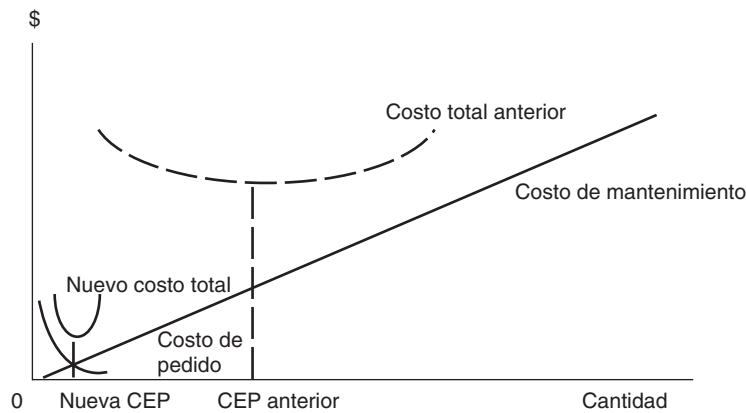
FIGURA 9.4 Reducción del costo de pedido en la CEP

FIGURA 9.5 Nueva curva de costo, basada en la reducción del costo de pedido

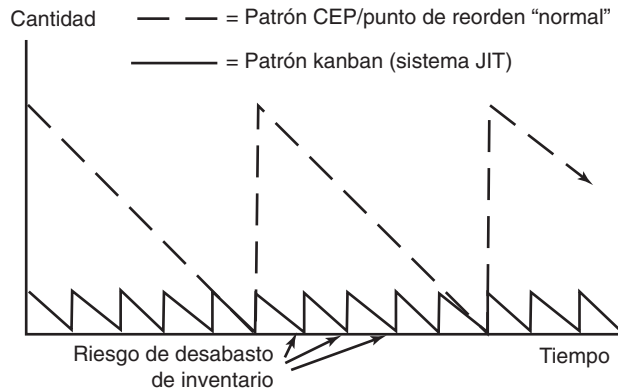
asientos. El tiempo de espera para reabastecer los asientos —otra área de mejora desde la perspectiva de la producción esbelta—, se ha reducido también. Suponga que el tamaño de lote de las bicicletas es ahora de 7 unidades, mientras que el de los asientos es de 10. El punto de reorden para los asientos será cero, ya que la fabricación de un lote de bicicletas (7) no provocará que se agoten los asientos. Aunque parecerá que no tenemos suficientes unidades de ellos para hacer otro lote de bicicletas, gracias a contar con un tamaño de lote de asientos tan pequeño podremos permitirnos mantener a mano dos, tres o hasta más lotes (el número dependerá del nuevo tiempo de espera para reabastecimiento). Por lo tanto, seremos capaces de construir el siguiente lote de bicicletas con el segundo lote de asientos, mientras el primero se reabastece.

El inconveniente del cambio

Aun cuando no hay duda de que el inventario promedio se reduce en los casos donde el tamaño de lote es pequeño, lograr este tipo de escenarios implica un costo que va más allá de aquel en que se incurre una sola vez al disminuir los costos de pedido y de tiempo de espera. Como la demanda general del cliente no ha disminuido, necesitaremos ordenar la fabricación de lotes con mucha mayor frecuencia, toda vez que el tamaño de cada uno de ellos ahora es más pequeño. Si la demanda excede las expectativas durante el tiempo necesario para el reabastecimiento, siempre que el inventario de un lote determinado se acerque al punto de reorden estaremos arriesgándonos a un desabasto. Esta situación se ilustra en la figura 9.6.

9.4 EL SISTEMA KANBAN

En virtud de que la meta constante de los sistemas JIT consiste en reducir los tiempos de espera, es preciso contar con un mecanismo que nos indique cuándo se alcanza el punto de reorden. En lugar de tener que depender de un método formal y estructurado al que le podría tomar más tiempo reaccionar, los desarrolladores del concepto JIT utilizaron un sencillo sistema de tarjetas llamado *kanban*, un término japonés que significa —en una traducción más o menos libre— “tarjeta” o “boleto”.

FIGURA 9.6 Patrones de reorden

El sistema funciona de manera muy simple. La señal *kanban* (que muchas veces es tan sólo un pedazo de cartón) enumera las características clave del material al cual está anexada. Casi siempre estos datos incluyen:

- Número e identificación del componente
- Ubicación dentro del almacén
- Tamaño del contenedor (en caso de que el material está almacenado en un contenedor)
- Centro de trabajo (o proveedor) de origen

Cómo funciona

El siguiente conjunto de diagramas ilustra el uso de lo que suele denominarse “sistema *kanban* de dos tarjetas”; en él se utiliza una tarjeta de producción (en donde se autoriza la producción de un componente específico indicado mediante un número), y una tarjeta de retiro (con la autorización para el movimiento del material identificado en ella).

Al comienzo del proceso no hay movimiento alguno, puesto que todas las tarjetas que autorizan las distintas actividades todavía no han sido asignadas y se encuentran al lado de cada contenedor (por ejemplo, adheridas a un panel); únicamente cuando una tarjeta ha sido asignada se permite ejecutar una actividad en el material correspondiente. En consecuencia, resulta evidente que el número de tarjetas que haya limitará el inventario autorizado en cada ubicación.

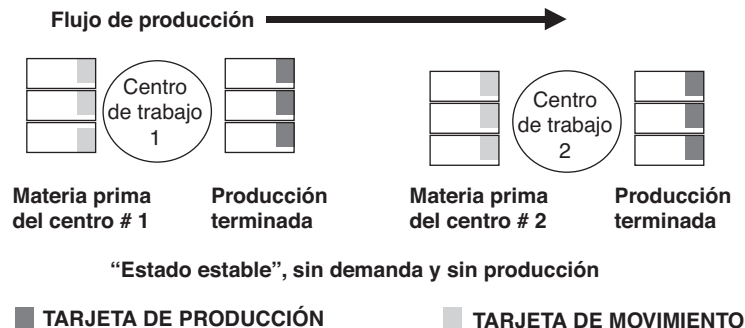
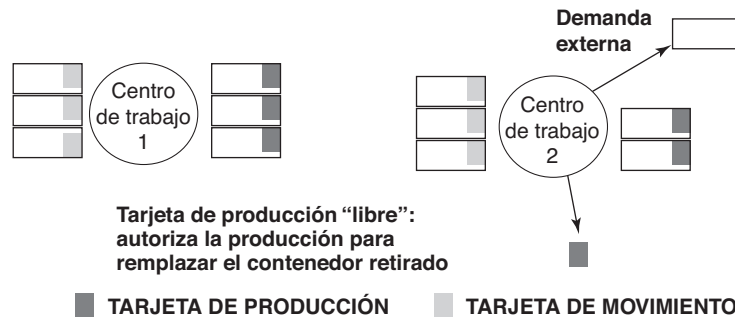
FIGURA 9.7 Situación básica de “actividad previa”

FIGURA 9.8 Demanda del centro de trabajo # 2

Cuando llegue el momento de que un proceso inferior requiera partes producidas por el centro de trabajo 2 (almacenadas en su inventario de "producción terminada"), el personal tomará un contenedor de material y dejarán la tarjeta de producción en el centro de trabajo 2, al cual corresponde la actividad. Este procedimiento ilustra dos reglas más del sistema: cualquier movimiento de material se realiza en contenedores llenos (recuerde que el tamaño de lote del contenedor debe ser muy pequeño); además, las tarjetas *kanban* están vinculadas con un centro de trabajo, no con el material en sí mismo. Esta primera actividad se ilustra en la figura 9.8.

La asignación de la tarjeta de producción —y el espacio vacío que ha dejado en el panel— es la señal para que el centro de trabajo 2 inicie la producción para reemplazar el contenedor que fue tomado. Por supuesto, para realizar ese trabajo se necesita materia prima, la cual está almacenada en contenedores frente al centro de trabajo; a su lado se encuentran las tarjetas de "movimiento" (una vez más, probablemente adheridas a un panel). Cuando la materia prima se utiliza para reemplazar el material terminado del centro de trabajo 2, el contenedor de materia prima se vacía, señal de que tarjeta de movimiento correspondiente ha sido asignada (vea la figura 9.9).

La asignación de la tarjeta de movimiento autoriza el desplazamiento de material (de manera específica aquel que reemplazará al que ya fue utilizado). El material se encuentra en la sección "bienes terminados" del centro de trabajo 1; el operador (u operario de material) lo desplazará ahora, pero para hacerlo pegará la tarjeta de movimiento sobre el contenedor —como prueba de que está autorizado para ello—, no sin antes desprender la tarjeta de producción que autorizó su participación en el proceso

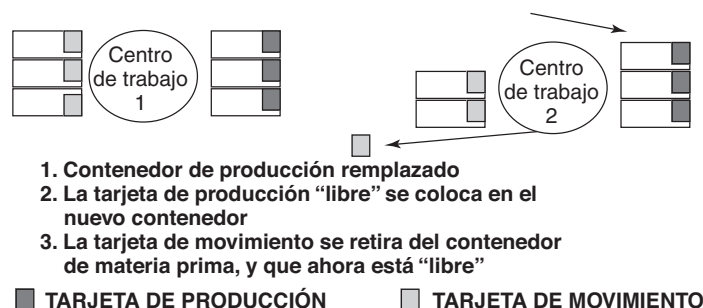
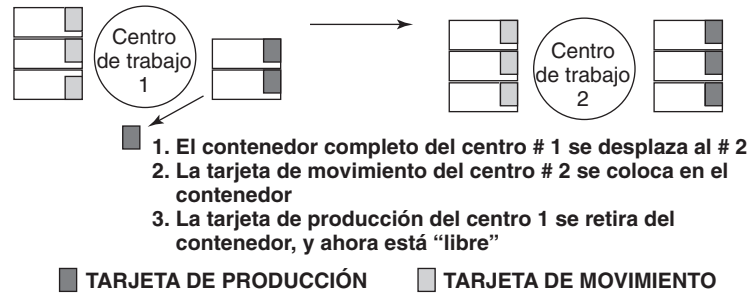
FIGURA 9.9 Reemplazo del material de producción del centro de trabajo # 2

FIGURA 9.10 Movimiento del material del centro de trabajo # 1

de manufactura. Ésta es otra importante característica del sistema *kanban*: los contenedores de material sólo pueden tener adherida *una* tarjeta en un momento dado; por lo tanto, antes de colocarle la tarjeta de movimiento será preciso quitarle la tarjeta de producción (vea la figura 9.10).

Ahora una de las tarjetas de producción del centro de trabajo 1 ha sido asignada, lo que le permitirá producir y usar una parte de la materia prima del centro de trabajo 1; además, se ha liberado una tarjeta de movimiento para ese material, como se muestra la figura 9.11.

Este proceso continúa ascendiendo hasta llegar a los proveedores, quienes también reciben las tarjetas *kanban* de movimiento como señal para su siguiente envío a la fábrica.

Observe que en este sistema no se *emiten programas de producción*. La producción y el movimiento del material se autorizan sólo como una reacción a la utilización de material para manufactura en niveles inferiores. De hecho, la última actividad de producción del producto final podría ser el cliente recibiendo el material, pero en algunas fábricas se presenta un programa final de ensamblado para los pedidos. En dichas fábricas tal vez ése sea el único programa formal utilizado.

Asimismo, tome en cuenta que las tarjetas circulan únicamente dentro de los centros de trabajo y entre ellos, como se muestra en la figura 9.12.

Reglas de *kanban*

A pesar de que en los sistemas *kanban* no existen programas formales, sí incluyen un muy importante conjunto de reglas. Las reglas recomendadas son las siguientes:

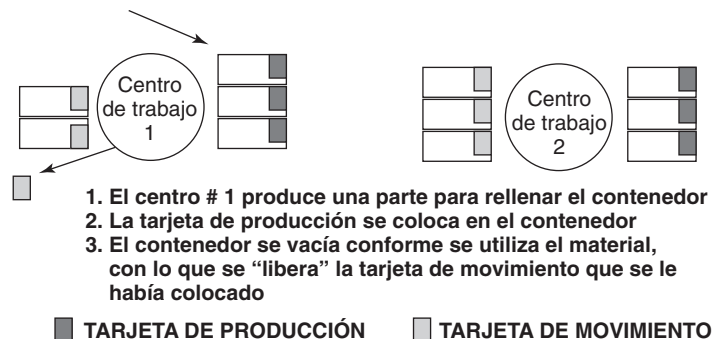
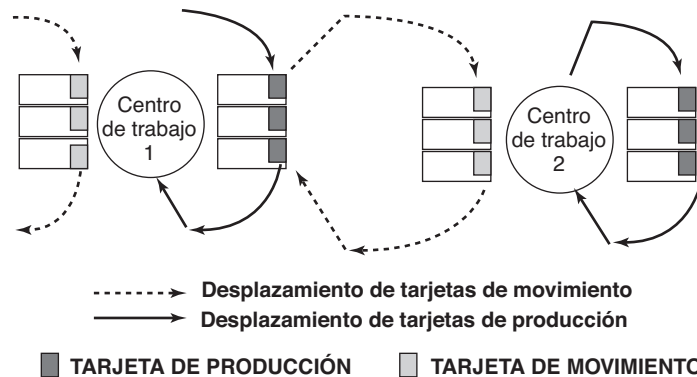
FIGURA 9.11 Producción para el centro de trabajo # 1

FIGURA 9.12 Resumen del desplazamiento de las tarjetas

- Todo contenedor de partes debe tener una, y sólo una, tarjeta *kanban*.
- No habrá contenedores parcialmente llenos almacenados. Todo contenedor estará completamente lleno, completamente vacío, o en proceso de llenado o vaciado. Esta regla facilita la contabilidad del inventario. No es preciso contar las partes; sólo se contabilizan los contenedores y se multiplica su número por la cantidad de unidades que caben en cada contenedor.
- No habrá producción ni movimiento sin autorización, la cual está implícita en la colocación o retiro de las tarjetas *kanban*.
- Las tarjetas *kanban* “pertenecen” al centro de trabajo.

Número de tarjetas *kanban*

Existe un método relativamente sencillo para determinar el número de tarjetas que se deben utilizar en el sistema. La fórmula es:

$$y = \frac{DT(1 + x)}{C}$$

Donde:

- y = número de tarjetas *kanban*
- D = demanda por unidad de tiempo
- T = tiempo de espera para reemplazar el contenedor
- x = factor de seguridad (expresado como decimal; por ejemplo, 0.20 representa un factor de seguridad de 20%)
- C = tamaño del contenedor (cantidad de piezas que contiene)

Si bien esta fórmula es útil, en la práctica mucha gente prefiere comenzar el proceso con suficiente material en el sistema (tanto en cuestión de contenedores como de tarjetas *kanban*), ya que esto les hace sentirse más cómodos. Esta “comodidad” se basa en que el sistema tiene suficiente material de respaldo contra casi todas las incertidumbres que suelen presentarse. Aunque muchas veces ésta es una buena manera de comenzar mientras la gente se acostumbra al sistema y se siente cómoda con su funcionamiento, la clave es *nunca permitir que el sentimiento de comodidad permanezca*

durante mucho tiempo. Los administradores, sobre todo, necesitan comenzar con la reducción sistemática del inventario para exponer los problemas y solucionarlos tan pronto se evidencien (vea la sección siguiente, sobre el uso de *kanban* para la mejora de procesos).

Alternativas a las tarjetas *kanban*

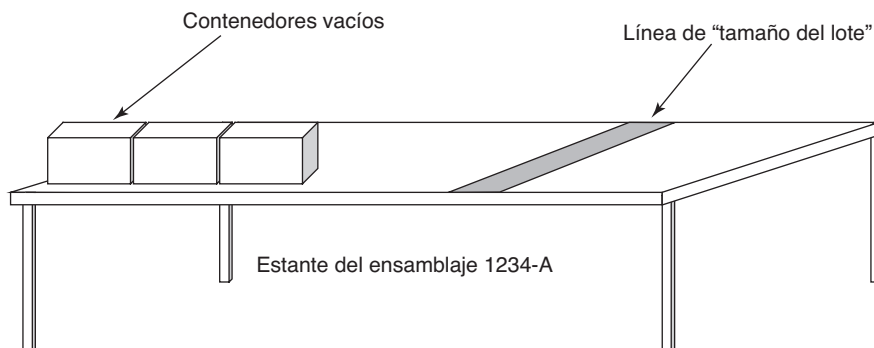
A partir del desarrollo e implementación exitosa de los sistemas *kanban*, muchas fábricas han creado sus propias alternativas; por ejemplo:

- Sistemas de tarjetas únicas. En ellos se utilizan únicamente tarjetas de producción, y el contenedor vacío sirve como señal de desplazamiento.
- Códigos de color en los contenedores. Cada color designa un artículo.
- Espacios de almacenamiento específicos. Funcionan limitando la cantidad que será almacenada, e indicando de manera visible cuando se necesita más.
- Sistemas de cómputo. Muchas veces incluyen códigos de barras en el contenedor, que sirven como generadores de señal.

EJEMPLO DE UN SISTEMA DE “SEÑAL” ÚNICA:

La compañía “A” tiene una célula de fabricación que produce 10 diferentes ensamblajes. La empresa ha desarrollado un sistema visual muy sencillo —tipo *kanban*— que le permite satisfacer la demanda con facilidad, así como manejar el hecho de que su programa de reducción de configuraciones no le ha permitido aún producir económicamente un contenedor a la vez, y mucho menos un ensamblaje. Lo que esta planta hizo fue colocar 10 estantes junto a la célula. Cada estante representa un número de parte para uno de los 10 ensamblajes que produce. Las partes se producen en contenedores dedicados, cada uno de los cuales contiene un número determinado de ensamblajes. A medida que los contenedores se vacían, son colocados en el estante que corresponde al número de parte para el que están destinados. Estos contenedores vacíos se colocarán en fila hasta que alcancen una línea pintada en el estante. Cuando la fila de contenedores llegue a esa línea, significará que el tamaño económico del lote para esa parte ha sido alcanzado. Cuando los operarios de la célula terminan con una corrida de producción determinada, sólo tienen que mirar los estantes para determinar cuál ensamblaje ha alcanzado un tamaño apropiado de lote y puede representar la siguiente configuración y corrida de producción.

FIGURA 9.13 Punto visual de reorden



En este ejemplo se hace evidente que el método utilizado no es importante. Lo importante es que exista una señal clara para todo el mundo, que dispare la generación de una actividad determinada.

Establecimiento de prioridades con *kanban*

¿Qué sucede si un grupo de trabajadores en un centro de trabajo informa, al comienzo de su turno, que sólo encuentra etiquetas *kanban* de producción para múltiples productos? ¿Cómo podrán determinar la prioridad de producción entre las etiquetas (recuerde que los sistemas tipo *kanban* son, por sí mismos, sistemas de prioridad del tipo “el primero en llegar es el primero en recibir atención”)? Por lo general no hay manera de determinar cuál etiqueta fue retirada primero, así que ¿de qué otra forma pueden saber qué proceso llevar a cabo? Sin lugar a dudas, la respuesta es que necesitan información adicional. En los sistemas *kanban* originales, la información adicional era proporcionada por un mecanismo denominado **tablero Andon**. La información suministrada incluía la tasa de producción del producto en el área final de ensamblaje, así como el estado de producción de todos los centros de trabajo (el equipo fuera de funcionamiento por mantenimiento o configuración, por ejemplo).

Si suponemos que los trabajadores sabían (o podían averiguar) qué ensamblajes finales estarían empleando cada una de las partes representadas por las etiquetas *kanban* no utilizadas, podrían establecer las prioridades sobre esa base. De manera específica, tal vez elegirían producir primero aquellas partes que se utilizarán más rápido en las operaciones inferiores. Además, es posible que también quisieran observar el estado del centro de trabajo que recibiría lo que fuera que hubieran producido (el centro de trabajo de nivel inferior más inmediato). Aun si una parte se utilizó muy rápidamente en el área de ensamblaje final, por ejemplo, no sería muy útil producir primero esa parte, ya que no se le emplearía en el siguiente centro de trabajo de nivel inferior hasta que se solucionara el problema que ha detenido la producción en ese centro de trabajo.

Como en el caso de las propias etiquetas *kanban*, existen muchos métodos que permitirán que la información de ese tipo se transmita en un centro de trabajo con el propósito de ayudar a establecer el orden de prioridades de producción. En muchas compañías de la actualidad, por ejemplo, la información puede estar disponible en las computadoras de las estaciones de trabajo.

9.5 USO DEL SISTEMA KANBAN PARA LA MEJORA DE PROCESOS

Debido a que el sistema *kanban* (cuando se le aplica correctamente) permite un inventario controlado de contenedores relativamente pequeños, existe una gran posibilidad de usarlo para promover la mejora continua de procesos. De manera específica, siempre que el proceso trabaje sin dificultades durante un periodo amplio, existe la posibilidad de que se presente *demasiado inventario en el sistema*. A menudo se utiliza la analogía de un río. Si el nivel del agua es lo suficientemente alto, cubrirá todas las rocas del río y parecerá que corre con fluidez sin ninguna obstrucción. En la analogía, el agua es el inventario y las rocas son los problemas del proceso: falta de calidad, habilidades de los trabajadores, descomposturas del equipo, etcétera.

El método consiste en eliminar gradualmente el agua, hasta que la primera “roca” quede expuesta y, por lo tanto, sea posible determinar cuál es el obstáculo más importante y establecer la prioridad para trabajar en él. Por supuesto, sería peligroso eliminar demasiada “agua” de una sola vez, debido a que los obstáculos pueden detener el flujo por completo. Aquí es donde el tamaño de lote pequeño que utilizan los sistemas *kanban* constituye una ventaja. Al retirar una tarjeta *kanban* se eliminará un contenedor y, como los contenedores son pequeños, el impacto de la eliminación también será reducido. Lo importante de esto es que tarde o temprano surgirán algunos problemas en el proceso, mismos que señalarán el siguiente blanco de los esfuerzos de mejora de procesos de JIT. Por supuesto, una vez que el problema de producción se evidencia, la eliminación de inventario deberá detenerse o el problema sólo empeorará. De hecho, puede ser provechoso permitir cierta acumulación de inventario, de manera que el flujo de producción pueda ser fluido mientras se resuelve el problema expuesto. Es evidente que una vez que el problema se resuelva, el método gradual de reducción de inventario deberá continuar en acción.

Éste *no* es un método de implementación particularmente sencillo. Lo que se denota es que todo el tiempo que un proceso está trabajando de manera fluida puede haber demasiado inventario, exigiendo la eliminación de inventario hasta que “duela”. Desde luego, pocas personas llegan a esta decisión de manera natural, y el sistema de evaluación de desempeño necesitará alterarse para hacer hincapié en la importancia de este tipo de actividades.

9.6 PRODUCCIÓN ESBELTA Y PROGRAMACIÓN MAESTRA

Aunque en términos generales no existen programas de piso en los sistemas de producción esbelta “puros” (que son totalmente reactivos), los planes de ventas y operaciones se siguen realizando, así como los programas maestros y los programas de ensamblaje final. Es imposible eliminar todas las incertidumbres del mercado, pero los inventarios reducidos que se utilizan en los sistemas de producción esbelta, el enfoque en la cantidad apropiada de los recursos correctos para fabricar lo que se demanda se vuelve extremadamente importante. Estas herramientas constituyen la fuente de esta planificación de recursos.

Además, el programa maestro puede utilizarse para suavizar el impacto de la demanda en el proceso. Por ejemplo, piense en un simple programa mensual para una operación con cinco modelos y un requerimiento total de producción de 1500 unidades:

MODELO CANTIDAD

A	500
B	400
C	300
D	200
E	100

Siguiendo sus procesos tradicionales, la compañía pudo fabricar de un solo golpe las 500 unidades del modelo A para ahorrar tiempo de configuración y hacer su proceso más eficiente. Esto podría tomar más o menos la tercera parte de un mes. Lo único

que se podría hacer para vender los demás modelos es mantener un inventario y tomar las unidades de ahí. Esto significa también que la empresa fabrica todas las unidades del modelo A para satisfacer la demanda mensual en la tercera parte de un mes, lo que implica que tendrá un inventario de A para el resto del mes. Esto es un ejemplo clásico de inventario cíclico, descrito en el capítulo 5.

La regla básica que la producción esbelta trata de aplicar aquí es: siempre que se produzca a una tasa diferente de la que se vende, es necesario utilizar un inventario. La producción esbelta, por otro lado, trata de producir a la *misma tasa* que se vende el producto. Esto significa hacer una pequeña cantidad de cada modelo cada día, en la misma proporción en que se vende. Eso puede realizarse de una forma económica en un sistema de producción esbelta, gracias a las configuraciones rápidas y económicas, y a los menores tiempos de espera.

El ensamble final para los modelos de nuestro ejemplo en un programa de ensamblaje JIT sería como el siguiente: A-B-C-D-A-B-C-A-B-E-A-B-C-D-A. Esta secuencia se repetirá en pequeños lotes a lo largo de cada día de producción. Observe que en la secuencia existen 5 unidades de A, 4 de B, 3 de C, 2 de D y 1 de E, es decir, la misma proporción de la demanda mensual.

En este sentido es preciso hacer hincapié en una observación general. A pesar de que el *kanban* (un sistema *pull*) se utiliza, la “interfaz de usuario” de un sistema de control y planificación deberá seguirse usando de manera efectiva. La capacidad, en especial, debe ser cuidadosamente planificada (recuerde que la capacidad “almacenada” en forma de inventario suele ser muy pequeña), lo que incluye el tiempo, cantidad y tipo de capacidad necesaria para soportar la producción. Por lo general, esto requerirá un buen pronóstico (a pesar de que con tiempos de espera cortos el horizonte del pronóstico puede ser reducido), el desarrollo de un buen plan de ventas y operaciones y el desarrollo de un plan maestro. Por supuesto, *kanban* se encargará del programa detallado.

9.7 ¿SON COMPATIBLES LOS SISTEMAS KANBAN Y MRP?

Cuando los sistemas *kanban* y JIT fueron comprendidos y se implementaron por primera vez fuera de las compañías japonesas en que se habían originado, mucha gente pensó que *kanban* era tan diferente de MRP que la elección de uno claramente excluía al otro. Por supuesto, *kanban* se basa en la reacción y, por lo tanto, “jala” el material con base en la utilización en los procesos de nivel superior. Por otro lado, MRP se anticipa y planea la utilización, es decir, “empuja” el material al proceso en previsión de una necesidad de corto plazo.

A medida que los administradores sintieron confianza en los sistemas, sin embargo, se dieron cuenta de que ambos podían utilizarse en conjuntos para obtener una operación global efectiva. Por ejemplo, suponga que implementamos el sistema MRP para asegurarnos de que:

- El material proveniente de proveedores con largos tiempos de espera se pueda ordenar de manera que el abasto quede garantizado.
- Los cambios de diseño se pueden planificar de manera que todos puedan saber cuándo consumir el viejo diseño, cuándo tener el nuevo diseño listo y cuándo desarrollar planes eficaces para introducirlo.

- Como en los sistemas JIT la capacidad debe ser cuidadosamente planificada debido a la falta de “capacidad almacenada” o inventario (vea el análisis sobre la capacidad al principio de este capítulo), el sistema MRP puede proporcionar un método muy efectivo para lograrlo.
- El MRP se puede utilizar para proyectar “picos” de demanda que excedan la cantidad que un sistema *kanban* operado normalmente puede manejar. Tales picos pueden ser resultado, por ejemplo, de una promoción de marketing o por la falla de un competidor. Junto con un pronóstico efectivo, planificación de ventas y operaciones, y el uso del sistema MRP, estos picos se pueden predecir tanto en tiempo como en cantidad. Esto permitirá que la empresa ingrese material extra en el sistema en el momento correcto para cubrir tales picos.

Aun cuando la operación puede utilizar el sistema MRP para llevar a cabo los tipos de planes descritos aquí, no hay razón para que la operación tenga que utilizar el programa detallado del sistema MRP para ejecutar el plan. El sistema *kanban* puede seguir siendo efectivamente utilizado para la ejecución ahora que los responsables de la planificación saben que la capacidad y el material apropiados estarán en el momento correcto, tal como lo proyectó el sistema MRP.

Los métodos de implementación y ejecución se analizan con más detalle en el capítulo 12.

TÉRMINOS CLAVE

Andon
Kanban

Maapeo de flujo de valor

Producción esbelta

RESUMEN

Este capítulo analiza muchos de los principales métodos e impactos sobre la planificación y el control para la implementación de una producción esbelta o JIT. Se analizaron dos puntos principales. Primero, que la reducción del inventario tiene un impacto claro y positivo tanto sobre los costos como sobre la entrega. En segundo lugar, los cambios organizacionales ocasionados

por el desplazamiento a tales sistemas pueden ser profundos y se extenderán prácticamente a todas las funciones de la organización. Muchos de los temas de planificación y control se alejan de la planificación formal, y se vuelven de naturaleza más reactiva. Esto también tiene consecuencias al implementar y controlar un sistema de ese tipo.

REFERENCIAS

Chase, R. B. y N. J. Aquilano, *Production and Operations Management*. Nueva York: Irwin, 1995.

Fogarty, D. W., J. H. Blackstone Jr. y T. R. Hoffmann. *Production and Inventory Management*. Cincinnati, Ohio: South Western, 1991.

Schönsleben, P., *Integral Logistics Management*. Boca Ratón, Florida: St. Lucie Press, 2004.

Vollmann, T. E., W. L. Berry y D. C. Whyback, *Manufacturing Planning and Control Systems*. Nueva York: Irwin McGraw-Hill, 1997.

PREGUNTAS DE ANÁLISIS

1. Analice la manera en que el inventario oculta posibles problemas en el sistema de producción.
2. Analice las consecuencias que conlleva la siguiente afirmación: “Sin importar el motivo de su existencia, el inventario que haya entre las operaciones actuará para desacoplar dichas operaciones”.
3. Analice la forma en que un sistema de producción esbelta puede seguir operando de manera efectiva bajo condiciones inciertas de mercado. ¿O no puede hacerlo?
4. ¿La transformación hacia un sistema de producción esbelta altera el enfoque de planificación de ventas y operaciones? ¿Por qué?
5. Suponga que se acaba de decidir avanzar de una operación a una producción esbelta. La empresa revisó todas las “listas” de cambios sugeridos para adelgazarse, pero tiene algunas preguntas:
 - “¿Necesitamos implementar todas las características del sistema esbelto o podemos seleccionar algunas de ellas?”
 - “Una vez que tengamos la lista de cosas por hacer, ¿cómo establecemos el orden de prioridad?”
 - ¿Como respondería a estas preguntas? Justifique sus conclusiones.
6. ¿Es posible desarrollar un sistema de producción esbelta sin utilizar una producción *pull*? ¿Por qué?
7. Un centro de trabajo utiliza 20 unidades de cierto artículo por hora. Los contenedores estándar que utilizan contienen 50 de estos artículos, y les toma un tiempo de espera de 40 minutos para reabastecer un contenedor. Se utiliza un factor de seguridad de 10 por ciento. ¿Cuántas tarjetas *kanban* se deben tener para los artículos?
8. Comente la siguiente afirmación y justifique sus puntos de vista: “Debemos comenzar a implementar la producción esbelta obligando a los proveedores a entregar cantidades más pequeñas de manera más rápida, y ya no debemos inspeccionar la parte cuando llegue”.
9. ¿Cómo sugeriría que se realizara la planificación de la capacidad con un sistema de producción esbelta? De hecho, ¿es importante realizar una planificación de la capacidad?

CAPÍTULO 10

Fundamentos de la teoría de restricciones

Esquema del capítulo

- 10.1 Principios fundamentales de la teoría de restricciones
- 10.2 Comprensión y administración de restricciones
- 10.3 Mejora de los procesos mediante los principios de la teoría de restricciones
- 10.4 Impactos sobre la estrategia de operaciones
- 10.5 Tipos generales de factores restrictivos
- 10.6 Logística y la teoría de restricciones
- 10.7 Programación y la teoría de restricciones
- 10.8 Múltiples amortiguadores de tiempo
- 10.9 Puntos de control y lotes
- 10.10 Principales pasos en el uso del método tambor-amortiguador-cuerda

Introducción– Hace poco surgió un método único e interesante para visualizar y administrar operaciones. Desarrollado originalmente por Eliyahu M. Goldratt en su libro *The Goal*, se denominó **teoría de restricciones** (o administración de restricciones), este método ha permitido que muchas personas reconsideren con éxito las técnicas que utilizan para mejorar y administrar sus procesos de producción.

Las opiniones acerca de la teoría de restricciones (TDR) difieren. Algunas personas piensan que es un buen método para implementar o mejorar la capacidad de los procesos mientras se utilizan otros sistemas de control, como JIT o MRP; otras creen que la TDR es un método aislado, completamente excluyente e independiente de las demás técnicas. En este contexto, se sugiere que la TDR puede proporcionar métodos para diseñar, administrar, programar y mejorar casi cualquier sistema de producción. Incluso existe otro grupo de personas que la consideran únicamente un método de mejora de procesos o un método de sistema integral, según la dimensión que tome la implementación. En opinión de este tercer grupo, aunque este método quizá no es el más apropiado para ciertos entornos de negocio, puede resultar muy eficaz para otros. En el capítulo 12 se abordará de manera más integral el tema de los vínculos entre el entorno de negocios y el diseño del sistema de control y planificación apropiado. Por

lo pronto, nos ocuparemos de explicar sólo los conceptos fundamentales de la teoría de restricciones.

10.1 PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LA TEORÍA DE RESTRICCIONES

El concepto fundamental en que descansa la teoría de restricciones (en cuanto a su impacto sobre la planificación y el control) es que toda planificación hacia la generación de un producto o servicio consiste, básicamente, de una serie de procesos vinculados. Cada proceso tiene una capacidad específica para generar una producción determinada por la operación, y en casi todos los casos existe un proceso que limita o restringe el rendimiento de la operación completa. Considere el diagrama de la figura 10.1.

Muchas veces se utiliza la analogía —ilustrada por el diagrama— de que la producción que atraviesa el proceso operativo es igual a un líquido que fluye a través de una tubería. Cada proceso tiene una capacidad definida, representada en la analogía por el diámetro de la tubería asociada. En el diagrama, el proceso “E” tiene la mayor capacidad para procesar la producción, mientras que la operación “C” tiene la capacidad más limitada. Como la operación “C” es la limitante del proceso completo, determinará la cantidad de producción del mismo, sin importar la capacidad de los procesos restantes. Mejorar cualquiera de las demás operaciones (por ejemplo, aumentar el tamaño de la tubería en esa sección) no incrementará la cantidad total de líquido que sale del sistema de tuberías.

Una **restricción** es, en términos generales, cualquier factor que limita a la compañía para alcanzar su objetivo. En el caso de casi todas las empresas, ese objetivo es hacer dinero, lo que se manifiesta en un incremento del rendimiento, lo cual se logra gracias a las ventas, no sólo a la producción.

Como ejemplo numérico, considere la operación que genera un producto A en la figura 10.2. En este sencillo ejemplo resulta evidente que la operación total está limitada por el proceso 3, cuya capacidad es de 4 unidades por hora. Sin importar qué tan eficientes sean los demás procesos o qué tantas mejoras se hayan realizado en los procesos 1, 2 y 4, nunca podrá excederse la producción general operacional de las 4 unidades por hora, a menos que se resuelvan las restricciones del proceso 3. El incremento de utilización y eficiencia en los procesos 1 y 2, de hecho, sólo aumentarán el inventario, no las ventas. Esta cuestión es uno de los puntos clave de la TDR: la medición

FIGURA 10.1 Analogía de la tubería con proceso vinculado

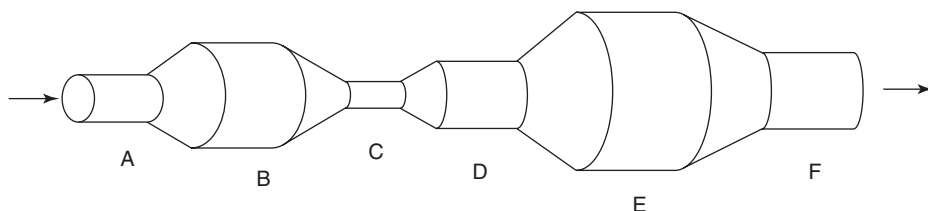
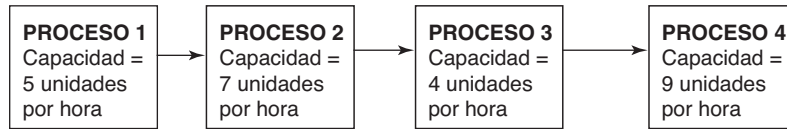


FIGURA 10.2 Un ejemplo sencillo de proceso

principal de cualquier operación debe centrarse en el rendimiento total de la organización o, en otras palabras, en la contribución a las ventas. Cualquier otra medida, ya sea de la eficiencia de procesos, la utilización u otros factores operacionales, tiene poca relevancia para la eficacia general del sistema integral.

Las implicaciones de este método van mucho más allá de cómo se concibe el proceso. Hasta los sistemas contables se ven afectados. Por ejemplo, muchos sistemas contables asignan los costos generales a los productos con base en las horas de mano de obra directa que se utilizaron en su producción. Tales sistemas pueden dar la impresión de que producir más unidades ayudará a “pagar” los gastos generales. Por desgracia, si las unidades adicionales fabricadas no están vinculadas con las ventas reales, el resultado será solamente más inventario costoso y un impacto negativo general sobre el negocio. Los principios de la TDR señalan que sólo las ventas deben contar como rendimiento operacional. Otra implicación contable es el propio costo de mano de obra. Casi todos los sistemas contables tradicionales consideran la mano de obra directa como un costo variable. Por otro lado, los principios de la TDR afirman que en el corto plazo todos los costos operacionales —excepto los de materia prima directa— son fijos en su mayor parte y, por lo tanto, se “aglutinan” en el gasto operativo general. Uno de los puntos clave de este ejemplo es que *los productos en realidad no tienen una utilidad, pero las compañías sí*. Esta afirmación nos ayuda a ver la operación más como un sistema, y no sólo como un conjunto de funciones independientes. Éste es uno de los conceptos fundamentales de la administración mediante los principios de TDR.

10.2 COMPRENSIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE RESTRICCIONES

Se han desarrollado varios lineamientos fundamentales para entender los principios de la TDR y la forma de administrar un proceso de restricción. Algunos de los lineamientos más sobresalientes son los siguientes:

- ***El desempeño óptimo de un sistema NO equivale a la suma de los óptimos locales.*** Cuando se dice que un sistema se está desempeñando tan bien como es posible, por lo general significa que no más de una parte del sistema se está desempeñando en un nivel óptimo. Si todas las partes del sistema se están desempeñando de manera óptima, es probable que el sistema como un todo no lo hará. En otras palabras, es prácticamente imposible obtener un balance perfecto en el sistema. Aunque éste haya sido diseñado para obtener un balance perfecto, las variaciones normales en el desempeño provocarán, inevitablemente, algún grado de inestabilidad.

- **Los sistemas son como cadenas.** Todos los sistemas tienen “un eslabón más débil” (una restricción) que limita el desempeño del sistema integral.
- **Para determinar qué se debe cambiar es necesario comprender a cabalidad el sistema y su objetivo.** Al implementar la TDR, muchas veces el objetivo del sistema es obtener dinero a partir de las ventas, no mediante la producción. La producción terminada que no se vende (es decir, fabricar y almacenar inventario) no contribuye al objetivo de la compañía. Ésta es una de las razones por las que la primera obra de Goldratt sobre TDR —donde presenta sus conceptos al mundo— se titula *The Goal* (“El objetivo”).
- **Los efectos indeseables en el sistema son resultado de tan sólo algunos problemas centrales.** Éste es un tema común con muchos otros sistemas. Por ejemplo, el popular diagrama de causa-efecto (conocido también como “espina de pescado”) que se utiliza en la administración de la calidad total (TQM, por sus siglas en inglés), llega a la misma conclusión. En general, resolver el síntoma de un problema no suele remediar las cosas. Si el problema central persiste, es probable que el síntoma (u otro asociado a él) reaparezca muy pronto. A largo plazo, la eliminación real del efecto indeseable ocurrirá sólo si el problema central se identifica y resuelve.
- **Los problemas centrales casi nunca son obvios.** Tienden a mostrarse a sí mismos como una serie de efectos indeseables, la mayoría de los cuales en realidad son síntomas de problemas subyacentes.
- **La eliminación de los efectos indeseables proporciona un falso sentimiento de seguridad.** Trabajar sobre los “problemas” (que, en realidad, muchas veces son síntomas) sin encontrar la causa raíz, tiende a proporcionar mejoras de corta duración. Por otro lado, al eliminar el problema central generalmente se eliminan también todos los efectos indeseables asociados a él.
- **Las restricciones del sistema pueden ser restricciones físicas o restricciones de políticas.** En términos generales, las restricciones de políticas son más difíciles de encontrar y eliminar. Sin embargo, la eliminación de una restricción de este tipo a menudo proporciona una mejora más pronunciada en el sistema. Las diferencias entre estos dos tipos de restricciones se analizan más adelante.
- **Las ideas no son soluciones.** La generación de ideas puede ser benéfica, pero sólo si existe un seguimiento para desarrollarlas, convertirlas en una solución e implementarlas por completo.
- **La atención debe centrarse en el balance del flujo en toda la planta.** La clave es el rendimiento total que termina como una venta, no en el rendimiento total que puede terminar como inventario. Como se analizó antes, algunos sistemas contables promueven altas tasas de producción aunque las ventas sean bajas. Tales sistemas reconocen que agregar valor al producto “pagará” los gastos generales, ya que éstos serán absorbidos por el producto gradualmente, a medida que se le agregue valor. Esto tiende a confundir a los administradores, haciéndoles pensar que están ayudando a la compañía, cuando de hecho lo único que están haciendo es añadir gastos adicionales en forma de inventario.

- ***La utilización de una operación que evita los cuellos de botella está determinada por las restricciones del sistema.*** Las operaciones que evitan los cuellos de botella no restringen la producción del sistema. Por lo tanto, estos recursos deben ser manejados de manera que proporcionen el máximo apoyo a los recursos restrictivos. La eficiencia y utilización de estos recursos no se consideran tan importantes para el bien del sistema completo, pero sí como soporte para el mismo.
- ***No es lo mismo utilizar una operación que activarla.*** En el concepto TDR, una operación se considera activada sólo cuando proporciona un beneficio para el sistema total en función de generar más producción. La operación puede utilizarse, o producir material innecesario, pero eso no siempre ayuda al sistema total.
- ***Una hora perdida en una operación restrictiva es una hora perdida para el rendimiento del proceso completo.*** Volviendo al ejemplo de la figura 10.2, si se pierde un cuarto de hora sólo para el proceso 3, la operación completa podrá producir sólo tres unidades esa hora, sin importar qué tan bien se desempeñen los demás procesos. Es por ello que el interés principal de la administración y programación de una operación debe centrarse en la restricción.
- ***Una hora perdida en una operación no restrictiva es una ilusión, toda vez que impacta el rendimiento total.*** En realidad representará un exceso de capacidad. Por ejemplo, de acuerdo con el diagrama de la figura 10.2, si hay pérdida de tiempo al producir una unidad en el proceso 2, significará que dicho proceso sólo podrá generar seis unidades por hora, pero la operación general seguirá teniendo un rendimiento de sólo 4 unidades por hora, ya que está determinada por la capacidad del proceso 3.
- ***No es preciso que los lotes de transferencia tengan el mismo tamaño que los lotes de proceso (por lo general no deben tenerlo).*** Los lotes de proceso para restricciones deben ser de un tamaño que maximice la utilización eficaz del proceso (es decir, un tamaño que minimice los tiempos inactivos). Los lotes de proceso en operaciones no restrictivas no son tan determinantes. En cuanto a los lotes de transferencia (la cantidad de material desplazado), a menudo pueden ser más pequeños para maximizar el rendimiento y minimizar los inventarios de proceso.
- ***Los programas deben determinarse utilizando todas las restricciones operacionales.*** En muchas operaciones los programas se establecen de manera secuencial. La TDR argumenta que, cuando se elabora un programa, todas las áreas restrictivas deben considerarse al mismo tiempo. La teoría también afirma que los tiempos de espera son un resultado del programa, y que no deben determinarse antes del proceso de programación.

10.3 MEJORA DE LOS PROCESOS MEDIANTE LOS PRINCIPIOS DE LA TEORÍA DE RESTRICCIONES

Si un método de TDR se considera apropiado para ayudar a mejorar un sistema de negocio, se recomienda seguir un procedimiento de cinco pasos para implementarlo. Los cinco pasos se resumen a continuación:

1. ***Identificar la restricción.*** Esto implica la necesidad de analizar el proceso completo para determinar qué proceso limita el rendimiento. El concepto no restringe

este análisis únicamente a los procesos operativos. Por ejemplo, suponga —una vez más a partir de la figura 10.2— que el departamento de ventas sólo vendió la producción a una tasa de 3 unidades por hora. En ese caso, el departamento de ventas sería considerado como la restricción, y no el proceso 3. Es necesario tener presente que una restricción limita el rendimiento respecto de las ventas generales del negocio, no sólo en relación con la producción en inventario.

2. **Explotar la restricción.** Esto se refiere a encontrar métodos para maximizar la utilización de la restricción con el objetivo de obtener un rendimiento productivo. Por ejemplo, en muchas operaciones los procesos se detienen por completo durante la hora del almuerzo o los descansos. Si un proceso es restrictivo, la operación debe considerar la rotación de los periodos de almuerzo, de manera que nunca se permita que la restricción esté inactiva. Suponga, por ejemplo, que cierto proceso de una operación representa una clara y gran restricción. Imagine también que actualmente hay siete horas productivas por cada turno de ocho horas (30 minutos se toman para el almuerzo, y se dan dos descansos de 15 minutos cada uno). Si suponemos que varios trabajadores pueden operar el proceso (o que es posible capacitarlos para ello), podrían intercalarse los tiempos de almuerzo y de descanso sólo para ese proceso, lo que le permitirá operar las ocho horas completas. En tal caso el negocio añadiría una hora productiva completa por turno, sin la adición de otro tipo de recursos.
3. **Subordinar todo a la restricción.** La utilización efectiva de la restricción es lo más importante. Todo lo demás es secundario.
4. **Elevar la restricción.** Esto significa, esencialmente, encontrar formas de incrementar las horas disponibles de la restricción, incluyendo su propio aumento.
5. **Una vez que la operación deja de ser restrictiva, encontrar la nueva restricción y repetir los pasos.** Al incrementarse la utilización eficaz de la operación restrictiva, ésta puede dejar de ser una restricción, pero aparecerá otra a lo largo del proceso. En ese caso el interés debe desplazarse hacia la nueva restricción. También es posible (y casi seguro en muchos negocios) que un cambio relacionado con las ventas en la mezcla de producto ocasione que un proceso diferente se convierta en una restricción.

Notas sobre los cinco pasos:

1. Los primeros dos pasos constituyen, en realidad, un método para vincular de manera flexible los parámetros de medición (incluyendo los de rendimiento y utilización) a la logística del sistema.
2. El tercer paso, como descubriremos en la sección de programación con TDR, en realidad se logra mediante:
 - La liberación de material en el centro de enlace (primer procesamiento), a una tasa que mantendrá la restricción ocupada.
 - La asignación de prioridades a las tareas no restrictivas, con base casi exclusivamente en las necesidades de la restricción.
3. El concepto *explotar* en realidad implica obtener lo más posible de las fuentes restrictivas existentes. La TDR sugiere que la explotación debe maximizarse antes de gastar dinero adicional en adquirir una mayor cantidad del recurso restrictivo.

4. El quinto paso en realidad es una advertencia para realizar una verificación continua que asegure que la restricción no se ha desplazado. La explotación efectiva de las restricciones existentes y un desplazamiento en la mezcla de producto son ejemplos de eventos que pueden provocar que la restricción se desplace.

Una vez que se haya comprendido estos cinco pasos, sería útil considerar que no en todos los entornos de negocio es posible implementar con facilidad el método TDR. Por ejemplo, si una operación tiene una mezcla de producto muy volátil debido a que su clientela modifica constantemente sus pedidos para una gran variedad de productos, es posible que la restricción también sea muy volátil. En un momento determinado la mezcla de requerimientos de un proceso quizá señale hacia una restricción, mientras que en otro momento la mezcla puede crear una restricción completamente diferente. Si el desplazamiento ocurre con frecuencia, tal vez haya poca oportunidad de aplicar los métodos de TDR antes de que la restricción se desplace hacia otro punto del proceso.

10.4 IMPACTOS SOBRE LA ESTRATEGIA DE OPERACIÓN

El conocimiento de la teoría de restricciones puede influir de varias maneras en la estrategia de operación de la empresa. Los siguientes podrían ser algunos de los impactos sobre la estrategia:

- Para un tipo y una mezcla de productos determinados, la administración puede decidir conscientemente en dónde debería localizarse la restricción, y proceder entonces al desarrollo de la estrategia operativa en torno a la restricción seleccionada.
- Marketing y ventas pueden estar vinculados estrechamente a la restricción. De manera específica, es posible realizar un análisis para determinar la mezcla de productos que debe venderse para maximizar la utilidad, y también es posible vender más productos que no utilicen la restricción (lo que implica que la capacidad adicional esté disponible para fabricar más de esos productos).
- La ingeniería y otras actividades de mejora de procesos pueden y deben enfocarse en lograr que el proceso restrictivo sea más eficiente y efectivo.
- La compañía debe considerar cómo pueden utilizarse los procesos no restrictivos para complementar las restricciones o hacer más efectivos los recursos restrictivos.
- Si la compañía puede decidir en dónde se ubica la restricción en el proceso, la dirección podría optar por colocarla en una etapa inicial del proceso. De esta manera minimizaría el respaldo requerido para proteger la restricción contra el “agotamiento” de material. Esto se aclarará cuando expliquemos el método para determinar el tamaño del respaldo, más adelante en este capítulo.
- Por otro lado, si en las primeras etapas del proceso general hay operaciones que generan una producción de baja calidad, la restricción deberá colocarse más adelante. Ciertos procesos, en especial algunos de transformación química, generan una producción deficiente debido a su propia naturaleza. La idea es colocar esos

procesos antes de la restricción. Si fueran ubicados después, algunos productos que ya hubieran atravesado la restricción no serían desechados o necesitarían ree-laborarse usando la restricción. Dado que la TDR se basa en la premisa de que todos los artículos que atraviesan la restricción serán transformados en ventas, resulta obvio que no es buena idea desperdiciar el tiempo restrictivo en la fabricación de un producto que más tarde será rechazado.

- Existen otras consideraciones que también pueden impactar la estrategia de operación, como el tiempo de respuesta que demandan los clientes y la cantidad de inversión de capital necesaria para distintas combinaciones de recursos.

10.5 TIPOS GENERALES DE FACTORES RESTRICTIVOS

Las fuentes de restricción se pueden clasificar de varias maneras. La más común es la que las divide en restricciones políticas, restricciones de capacidad y restricciones de marketing.

POLÍTICAS:

- Las políticas de fijación de precios, que pueden afectar la demanda.
- El enfoque incorrecto en la comisión de ventas (vender el producto equivocado).
- Medidas de producción que inhiben el buen desempeño de la producción.
- Políticas de personal que promueven el conflicto entre las personas o áreas de producción.

CAPACIDAD:

- Políticas de inversión, incluyendo métodos de justificación, horizonte de planificación y disponibilidad de fondos.
- Políticas de recursos humanos.
- Regulaciones gubernamentales.
- Sistemas tradicionales de medición.
- Procesos de desarrollo de productos.

RESTRICCIONES DE MARKETING:

- Políticas de “nicho” de producto.
- Sistemas de distribución.
- Capacidad percibida contra demanda real.

10.6 LOGÍSTICA Y LA TEORÍA DE RESTRICCIONES

La logística implica el movimiento físico del material a lo largo del proceso de producción. La teoría de restricciones dedica algunos puntos específicos a la logística, e incluye ciertos métodos para hacer eficiente el desplazamiento. En general, la TDR resalta dos características esenciales de todo sistema de logística:

- Casi todos los sistemas están compuestos por una serie de eventos dependientes, una sucesión de pasos específicos que deben seguirse en el orden apropiado para completar un trabajo. Esto implica que cualquier demora en una etapa inicial del proceso podrá afectar de manera negativa sus últimas etapas.
- Casi todas las actividades presentan fluctuaciones estadísticas inherentes a su operación. Esto implica que los tiempos de actividad no son deterministas, y que existirán desviaciones de la media. El método TDR sugiere que son estas fluctuaciones estadísticas las que hacen imprácticos los métodos tradicionales de balance de la línea de ensamble.

Suelen citarse tres razones para justificar las disminuciones de rendimiento, mismas que —una vez más— se enfocan en la restricción del sistema. Las tres razones se explican a continuación, junto con el método que se acostumbra sugerir para minimizar o eliminar la posible pérdida de rendimiento:

1. **La restricción está “rota”.** Existen muchas razones por las que una restricción pudiera ser inoperante, pero éstas no son tan importantes como el hecho de que la restricción inactiva no se puede utilizar para producir. Como no existen excesos de capacidad en una restricción, la pérdida de capacidad producirá directamente una pérdida en el rendimiento de la empresa como un todo. Una solución importante para este problema potencial es la implementación de un buen plan de mantenimiento preventivo. Tal plan debe ser programado y administrado cuidadosamente, ya que también él representa un uso de la capacidad de la restricción. En general, esta situación es compatible con un principio básico de mantenimiento: cuanto más alto sea el costo de una avería no programada en un proceso, más importante será implementar un programa de mantenimiento preventivo bien diseñado. Éste es el mismo problema básico que encontramos en los sistemas de producción esbelta. Si no hay suficiente inventario en el sistema, los procesos tienden relacionarse estrechamente, y la pérdida de alguna operación suspende con rapidez el sistema completo. El mantenimiento es importante para la TDR por prácticamente la misma razón que para los sistemas de producción esbelta: el alto costo potencial de una caída en el rendimiento del sistema integral.
2. **La restricción está “hambrienta”.** Se dice que la restricción está “hambrienta” cuando el proceso anterior no dejó inventario disponible para que la restricción trabaje con él. La restricción es capaz de generar producción, pero no puede hacerlo sin material con que trabajar. La solución a este problema consiste en usar un respaldo al frente de la restricción. El respaldo consistirá en el inventario liberado en las primeras etapas en el sistema, pero en realidad puede considerársele un respaldo de “tiempo”, por las razones que se explican en la sección de programación que se presenta más adelante.
3. **La restricción está bloqueada.** En esta condición, la restricción está disponible y existe material para trabajar, pero no hay espacio físico en dónde colocar las unidades terminadas. La solución a este problema potencial radica en tener un espacio de respaldo disponible después de la restricción, en el cual se pueda colocar la producción generada por la operación restrictiva.

10.7 PROGRAMACIÓN Y LA TEORÍA DE RESTRICCIONES

El sistema de programación desarrollado por la teoría de restricciones tiene su propio método específico, a pesar de que está estrechamente relacionado con un sistema *pull* inherente a la producción esbelta; dicho método suele denominarse **tambor-amortiguador-cuerda**:

- **Tambor.** El tambor del sistema se refiere al “ritmo de tambor” o ritmo de producción. Esencialmente, representa el programa maestro para la operación, el cual se enfoca alrededor de la tasa de rendimiento *que define la restricción*. En otros términos, el tambor simplemente puede ser considerado como el programa de trabajo de la restricción de la organización. Con el propósito de que la organización aproveche por completo su conocimiento, debe darse por sentado que todas las funciones no restrictivas comprenden este programa de “ritmo de tambor” y le brindan su apoyo total.
- **Amortiguador.** Dada la importancia de evitar que una restricción esté “hambrienta” por falta de inventario, muchas veces se establece antes de ella un amortiguador de “tiempo”. Se denomina amortiguador de tiempo debido a que representa la cantidad de tiempo que el material es liberado dentro del sistema antes del tiempo de rendimiento normal mínimo para alcanzar la restricción. La idea es proteger al sistema contra variaciones normales y, por lo tanto, evitar que la restricción sufra perturbaciones o escasez de material. A pesar de que el amortiguador se manifiesta asimismo como inventario liberado en el sistema antes del tiempo de procesamiento mínimo, la mezcla de producto de dicho material puede ser muy diferente según el programa. Como el amortiguador no se basa en inventario específico de productos ni en componentes particulares, por lo general se le denomina amortiguador de tiempo. Ésta es una diferencia clave en el uso conceptual de un amortiguador de tiempo en lugar de un amortiguador de inventario: el amortiguador de tiempo tiende a ser bastante inmune a las variaciones en la mezcla de producto. Por ejemplo, suponga que las variaciones en el procesamiento y la probabilidad de que algunas alteraciones en las operaciones superiores a partir de la restricción pudieran ocasionar que el material tuviera un retraso de hasta cuatro horas. La consecuencia sería que, con base en el programa de procesamiento en la restricción, el material para el mismo sería liberado a la primera operación cuatro horas antes de lo que dictara el rendimiento normal esperado.
- **Cuerda.** Este término se debe a una analogía: la cuerda “jala” la producción hacia la restricción para que se realice el procesamiento necesario. Si bien esto puede implicar un sistema *pull* de tipo *kanban*, se puede llevar a cabo mediante una liberación —bien coordinada y en el momento apropiado— del material en el sistema.

Como se puede observar, incluso el sistema de programación tiene su foco principal en la administración eficaz de la restricción de la organización para lograr rendimiento y ventas.

10.8 MÚLTIPLES AMORTIGUADORES DE TIEMPO

Los amortiguadores de tiempo se utilizan para garantizar que la restricción no esté “hambrienta”, pero también son necesarios para otros propósitos. He aquí un ejemplo que puede ayudar ilustrar lo anterior:

Suponga que tenemos un producto elaborado a partir de tres componentes. El componente 1 se procesa a partir de cierta materia prima y se ensambla con el componente 2 cuando éste ha completado también su manufactura. El subensamblaje resultante se ensambla a su vez con el componente 3 cuando éste ha sido procesado a partir de materia prima. Entonces, el producto final se envía al cliente. La restricción del sistema se ubica a la mitad del procesamiento del componente 1. La figura 10.3 ilustra esta situación.

Una vez que el componente 1 ha sido procesado en la restricción, su valor para el sistema se ha elevado significativamente debido al tiempo de restricción que se invirtió en su manufactura; por lo tanto, nada debe impedir que termine su participación en el proceso. Sin embargo, si el componente 1 llegara al área de ensamblado 1 antes que el componente 2, podría surgir un problema. Como nunca es recomendable que el material en cuya manufactura se ha invertido tiempo de restricción espere material sin restricción, debemos colocar un amortiguador de tiempo del material para el componente 2 antes del área de ensamblado 1. Esto se realiza al liberarlo con anticipación; con qué tanta anticipación debe hacerse la liberación depende del amortiguador de tiempo, que a su vez se basa en el tiempo estimado necesario para hacer frente a cualquier impacto anticipado en el sistema. En este caso, el amortiguador de tiempo se denomina **amortiguador de tiempo de ensamblaje**, a diferencia del amortiguador de tiempo que se coloca antes de la restricción, al que por lo general se le denomina **amortiguador de tiempo de restricción**.

El mismo argumento es válido respecto del área de ensamblaje 2. En el subensamblaje de los componentes 1 y 2 se ha invertido tiempo de restricción, por lo que no es aconsejable que espere por el componente 3. Esto exige que se genere otro amortiguador de tiempo de ensamblaje en el área 2.

Por desgracia, la necesidad de amortiguadores no ha sido satisfecha. Es posible que el envío del producto final, en cuya manufactura participó material con inversión de restricción, pueda detenerse, dado que los procesos que se llevan a cabo entre el ensamblaje y el envío no se tomaron en cuenta en la protección. Esto implica la necesidad de generar un amortiguador adicional de tiempo antes del área de envío, denominado **amortiguador de tiempo de envío**.

De acuerdo con lo anterior, en general estos amortiguadores tienen como propósito fundamental proteger al sistema; ayudan a garantizar el buen rendimiento y a mante-

FIGURA 10.3 Flujos básicos de un producto sencillo

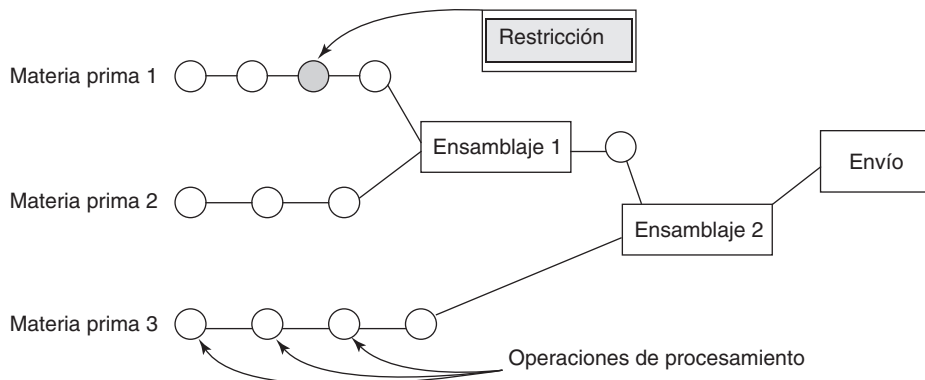
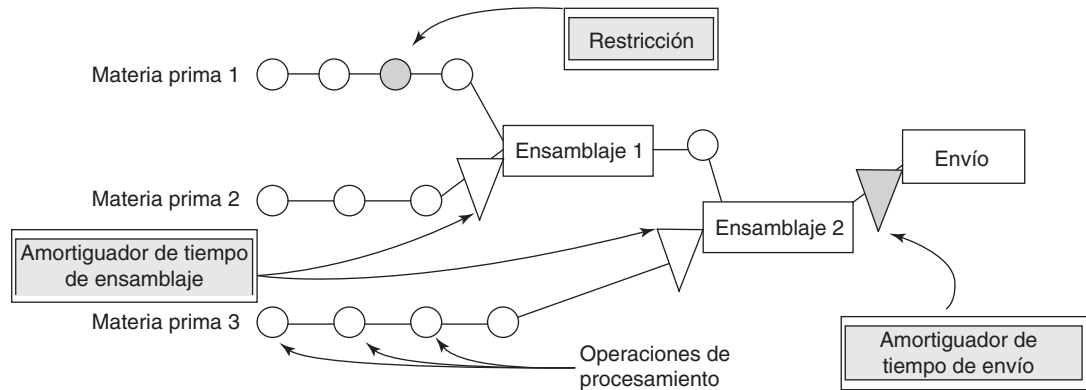


FIGURA 10.4 Proceso muestra con amortiguadores de tiempo adicionales

ner un buen desempeño en cuanto a las fechas de vencimiento. Sin embargo, también pueden ser fuente de información para cualesquiera métodos de mejora continua que lleve a cabo la operación. Esta información puede contribuir a establecer prioridades para procesos seleccionados como blanco de los procesos de administración total de la calidad, y para los métodos de producción esbelta. En general, uno siempre tiene que formular la pregunta: “¿a dónde debo dirigir los esfuerzos de la técnica de producción seleccionada para maximizar la utilidad general de la compañía?”

10.9 PUNTOS DE CONTROL Y LOTES

Todo el análisis concerniente a los amortiguadores y a la programación puede hacer que uno piense que la programación con base en métodos de TDR es más difícil y compleja que con los métodos estándar. Esto no es necesariamente cierto. Según el flujo de material y el tipo de operación, existen tipos de puntos de control definidos específicamente que pueden ser importantes para la programación, la medición y el control de TDR. Un punto de control es el momento del proceso en que se hacen las mediciones y se toman decisiones con base en ellas. Los puntos típicos de control para la TDR incluyen:

- **La restricción** – evidentemente éste es el punto de control más importante, y necesita ser programado cuidadosamente con base en las ventas.
- **La primera operación (o compuerta)** – es muy importante liberar al sistema el material apropiado en el tiempo propicio, de manera que llegue a la restricción. Ésta es, en efecto, la “cuerda” del sistema tambor-amortiguador-cuerda.
- **Puntos divergentes** – estos puntos se ubican donde una parte común puede procesarse en diversas opciones diferentes. Deben ser manejados para garantizar que el material, especialmente el material restrictivo, se utilice de manera apropiada para la manufactura del ensamblaje correcto.
- **Puntos convergentes** – en realidad se trata de operaciones de ensamblaje en las que el material proveniente de operaciones no restrictivas se combina con el material restrictivo para producir un ensamblaje o un subensamblaje. Es importante

administrar estos puntos para garantizar que no se impida el procesamiento del material restrictivo.

- **Los amortiguadores** – incluyen amortiguadores de restricción, amortiguadores de ensamblaje y amortiguadores de envío, como se describió anteriormente.

La TDR también reconoce que pueden existir diferencias fundamentales entre los **lotes de proceso** (la cantidad de material producido por una operación con base en una configuración determinada) y los **lotes de transferencia** (la cantidad de material desplazado de una operación a la siguiente). En general, los lotes de proceso deben ser muy grandes en el caso de las operaciones de restricción, con el propósito de minimizar el tiempo perdido en las configuraciones. Los lotes de proceso para operaciones no restrictivas son, en gran medida, irrelevantes dado que estas últimas tendrán un exceso de capacidad. Por otro lado, los lotes de transferencia deben ser muy pequeños para minimizar los niveles de inventario del trabajo en proceso.

10.10 PRINCIPALES PASOS EN EL USO DEL MÉTODO TAMBOR-AMORTIGUADOR-CUERDA

Los siguientes pasos generalmente se presentan como un resumen de la utilización del método tambor-amortiguador-cuerda para planificar y controlar una operación bajo los principios de la TDR:

1. Identificar la restricción en la operación.
2. Analizar las opciones y seleccionar el método preferible para explotar la restricción.
3. Desarrollar un diagrama de Gantt para la operación de restricción (vea la sección de programación de diagrama de Gantt en el capítulo 8).
4. Calcular el tamaño apropiado de los amortiguadores (de envío, de ensamblaje y de restricción) con base en el tiempo necesario para trasladar el material de la operación a esas áreas de respaldo.
5. Desarrollar un programa de liberación de materia prima para apoyar el plan de restricciones, y también la liberación de ensamblajes de otras partes no restrictivas, en especial para la manufactura de partes restrictivas.
6. Determinar la fecha de envío de producto. En el caso de los productos que no utilizan la restricción, las fechas de envío suelen basarse únicamente en la solicitud del cliente. El principal problema en este sentido es no cargar las áreas no restrictivas hasta el punto en que puedan convertirse en restricciones temporales.
7. En cuanto a los centros de trabajo que no han sido identificados como punto de control, el trabajo se puede volver a realizar tan pronto como haya disponibilidad.

TÉRMINOS CLAVE

Amortiguador de tiempo
Lote de proceso

Lotes de transferencia
Restricción

Tambor-amortiguador-cuerda

RESUMEN

La teoría de restricciones (TDR) brinda una perspectiva diferente para interpretar conceptualmente una operación y, por lo tanto, puede ofrecernos diferentes enfoques para la planificación y el control de esa operación. La TDR nos obliga a ver la organización como un sistema vinculado, lo que permite la identificación de la restricción total del sistema. Una vez identificada,

existen varios métodos sistemáticos para incrementar la capacidad y producción de la restricción y, en consecuencia, aumentar el rendimiento de la organización como un todo. Esto puede (y debe) realizarse mientras se continua minimizando la cantidad de inventario en exceso y la capacidad del sistema.

REFERENCIAS

Goldratt, E. M., *It's Not Luck*. Croton-on-Hudson, Nueva York: North River Press, 1994.

Goldratt, E. M. y J. Cox, *The Goal*. Croton-on-Hudson, Nueva York: North River Press, 1994.

Goldratt, E. M. y R. E. Fox, *The Race*. Croton-on-Hudson, Nueva York: North River Press, 1986.

PREGUNTAS DE ANÁLISIS

1. Explique los retos especiales que podrían presentarse al implementar la TDR en un ambiente de fabricación bajo pedido.
2. Describa las posibles implicaciones de un cambio importante en la mezcla de producto o de una modificación importante en el diseño de una operación con implementación de la TDR. ¿Cómo manejaría esas implicaciones?
3. Compare y contraste el diseño de un sistema tambor-amortiguador-cuerda y el sistema *pull* descrito en el capítulo 9. ¿Cuáles son las similitudes y diferencias entre ambos, y por qué se presentan?
4. Comente la siguiente afirmación, expresada por un director de operaciones: “No tenemos restricción alguna en nuestra compañía. Nuestros planes de capacidad muestran que tenemos plena capacidad para producir el programa maestro por algún tiempo”. Justifique su punto de vista.
5. Analice las implicaciones de TDR para una compañía que está desarrollando su estrategia de negocios. ¿Cómo podría verse impactado el proceso de planificación de ventas y operaciones por el método seleccionado?
6. ¿Considera que la TDR tiene algún impacto sobre otras funciones de la organización? De ser así, ¿cuáles podrían ser esas funciones? Comente de manera específica las posibles implicaciones en:
 - Ingeniería
 - Recursos humanos
 - Contabilidad
 - Tecnologías de información
 - Marketing
 - Ventas

CAPÍTULO II

Funciones de “asociación”: compras y distribución

Esquema del capítulo

- 11.1 Aspectos de la información de compras
- 11.2 Responsabilidades de la función de compras en la adquisición de materiales
- 11.3 Planificación de los requerimientos de distribución

Introducción— Existen dos funciones delimitantes cuyo trabajo se extiende más allá de la frontera entre las organizaciones, y que se ven impactadas por el diseño del sistema de planificación y control de la operación. En el caso de compras, la frontera se encuentra entre la organización específica y las empresas que la abastecen de los bienes y servicios necesarios para que elabore sus productos. La distribución, por otra parte, abarca a la organización y a sus clientes. Es evidente que ambas deben incluirse en todo tratamiento de planificación y control. La función de compras, por ejemplo, debe saber qué materiales debe abastecer y en qué momento, y la de distribución debe ocuparse de proveer los productos a los clientes; esto significa que la información de ambas fuentes se convertirá en parte integral del sistema de planificación.

El objetivo de este capítulo consiste en presentar una visión general básica de los conceptos involucrados en estas áreas desde el punto de vista de su relación con la planificación y el control, tema que ha sido objeto exclusivo de varios libros cuyo tratamiento es mucho más amplio que el que presentaremos en esta obra. Si el lector desea conocerlo con más detalle, le alentamos a consultar cualquiera de las referencias que se mencionan al final de este capítulo.

Resulta interesante que, hasta hace poco tiempo, solía considerarse que estas dos funciones (compras y distribución) eran aspectos relativamente distintos e independientes. Debido a que los sistemas de cómputo han seguido desarrollando su potencia y efectividad, y a que los clientes continúan demandando mejores respuestas de parte de los proveedores (en especial respecto de los tiempos de entrega), las funciones de planificación y control —incluyendo compras y distribución— se han integrado en lo que se ha denominado **administración de la cadena de suministro**. Este concepto engloba todas las actividades de “nivel superior” y de “nivel inferior”, como partes de una cadena completa de operaciones que van desde la materia prima hasta el producto

final. Considerar el flujo completo de materiales como una cadena implica una comunicación rápida y efectiva, así como una transmisión ascendente y descendente de información a lo largo de la línea de suministro, lo cual significa que los vínculos entre estas funciones delimitantes tienen cada vez más importancia para el sistema integral de planificación y control. El método de cadena de suministro ofrece varias ventajas, entre ellas: una reducción significativa del inventario (tanto de materia prima como de productos terminados); una respuesta más rápida a las demandas del cliente y la disminución tanto de tiempo como de costo necesarios para desarrollar nuevos productos.

Cuando se intenta que una organización desarrolle un método de cadena de suministro, varias de sus actividades pueden verse afectadas, por ejemplo:

- Se da una asociación estrecha con otras organizaciones, lo que implica que la selección de socios debe tomar en cuenta la naturaleza potencial de la relación, y no basarse únicamente en quién ofrece el precio más bajo. El criterio específico de elección de cada proveedor debe basarse en una evaluación cuidadosa de la estrategia de operaciones de la compañía y de su cadena de suministro, de manera que las prioridades de selección sean congruentes con la estrategia de la cadena completa. Entre dichas prioridades se pueden incluir factores como:
 - Velocidad y confiabilidad de las entregas.
 - Calidad del producto y de aspectos menos tangibles, como comunicación y respuesta del proveedor.
 - Flexibilidad de diseño y flexibilidad para responder eficazmente ante la variabilidad en el tamaño de los pedidos o los tiempos entrega.
 - Costo total del componente, incluyendo no sólo el precio de compra, sino también las tasas de desperdicio, la facilidad de producción, el costo de mantenimiento, el costo de reparación, etcétera.
- Se hace imprescindible el desarrollo de sistemas de información que puedan vincularse con otras organizaciones para el flujo apropiado y completo de la información. Estos vínculos de información incluyen la comunicación de pedidos de material y la posible participación (e incluso integración) de planes y programas de producción.
- Se presenta un incremento en el envío directo de artículos, lo que ocasiona un impacto en el almacenaje y en la información que contienen los sistemas de distribución.

El desarrollo efectivo y la descripción detallada de las cadenas de suministro va más allá del enfoque de este libro, dado que implican estrategias interorganizacionales, tecnologías de información, transportación, elección de proveedores y negociación de relaciones. Aquí abarcaremos tan sólo algunos de los principios fundamentales que se utilizan para planificar y controlar las funciones de compras y distribución.

11.1 ASPECTOS DE LA INFORMACIÓN DE COMPRAS

Desde la perspectiva de la planificación y el control, la actividad de compras debe considerar los requerimientos que exige la producción en materia de componentes, subensamblajes, materias primas y servicios, así como la necesidad de bienes y suministros destinados de manera indirecta a la manufactura, mismos que suelen denominarse MRO (mantenimiento, reparación y operaciones):

- La información requerida para los artículos de producción por lo general se genera a partir del MRP, en caso de que la organización utilice este sistema. En una lista de materiales, el nivel más bajo de componentes está constituido —en la mayoría de los casos— por materiales comprados. En los entornos donde se ha dado una implementación completa de sistemas *kanban* o *pull*, los requerimientos casi siempre son resultado del agotamiento de material asociado a una de las etiquetas *kanban*, y ese material en ocasiones es abastecido por un proveedor externo.
- La necesidad de bienes y suministros con destino no productivo (MRO) puede provenir de diferentes fuentes. En ocasiones son resultado de necesidades “únicas”, por ejemplo, un servicio de reparación. En otros casos la necesidad se origina en sistemas de punto de reorden, dado que representa una demanda continua que, en esencia, sigue un patrón de demanda independiente. Los ejemplos incluyen suministros para limpieza (jabón, toallas, etcétera) e implementos para oficina (papel, bolígrafos, focos, etcétera). La demanda de artículos de mantenimiento (como partes separadas y de reemplazo para la maquinaria) también puede surgir de sistemas de puntos de reorden, pero como responder a ella tiende a ser costoso, algunas compañías tratan de limitar la cantidad que se mantiene de dichos artículos en el inventario. Una forma de lograrlo (principalmente en el caso de los elementos más costosos) consiste en proyectar la demanda de manera muy parecida a como se realiza un pronóstico. El método habitual se basa en llevar registros de cuándo y en qué circunstancias pueden fallar las partes. Los registros de “tiempo promedio entre fallas” puede utilizarse para suministrar partes de reemplazo justo antes de que se requieran o presenten una tendencia a fallar.

Aunque los ejemplos anteriores representan algunos de los métodos más comunes para programar y satisfacer la demanda de bienes y servicios adquiridos, existen otros. Uno de los que se han vuelto más comunes en años recientes consiste en el uso de un **inventario administrado por el proveedor**: un proveedor mantiene y administra las existencias en inventario ubicado en un lugar definido de las instalaciones del cliente. Éste puede tomar el material cuando lo necesite, y el proveedor le cobrará sólo aquel que realmente utilice. Además, este último es responsable de mantener un suministro apropiado de materiales en el lugar. Generalmente este tipo de sistemas emplean partes estándar y, en algunos casos, partes de consumo básico como tuercas, tornillos, pernos y otros instrumentos de sujeción.

Además de estos modelos existen otros, ya que el número y variedad de los mismos parecen estar creciendo a medida que las compañías experimentan nuevos métodos para administrar la cadena de suministro. Algunas compañías, por ejemplo, han establecido vínculos tan estrechos entre los sistemas que el proveedor puede identificar fácilmente cuáles son las necesidades del cliente en lo relativo a diseño, color, cantidad y tiempo. A partir de dicha información, el proveedor puede programar su entrega de manera que el cliente reciba justo lo que necesita en el tiempo preciso, todo sin que existan solicitudes formales de compra. Es evidente que esto representa un nivel avanzado de confianza y vinculación entre el cliente y el proveedor; por otro lado, para que este método funcione correctamente es preciso que los sistemas de información estén bien desarrollados y cuenten con información oportuna.

11.2 RESPONSABILIDADES DE LA FUNCIÓN DE COMPRAS EN LA ADQUISICIÓN DE MATERIALES

Una vez que el departamento de compras ha recibido una solicitud, pocas veces hace el pedido por la cantidad exacta que se le está pidiendo. En vez de ello, suele modificar las cantidades y algunas veces los tiempos de adquisición con base en varios aspectos, como:

- Descuentos basados en cantidad. Si el proveedor ofrece un descuento por cantidad y ésta excede la cantidad ordenada, debe realizarse un análisis financiero para determinar si el tamaño del pedido debe superar lo solicitado con el propósito de aprovechar el precio de descuento. Un ejemplo del análisis de descuentos por cantidad se ofrece un poco más adelante.
- Unidades de empaque y de envío. Muchos proveedores acostumbran empaclar el material en cantidades estándar para facilitar su transportación, producción o almacenamiento, por lo que podría exigir que los pedidos se hagan en múltiplos de esas cantidades estándar. Algunos proveedores aceptarán enviar cantidades diferentes a las predefinidas, pero al hacerlos incurrirán en costos más altos que casi siempre transferirán al cliente.
- Cargas completas de camiones. La mayoría de los transportes comerciales harán cotizaciones diferentes para el envío, y establecerán sus honorarios dependiendo de si se requiere un camión completo o si se está pidiendo una carga parcial. Casi siempre el costo de una carga parcial es mucho más alto que el de un camión completo, por ello es necesario realizar un análisis para determinar si a la compañía le conviene —desde el punto de vista financiero— incurrir en costos de inventario adicional para obtener la tarifa más baja. El análisis debe resolver la disyuntiva entre el impacto del inventario adicional que podría generarse al solicitar material equivalente a un camión completo, y el costo en que se incurriría al solicitar material adicional al agotarse el primer pedido parcial.
- Protección contra variación de precios. Algunos productos están fabricados con material que está sujeto a precios erráticos en el mercado abierto. Un ejemplo de mercancías de consumo que muchas compañías sujetan a una protección contra variación de precios son las elaboradas a base de cobre. Si los mercados de futuros de estos productos de consumo indican alguna probabilidad de que su precio se incremente, podría resultar provechoso comprar grandes cantidades mientras los precios son relativamente bajos. Con frecuencia los costos de mantenimiento del inventario adicional se compensarán con creces ante los costos más bajos del material adquirido en el momento apropiado.

EJEMPLO 11.1 DESCUENTOS BASADOS EN LA CANTIDAD

Cierto producto con demanda independiente tiene un costo unitario de \$20. El costo de colocar un pedido se ha fijado en \$32 por pedido, y el costo de mantenimiento del inventario anual está determinado en 20% del costo anual del artículo. La demanda promedio anual es de 5,000 unidades. El proveedor ha propuesto recientemente a la compañía que si compra al menos 350 unidades a la vez, sólo le cobrará \$19.50 por unidad. ¿Debe aprovechar la compañía este descuento basado en la cantidad?

Solución: La solución comienza con la suposición de que ordenar al precio más bajo es factible. Con base en esa suposición se calcula el valor de la CEP (Cantidad Económica de Pedido), mediante la fórmula desarrollada en el capítulo 5:

$$CEP = \sqrt{\frac{2DO}{M}}$$

En este caso, la demanda (D) es de 5,000 unidades, la oferta (O) es \$32 por unidad, y el mantenimiento de inventario (M) es 20% de \$19.50 (recuerde que comenzamos por suponer que podemos obtener el precio más bajo), es decir, \$3.90 por unidad.

$$CEP = \sqrt{\frac{2(5000)(32)}{3.9}} = 286 \text{ unidades}$$

Es evidente que no podemos ordenar la CEP (283 unidades) al precio más bajo (el descuento aplica únicamente al ordenar 350 unidades). En este caso encontramos que la CEP se ubica en el siguiente precio más bajo, el cual es \$20 por unidad.

$$CEP = \sqrt{\frac{2(5000)(32)}{.2(20)}} = 283 \text{ unidades}$$

Por supuesto, es posible ordenar la CEP de 283 unidades y obtener el precio unitario de \$20. ¿Qué sucedería si la cantidad solicitada se incrementara para obtener el precio de descuento? ¿El precio unitario más bajo compensará el incremento en el costo implícito si no se obtiene la CEP? La única forma de contestar esta pregunta consiste en calcular el costo total de comprar la CEP y compararlo con el costo total de comprar la cantidad mínima para obtener el precio de descuento. La fórmula para determinar el costo total se presentó en el capítulo 5 como:

$$CT = DC + \frac{Q}{2} M + \frac{D}{Q} O$$

En el caso de la CEP, el costo total sería:

$$CT = 5000(20) + \frac{283}{2} (.2)(20) + \frac{5000}{283} (32) = \$101,131$$

Con el descuento por cantidad, el costo total sería:

$$CT = 5000(19.50) + \frac{350}{2} (.2)(19.50) + \frac{5000}{350} (32) = \$98,640$$

En este caso es evidente que el precio más bajo proporciona una ventaja financiera importante, a pesar del inventario adicional que debe mantenerse al comprar 350 unidades a la vez en lugar de adquirir sólo la cantidad CEP. La compañía, de hecho, ahorraría alrededor de \$2,491 por año al aprovechar este descuento por cantidad.

Por lo general, el departamento de compras lleva a cabo muchas otras actividades de importancia. A continuación se proporciona un breve resumen de las mismas (aunque los métodos específicos que utiliza la función de compras y sus detalles particulares van más allá del alcance de este libro):

- Elección del proveedor y establecimiento de relaciones. Cuando las empresas se mueven hacia la ejecución de los conceptos del sistema de cadena de suministro —en particular en entornos de producción esbelta—, se presenta la necesidad de elegir cuidadosamente a los proveedores. Para poder establecer relaciones muy estrechas con éstos (necesarias si se llevará a cabo un intercambio continuo de información de producción y diseño, como el que está implícito en una apropiada administración de la cadena de suministro), muchas veces se elige una sola fuente de suministro para la adquisición de cada artículo. Contar con una fuente única permite que se establezca un compromiso real mutuo entre las organizaciones, en un tipo de relación que suele denominarse de “destino conjunto”. Esto exige que los proveedores elegidos sean estables, eficaces y cooperativos, además de comprender cabalmente los requerimientos de la empresa-cliente y trabajar en función de los mismos. Un ejemplo de las ventajas que ofrece tal relación es la capacidad de participar en un análisis de valor mutuo. En estos casos la compañía-cliente y compañía-proveedor participan en un análisis conjunto de los costos y diseño del producto en cuestión. Si el diseño se puede mejorar y es posible reducir los costos de producción, ambas empresas ganan. La compañía-cliente obtiene un mejor producto a un precio más bajo, y la compañía-proveedor puede obtener un mejor margen de utilidad y ganar un cliente más leal. En este sentido es importante señalar que ambas empresas deben obtener una ganancia con la actividad conjunta. Es esta ganancia mutua la que les brinda el incentivo para seguir trabajando juntas.
- Negociaciones con el proveedor. La elección de un proveedor casi siempre se basa en negociaciones muchas veces intensas y, en ocasiones, prolongadas, sobre todo si se espera que el proveedor se vuelva un socio de largo plazo. Los aspectos de costo, participación en la información, calidad del producto, entrega y flexibilidad también son consideraciones importantes para la selección.
- Elección de las compañías de transporte y de los métodos que éstas utilizan. Como en el caso de los proveedores, la selección de las empresas responsables de transportar los bienes (en particular de la empresa-proveedor a la empresa-cliente) es una parte muy importante de la función de compras. Al igual que en otros rubros, los conceptos de la cadena de suministro implican el establecimiento de vínculos más estrechos con la distribución de bienes, y las empresas de transporte deben volverse parte integral de esa actividad para lograr una entrega de bienes eficaz y con el costo total más bajo.

11.3 PLANIFICACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE DISTRIBUCIÓN

Aun cuando muchos de los factores que tienen que ver con el almacenamiento, la transportación y la distribución de bienes superan el alcance de este libro, analizar los principios fundamentales de la planificación de los requerimientos de distribución (PRD) puede resultar instructivo, ya que para muchas empresas representa una parte

importante de sus actividades de planificación y control. En gran medida, la PRD se basa en la misma lógica que el sistema MRP, buscando que las instalaciones de distribución (almacenes y sucursales de ventas) soliciten el producto directamente a la principal operación de producción. El objetivo es similar al que persigue MRP: garantizar que el material apropiado cumpla con la demanda del cliente sin incurrir en costos excesivos de inventario. En la siguiente sección de este capítulo revisaremos algunos ejemplos específicos de la PRD.

Por lo general se tiene disponibilidad de diversas opciones para ordenar y reubicar el inventario en los almacenes y en el sistema de distribución. Se cuenta con el análisis estadístico de la demanda y los patrones de reabastecimiento, con métodos clásicos de punto de reorden (analizados en el capítulo 5), y con el uso de técnicas de optimización (mencionadas también en el capítulo 5). Por desgracia, la mayoría de estas técnicas adolecen de uno o más de los siguientes problemas:

- **Demanda irregular.** Este problema, por lo general asociado con las reglas del tamaño de lote para la producción o reabastecimiento de inventario, puede producir un desabasto importante o un inventario excesivo, como se señaló al analizar el sistema MRP en el capítulo 6. Aun cuando buena parte de la demanda para el almacén o para el inventario de distribución puede clasificarse como independiente —lo que implica un comportamiento más regular en comparación con la demanda dependiente—, lo cierto es que contar con una demanda regular es poco común. El inventario de distribución y de almacén muchas veces se utiliza para reabastecer el material de las tiendas de venta al detalle u otras instalaciones de fabricación, y muchas veces los pedidos tienen tamaños de lote muy grandes.
- **Falta de integración con la estrategia y con los planes estratégicos de marketing.** Los descuentos con base en la cantidad, las campañas de publicidad, las actividades promocionales y el desarrollo de nuevos clientes son ejemplos de actividades de marketing que muchas compañías acostumbran implementar. Cada una de esas actividades puede implicar el desarrollo de niveles de demanda muy diferentes de los que ordinariamente se podrían predecir a partir del análisis estadístico de los patrones, los cuales tienden a pronosticar sólo necesidades basadas en modelos pasados de utilización.
- **Cambios en los proveedores o en los contratos de abastecimiento.** Esto puede impactar tanto la entrega como los tamaños de lote normales en el caso del material de reabastecimiento.
- **Cambios en el diseño.** Es obvio que si el diseño de alguno de los productos cambia, el almacén puede quedarse con una cantidad importante de inventario obsoleto.

El problema general, en resumen, es que tanto las estadísticas como casi todas las técnicas de punto de reorden tienden a responder a la demanda en el momento en que ésta ocurre, en lugar de anticiparse a ella. Como es muy probable que una o más de las condiciones que acabamos de mencionar ocurran de manera regular, se requerirán comunicaciones y análisis específicos en cada instancia para minimizar cualquier impacto adverso.

La alternativa que analizaremos aquí consiste en el uso de un método que, al igual que el sistema MRP, sea más proactivo, lo que nos permitirá proyectar las futuras necesidades. Al igual que el sistema MRP, un enfoque más proactivo puede utilizarse para manejar con más eficiencia la mayoría de los problemas aquí mencionados.

La alternativa en cuestión se denomina **planificación de requerimientos de distribución (PRD)**. La PRD utiliza básicamente la misma lógica que MRP, como el cálculo bruto-a-neto de requerimientos, el cual finaliza con la planificación de los pedidos de reabastecimiento. La PRD también puede sincronizar el tiempo de los requerimientos mediante el uso de una lista de distribución (LDD), cuyas características se describen más adelante.

Estructura básica de la PRD

La apariencia física de la PRD es muy similar a la del sistema MRP, y utiliza esencialmente la lógica que se ilustra en la figura 11.1.

El siguiente resumen lista los elementos del formato básico de la PRD:

- **Periodos.** Como en el caso del sistema MRP, los periodos —que muchas veces se refieren a bloques de tiempo— pueden ser de un día, una semana, un mes o cualquier otra unidad de tiempo que tenga sentido en el contexto de la situación. Además, es posible tener un sistema sin bloques. Si el periodo es mayor que un día, debe tomarse una resolución respecto de cuándo se vencerá. De acuerdo con casi todos los empaques comerciales, la convención estándar establece que la fecha de vencimiento debe ser el primer día del periodo.
- **Requerimientos brutos.** De manera similar al caso del sistema MRP, el requerimiento bruto de la PRD es la cantidad que debe abastecerse para hacer frente a la demanda. Existen tres fuentes típicas de tal demanda: pedidos reales de los clientes, pronósticos y pedidos de reabastecimiento para la distribución en otras.
- **Recepciones programadas.** Este rubro también es muy similar al sistema MRP. En este caso los pedidos abiertos para reabastecimiento pueden provenir de un proveedor, de la producción real o de una sucursal del almacén. Como en el caso de MRP, una recepción programada representa un compromiso real de los recursos de la empresa, y como tal idealmente no debe ser alterada sin intervención del responsable de la planificación. El sistema PRD creará mensajes de excepción si la lógica sugiere un cambio en la recepción programada, pero por lo general no realizará el cambio sin acción del responsable de la planificación.
- **Planificación de disponibilidad.** De manera similar al sistema MRP, este concepto representa la posición del inventario para el periodo determinado.
- **Recepción planificada de pedidos.** Esta cifra es la cantidad que debe recibirse (tomando en cuenta las reglas del tamaño de lote) para impedir que el balance disponible se vuelva negativo. Nuevamente, como en el caso de MRP, ésta es una

FIGURA 11.1 Ejemplo de formato PRD

[illegible]

cifra generada por computadora que no muestra un compromiso real de los recursos de la compañía. Por lo tanto, la lógica del sistema altera las recepciones planificadas de pedido a medida que la situación cambia, y no necesita intervención del responsable de la planificación. Cuando el envío del pedido planificado se libera, se convierte en una recepción programada; sólo entonces se le tratará de manera diferente.

- ***Liberación planificada de pedidos.*** Este valor debe ser el mismo que la compensación de la liberación planificada de pedido para el tiempo de espera (otra similitud con el sistema MRP).
- ***VTO.*** Sólo es una abreviatura del término “vencimiento”.

Requerimientos clave de información

Esta sección resume algunos de los tipos de información que se deben determinar con el propósito de constituir el modelo PRD. El primero de ellos está conformado por las políticas de pedido, entre las cuales hay varias opciones:

- **Lote por lote.** Como en MRP, con esta regla únicamente se solicita un pedido que coincida con los requerimientos netos para el periodo determinado.
- **Periodo fijo.** Una vez que se establece una cantidad de periodos (el número de periodos futuros que cubrirá el pedido), el sistema calcula la cantidad que representará el total necesario para el número de periodos, y esa cantidad representará el tamaño del pedido.
- **Tamaño del lote estándar plus.** En algunos casos se establece un tamaño mínimo estándar de lote para minimizar el costo total de envío. Esta regla de tamaño de lote utiliza ese tamaño del lote estándar, pero le agregará cualquier cantidad adicional necesaria para cubrir el requerimiento neto exigido en el periodo en cuestión.
- **Cantidad fija por encima del tamaño de lote estándar.** Si los requerimientos netos exceden el tamaño de lote estándar, esa cantidad fija se agregará (en múltiplos) hasta que se cumplan los requerimientos netos. Esta regla suele utilizarse si existe un empaque o embalaje estándar para determinar las cantidades del envío.
- **Múltiplos del tamaño de lote estándar.**
- **Modelos de la cantidad económica de pedido (CEP).** Este método se debe utilizar sobre todo cuando el reabastecimiento es lo suficientemente continuo y uniforme para aproximarse a las suposiciones subyacentes del modelo de CEP.
- **Modelos de costeo por lote.** Existen varios modelos que se han desarrollado para minimizar los costos (similares al de CEP). Algunos ejemplos son los modelos de costo mínimo unitario y de costo mínimo total. Los cálculos específicos y ejemplos de estos modelos se explican en el capítulo 6.

Algunos otros datos importantes que se deben considerar incluyen:

- **Tipo de entrada de la demanda.** Específicamente, se debe decidir si sólo los pronósticos, los pedidos de clientes o alguna combinación de ambos factores debe utilizarse como una entrada de la demanda. Quizá la opción más común sea utilizar un pronóstico, pero entonces los pedidos reales de los clientes consumirán el pro-

nóstico. En esta opción el sistema disminuirá la cantidad de pronóstico en el periodo en el cual ingresa el pedido de un cliente.

- **Inventario de seguridad.** Como se analizó en los capítulos anteriores (en específico en el capítulo 5), casi siempre existen incertidumbres en las cantidades de pronóstico, en las cantidades de reabastecimiento y en los tiempos; además, suele presentarse la posibilidad de que el cliente modifique su pedido. Para proteger el nivel de servicio al cliente se puede utilizar un inventario de seguridad básicamente de la misma manera en que se emplean en el sistema MRP. Las ventajas y desventajas también son las mismas: un incremento en el inventario de seguridad significará una protección adicional contra las incertidumbres mencionadas, pero por lo general producirá altos costos de inventario.
- **Horizonte de tiempo de planificación.** De la misma forma que el horizonte de planificación del programa maestro necesita ser por lo menos tan amplio como el tiempo de espera acumulado para producir el producto, en el caso de la PRD es preciso que sea por lo menos lo suficientemente amplio para igualar el tiempo de espera para el artículo con mayor reabastecimiento.

En este punto es necesario ilustrar la lógica del cálculo de la PRD con un ejemplo sencillo.

EJEMPLO 11.2 CÁLCULO BÁSICO DE LA PRD

Suponga que cierta fábrica tiene los siguientes requerimientos brutos para un producto:

Periodo	VTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Requerimientos brutos		200	200	250	250	200		400	200	250
Recepciones programadas										
Planificación de disponibilidad										
Recepción planificada de pedido										
Liberación planificada de pedido										

Además, la empresa tiene la política de mantener un inventario de seguridad de 50 unidades. La cantidad del pedido estándar es de 500 unidades. Actualmente se tienen 300 unidades disponibles. El tiempo de espera para reabastecimiento es de dos periodos, y existe un vencimiento de recepción programada en el periodo 2.

A partir de esta información podemos llenar la tabla de la PRD:

Periodo	VTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Requerimientos brutos		200	200	250	250	200		460	200	250
Recepciones programadas			500							
Planificación de disponibilidad	300	100	400	150	400	200	200	240	540	290
Recepción planificada de pedido					500			500	500	
Liberación planificada de pedido			500			500	500			

Algunos de estos cálculos exigen una explicación adicional. De la misma forma que en el sistema MRP, planificar la disponibilidad para los primeros periodos es simple; el valor equivale, básicamente, a la planificación de disponibilidad del periodo previo más cualquier recepción programada, menos los requerimientos brutos del periodo para el que se están haciendo los cálculos. Sin embargo, cuando llegamos al periodo 4 hay sólo 150 unidades restantes del periodo 3, aun cuando la demanda en el renglón requerimiento bruto para el periodo 4 fue de 250 unidades. Se generó una recepción planificada de pedido para cubrir la demanda, misma que se compensó por el tiempo de espera de dos periodos, mostrándose como una liberación planificada de pedido en el periodo 2. Esta situación se presentó de nuevo en el periodo 7. El escenario en el periodo 8 es un poco diferente: habían 240 unidades restantes al final del periodo 7, lo cual sería suficiente para cubrir el requerimiento bruto de 200 unidades. El problema es que habría sólo 40 unidades restantes disponibles, lo cual es una violación a la política del inventario de seguridad, que es de 50 unidades. Por lo tanto, se generó otra liberación planificada de pedido para el periodo 8, con el propósito de garantizar el cumplimiento de la política de inventario de seguridad.

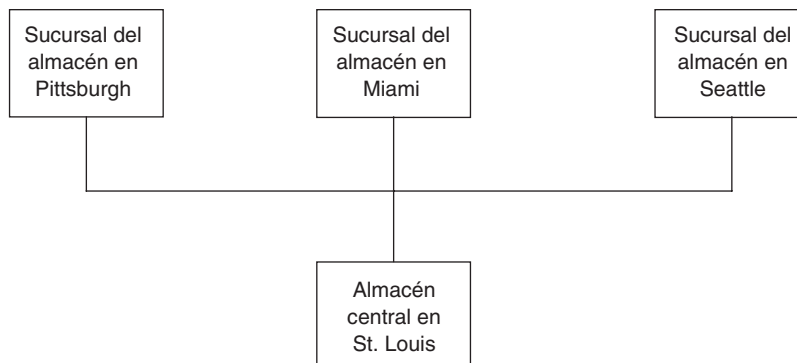
De la misma forma que el sistema MRP, el resultado general de la PRD es una serie de liberaciones planificadas de pedidos, así como mensajes de acción y un reporte de excepción. Este último muestra mensajes de acción y situaciones críticas. Los mensajes de acción pueden incluir sugerencias de tareas de “rutina” (como la recomendación de una liberación planificada de pedido actual), pero también pueden incluir mensajes de aceleración, desaceleración o cancelación, relacionados casi siempre con las recepciones programadas.

La lista de distribución

La lista de distribución (LDD) se utiliza para vincular específicamente la sucursal del almacén con la empresa-proveedor. Algunas veces también se le llama lista invertida de materiales, dado que la lista de materiales “explota” los requerimientos padre hacia abajo —hasta los componentes individuales—, mientras que la LDD provoca una “implosión” de los requerimientos de la sucursal del almacén hacia arriba, hasta el padre o empresa-proveedor.

El establecimiento de estas relaciones es importante para garantizar la totalidad del control logístico a lo largo de la cadena de suministro.

FIGURA 11.2 Ejemplo de diagrama de distribución



Uso de la lista de distribución para la PRD

Una vez que se ha establecido la lista de distribución, estamos listos para utilizarla con el objetivo de ocasionar la “implosión” de las liberaciones planificadas de pedidos de las sucursales del almacén mostradas en la figura 11.2, para convertirlos en requerimientos brutos del almacén central de St. Louis. El siguiente ejemplo muestra cómo se lleva a cabo esto.

EJEMPLO 11.3 USO DE LA LISTA DE DISTRIBUCIÓN PARA IMPLOSIONAR LOS REQUERIMIENTOS AL ALMACÉN CENTRAL

En este ejemplo utilizamos las tres sucursales del almacén citadas en la figura 11.2. Primero se presentan los programas de la PRD para dichas sucursales:

Inventario de seguridad = 40
 Tiempo de espera = 2 periodos
 Cantidad de pedido = 300
 Disponibilidad = 200

Almacén de Pittsburgh

Periodo	VTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Requerimientos brutos		60	40	90	75	55	60	80	45	50
Recepciones programadas										
Planificación de disponibilidad	200	140	100	310	235	180	120	40	295	245
Recepción planificada de pedido				300					300	
Liberación planificada de pedido		300					300			

Inventario de seguridad = 60
 Tiempo de espera = 3 periodos
 Cantidad del pedido = 1,000
 Disponibilidad = 800

Almacén de Miami

Periodo	VTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Requerimientos brutos		300	200	350	250	180	220	400	380	300
Recepciones programadas										
Planificación de disponibilidad	800	500	300	950	700	520	300	900	520	220
Recepción planificada de pedido				1000				1000		
Liberación planificada de pedido	1000				1000					

Inventario de seguridad = 100
 Tiempo de espera = 2 periodos
 Cantidad del pedido = 700
 Disponibilidad = 500

Almacén de Seattle

Periodo	VTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Requerimientos brutos		250	100	380	450	400	150	350	400	300
Recepciones programadas										
Planificación de disponibilidad	500	250	150	470	720	320	170	520	120	520
Recepción planificada de pedido				700	700			700		700
Liberación planificada de pedido		700	700			700		700		

Para establecer los requerimientos totales del almacén de suministro central, ubicado en St. Louis, se suman periodo a periodo todas las liberaciones planificadas de pedidos para cada una de las sucursales del almacén:

Inventario de seguridad = 200
 Tiempo de espera = 2 periodos
 Cantidad del pedido = 3,000
 Disponibilidad = 2,500

Almacén central de St. Louis

Periodo	VTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Requerimientos brutos	1000	1000	700		1000	700	300	700		
Recepciones programadas										
Planificación de disponibilidad	1500	500	2800		1800	1100	800	3100		
Recepción planificada de pedido			3000					3000		
Liberación planificada de pedido	3000					3000				

Notas sobre el ejemplo: Como puede observar, tenemos dos situaciones de “agilización”, ocasionadas principalmente por los requerimientos vencidos provenientes del almacén de Miami. Es difícil saber qué ocasionó la situación, pero los escenarios más probables son un incremento inesperado (o adición) de un pedido en los periodos cercanos, un envío más pequeño de lo esperado (posibles problemas de calidad) o quizá un ajuste de información (una situación de “contracción” de inventario). En cualquier caso, el almacén central no solamente necesita acelerar la orden de 3,000 unidades vencidas en el periodo 2, sino también el envío al almacén de Miami.

Como se puede ver con claridad en este ejemplo, las condiciones de demanda irregular del inventario descritas en la primera parte del capítulo son evidentes, en especial en el almacén central. Este tipo de condición es la que hace que los típicos puntos de reorden sean tan difíciles de utilizar satisfactoriamente cuando se emplean reabastecimientos de tamaños de lote específicos, como los del ejemplo.

PRD en un entorno *pull* de producción esbelta

A medida que las cadenas de suministro se están vinculando cada vez más estrechamente, y en tanto más compañías están implementando por lo menos algunos de los conceptos de producción esbelta para sus instalaciones de distribución y de producción, surge la siguiente pregunta obvia: ¿cómo encaja la PRD en tal entorno (si es que lo hace)? Como en el caso del sistema MRP, la PRD es inherentemente un sistema *push* y, por lo tanto, tal vez no se adecue tan bien en un entorno de producción esbelta, o *pull*. La realidad es que muchos de los mismos argumentos presentados para el uso de la lógica MRP en un ambiente de producción *pull* son válidos para la lógica de la PRD:

- Tiempos de espera amplios. Como en el caso del MRP, es probable que ciertos artículos requieran tiempos de espera muy amplios. Si dichos artículos se colocan en un programa *pull* puro, darían por resultado un inventario muy grande, dado que la mayoría de los sistemas *pull* son en realidad un caso especial de sistemas de punto de reorden. En tales casos puede tener más sentido proyectar las necesidades de estos artículos mediante la lógica PRD.
- Planificación de capacidad. De la misma forma que los sistemas de producción, los sistemas de distribución requieren un análisis de los requerimientos de capacidad, es decir, determinar si la cantidad correcta y el tipo adecuado de capacidad estará presente con el costo total mínimo. La PRD puede proporcionar tal planificación, al mismo tiempo que sigue utilizando la producción esbelta y el reabastecimiento de inventario *pull* para minimizar los impactos en materia de costo.
- Cambios en el diseño. Dado que los sistemas *pull* son inherentemente reactivos, resulta difícil integrar nuevos diseños sin generar un impacto adverso sobre el inventario obsoleto. La lógica PRD puede proporcionar una señal respecto de cuándo estará disponible un nuevo diseño, y permitirá la planificación para agotar el inventario del diseño anterior para minimizar los problemas de inventario obsoleto.
- La PRD tiene la capacidad de incorporar los movimientos estratégicos de la empresa, como promociones y campañas de publicidad. Esto permite que la compañía tenga una mejor visión del impacto de sus acciones sobre los sistemas de distribución.

TÉRMINOS CLAVE

Administración de cadena de suministro

Inventario administrado por el proveedor

Lista de distribución
MRO
PRD

RESUMEN

Este capítulo proporciona información básica sobre la importancia y las características de dos

funciones delimitantes clave que vinculan la planificación y el control con las organizaciones ex-

teriores: compras y distribución. Cada una de estas áreas representa una fuente de información vital que el sistema de planificación y control utiliza, y ambas deben tomarse en consideración

al diseñar un sistema. Los enfoques modernos han fortalecido y formalizado las relaciones entre organizaciones, en un concepto denominado administración de la cadena de suministro.

REFERENCIAS

- Heinritz S., P. Farrell, L. Giunipero, y M. Kolchin, *Purchasing: Principles and applications* (8a. ed.). Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1991.
- Leenders, M. R., H. E. Fearon, y W. B. England, *Purchasing and Materials Management* (9a. ed.). Homewood, Illinois: Irwin, 1989.
- Ross, D. F. *Distribution: Planning and Control*. Nueva York: Chapman & Hall, 1996.
- Schonsleben, P., *Integral Logistics Management*. Boca Ratón, Florida: St. Lucie Press, 2004.
- Vollmann, T. E., W. L. Berry, y D. C. Whybark, *Manufacturing Planning and Control Systems*. Nueva York: Irwing McGraw-Hill, 1997.

PREGUNTAS Y PROBLEMAS DE ANÁLISIS

1. Explique en qué podría diferenciarse la asociación con los proveedores en el caso de una empresa de producción esbelta y en el caso de otra que utiliza un sistema estándar *push* (MRP, por ejemplo).
2. En el caso de los sistemas que utilizan MRP o ERP, ¿de dónde provienen las entradas del sistema de compras para las partes de producción? ¿Qué sucede con el material de MRO?
3. Un producto con demanda independiente tiene un costo unitario de \$50. El costo de pedido es \$41 por unidad. El costo de mantenimiento de inventario anual es de 15% del costo del artículo al año. La demanda anual promedio es de 75,000 unidades. El proveedor ha ofrecido cobrar solamente \$49 por artículo si se ordenan al menos 2,000 unidades a la vez. ¿Se debe aceptar el precio de descuento o no? Explique su respuesta.
4. Explique de qué manera los métodos de producción esbelta podrían modificar los métodos de distribución.
5. Una compañía tiene un almacén central en Chicago, desde donde se abastece la demanda de tres sucursales: una en Baltimore, otra en Nueva Orleans y una más en Cleveland. Las siguientes tablas proporcionan los datos que podrían ser útiles:

Almacén	Inventario de seguridad	Tiempo de espera	Cantidad de pedido	Disponibilidad
Baltimore	50	2 periodos	350	250
Nueva Orleans	100	1 periodo	200	150
Cleveland	80	2 periodos	500	200
Chicago	200	2 periodos	1500	750

Requerimientos brutos para las sucursales del almacén:

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Baltimore	100	80	150	90	100	85	110	120	100
Nueva Orleans	70	65	75	50	90	80	75	80	55
Cleveland	110	90	65	135	85	70	140	100	60

Utilice la información para determinar los registros PRD para los cuatro almacenes.
¿Qué problemas observa? ¿Cómo manejaría esos problemas?

6. La compañía Acme ofrece un precio de descuento por ordenar varillas en las siguientes cantidades:

De 0 a 50	\$22
De 51 a 200	\$21.50
Más de 200	\$21.20

La compañía Ace utiliza las varillas, y tiene los siguientes datos de inventario:

Costo de mantenimiento	23% del costo del artículo por año
Costo de pedido	\$19 por pedido
Demanda anual	8,000 unidades

Calcule el número de varillas que Ace debe ordenar a la vez para obtener el costo total más bajo.

7. La compañía BriteLite compra actualmente 20,000 bases para lámpara al año a la compañía Baseless. BriteLite reconoce un costo anual de sostenimiento de 20% y un costo de \$15 por pedido. Actualmente se ordena la CEP y se paga un precio de \$1.20 por base. La compañía Baseless ha ofrecido un precio de \$1.10 por base si se le ordenan al menos 3,000 unidades a la vez. ¿BriteLite debe aceptar la oferta?

CAPÍTULO 12

Integración e implementación del sistema

Esquema del capítulo

- 12.1 Selección y diseño general del sistema
- 12.2 Sistemas *push*, *pull* o una mezcla de ambos
- 12.3 Métodos generales de implementación

Introducción– Aun cuando este libro ha presentado únicamente los conceptos fundamentales de la planificación y el control, es obvio que existen otros factores que pueden tener enorme importancia en el diseño e implementación, mismos que deben tenerse en cuenta si se desea seleccionar el sistema apropiado para cada entorno de operación específico. Además, la implementación correcta del método que se selecciona es otra actividad crucial que debe planificarse y ejecutarse de manera cuidadosa.

Este capítulo resume muchos de los puntos fundamentales que tienen relación tanto con la selección como con la implementación del sistema de planificación y control; como se ha reiterado, es preciso que ambos factores se diseñen para satisfacer las necesidades y restricciones de recursos de la organización individual.

12.1 SELECCIÓN Y DISEÑO GENERAL DEL SISTEMA

Antes de decidir cualquier asunto significativo respecto del diseño del sistema, es muy importante desarrollar una estrategia integral de operaciones. Básicamente, el objetivo de la estrategia de operaciones estriba en dar soporte a la estrategia general de la empresa; si la empresa desea colocarse en la posición competitiva más favorable, es necesario que la estructura y la infraestructura de las operaciones estén alineadas con las fuerzas de mercado y con la mezcla de mercado del producto elegido. Esto se puede lograr si se entiende qué son los calificadores de pedidos y los generadores de pedidos, tema que se analizó en el capítulo 1. Respecto de los calificadores de pedidos, el diseño debe realizarse a partir del reconocer la enorme importancia que tiene cumplir (por lo menos, aunque sería mejor exceder) las expectativas mínimas del mercado; en relación con los generadores de pedidos del mercado, lo mejor es desempeñarse en un nivel superior. Como resulta casi imposible tener la mejor posición del mercado en todas y cada una de las dimensiones de la competencia, el diseño deberá mantener un

equilibrio basado en la comprensión de estas fuerzas del mercado. En las siguientes secciones —en la cuales se analizarán algunas de las alternativas de diseño— haremos referencia a las fuerzas del mercado a las que cada opción de diseño se ajusta con mayor efectividad.

En primer lugar, existen algunos problemas más bien “universales” que deben tomarse en consideración en casi cualquier entorno. Éstos se analizarán en el contexto de los primeros capítulos del libro:

- **Planificación de ventas y operaciones.** Esta actividad debe realizarse en prácticamente todos los entornos de producción, incluso en aquellos que se implementan para la generación de servicios. Recuerde que el propósito principal de la actividad consiste en planificar los recursos de la empresa con el respaldo de (y en conjunto con) la estrategia, los planes de negocio y los planes de marketing/ventas. Los principales problemas de diseño en este rubro son la longitud del horizonte de planificación y el nivel de detalle que requiere el plan. Una vez que se entienden las necesidades y las restricciones de recursos fundamentales para los mercados, productos y fuerzas de mercado (generadores y calificadores de pedidos), los factores de tiempo y detalle resultarán bastante obvios. En general, el horizonte de tiempo debe ser lo suficientemente amplio para que los recursos planificados puedan considerarse realmente variables. En las industrias de servicios, que requieren recursos fáciles de obtener, ese horizonte de tiempo puede ser muy corto; en contraste, en los entornos de manufactura suele ser de varios meses, y hasta años. De manera similar, el nivel de detalle debe poder distinguir —por lo menos— entre diferentes tipos de recursos necesarios, incluyendo habilidades de mano de obra, material y equipo.
- **Pronóstico.** La decisión de realizar proyecciones o no se basa en un factor muy simple, pero fundamental: ¿el tiempo de espera acumulado del producto o servicio excede el tiempo de entrega esperado por el cliente? Si la respuesta es “sí” (lo cual sucede en casi todas las operaciones), la producción y/o entrega de suministros debe comenzar antes de que se conozca la demanda, lo cual implica la necesidad de contar con un pronóstico. Desde ese punto de vista, lo único que queda por determinar es el tipo de pronóstico utilizado, el horizonte de tiempo que éste tomará en cuenta y el nivel de detalle requerido. Si, por ejemplo, lo que se necesita es pronosticar los requerimientos de capacidad, casi siempre se precisará menos detalle, a diferencia de lo que ocurre cuando se necesita suministrar un componente único y con tiempo de espera largo para un producto en particular. El horizonte de tiempo es, más que nada, una función de qué tan a futuro habrá de comenzar la producción, lo cual se relaciona —por supuesto— con el tiempo de espera acumulado. El nivel de detalle necesario y (en alguna medida) el horizonte de tiempo deben proporcionar una señal del tipo de modelo de pronóstico elegido. Para un análisis más detallado del tema, consulte el capítulo 2.
- **Programación maestra.** Toda operación, sin importar si es grande o pequeña, de servicio o de manufactura, cuenta con un programa maestro. La diferencia estriba en qué tan formal o informalmente está desarrollado, qué estructura utiliza y el horizonte de tiempo que contempla. Por ejemplo, en las organizaciones de servicio (sobre todo si son pequeñas) el programa maestro podría estar sólo en la mente del administrador y cubrir únicamente algunas horas. En el capítulo 4 se propor-

ciona un análisis integral de algunas de las opciones de estructura y horizonte de tiempo para el diseño del programa maestro.

- **Inventario.** En sentido genérico, toda organización —ya sea de servicios o de manufactura— maneja un inventario. Ya que todas las empresas basan su operación en una serie de procesos, las “unidades de flujo” que tienen un valor agregado por las actividades del proceso son, en realidad, unidades de inventario. Sin importar si dichas unidades son bits de información, pedazos de papel o personas, siguen siendo susceptibles de “administrarse”, planificarse y controlarse mediante algunos de los principios fundamentales que se mencionan en el capítulo 5. Si la empresa enfrenta fuerzas de mercado en relación con la entrega, resulta especialmente importante considerar el inventario. Recuerde que la ley de Little relaciona el inventario (I) con la tasa de producción (R) y el tiempo de rendimiento (T) en la relación $I = RT$. Por lo tanto, los principios para controlar el inventario que se analizaron en este libro permitirán que la empresa determine la velocidad de entrega y la confiabilidad con mucha más eficacia.
- **Capacidad.** La capacidad es otro de los factores de planificación y control que se presenta en los entornos de producción de todos tipos y tamaños. Ninguna empresa puede producir los bienes y servicios que se le demandan si no cuenta con la cantidad y el tipo de capacidad apropiadas. El exceso de capacidad también puede ser un problema, ya que las estructuras de costos podrían excederse. Los aspectos más importantes son, una vez más, el nivel de detalle y el tiempo de los requerimientos de la capacidad. Por fortuna, si la empresa hace un buen trabajo de planificación de ventas y operaciones, e implementa correctamente dicho plan y su programa maestro, la capacidad puede planificarse de manera muy fácil y efectiva. El capítulo 7 proporciona más detalles respecto de cómo utilizar la producción del programa maestro para facilitar la planificación y administración de la capacidad.
- **Actividad de producción.** También es un aspecto universal que se presenta en todos los entornos de producción, ya que las empresas necesitan contar con algún tipo de forma de medición y control de sus actividades de producción. Una cuestión importante inherente al diseño y la selección del sistema de programación para el control de la actividad de producción, es la existencia y tipo de un sistema de ejecución y planificación detallada. Si, por ejemplo, un sistema MRP (o ERP) se utiliza para planificar y ejecutar la producción, el programa de control de la actividad de producción estará basado en una fecha de vencimiento. Por otro lado, los sistemas *pull* que suelen utilizarse en los entornos de producción esbelta (JIT) establecerán fundamentalmente un sistema de programación basado en el modelo “primero en llegar, primero en ser atendido”. Los demás tipos de sistemas de programación con asignación de prioridades sólo son una alternativa en los entornos de producción donde no existe un sistema integrado de planificación/ejecución, como MRP o *kanban*; sin embargo, la tendencia es integrar todos los tipos de sistemas de control de la actividad de producción (CAP) con los sistemas de planificación.
- **Teoría de restricciones.** Toda organización que procesa algún insumo (entrada) para generar un producto (salida) definido, tendrá algún tipo de restricción (como se define en el capítulo 10) que afectará la totalidad de sus operaciones. Los con-

ceptos desarrollados en el capítulo 10 son válidos en muchísimos casos, incluso si la operación tiene procesos muy estables y demanda predecible. La razón es, evidentemente, que los factores normales de variabilidad del proceso confundirán cualquier intento de proporcionar un balance perfecto al sistema de producción. Por otro lado, la implementación de la TDR presenta cierta dificultad si la mezcla de producto cambia con frecuencia, o si la operación se realiza principalmente en un entorno de fabricación bajo pedido. No es que las restricciones no existan bajo estas condiciones, sino que la gran mezcla de requerimientos de producción puede ocasionar que la restricción se desplace de un proceso hacia otro con una frecuencia que frustraría cualquier intento de aplicar los métodos reseñados en el capítulo 10.

12.2 SISTEMAS PUSH, PULL O UNA MEZCLA DE AMBOS

Aunque en la sección anterior se mencionaron algunos factores comunes a todos los entornos de producción, es necesario hacer un análisis y selección específicos para determinar los patrones de comunicación a utilizar en un entorno de producción integrado. Las dos versiones “puras” que hemos comentado a profundidad son el sistema push, representado por MRP (capítulo 6), y el sistema pull, representado por *kanban* (capítulo 9).

Sin embargo, MRP tiene una desventaja: exige la recolección de datos oportunos y precisos, y requiere una infraestructura computacional robusta. Esas necesidades pueden ser complicadas y costosas para las compañías (de hecho, muchos años de experiencia han probado que los sistemas formales MRP no son baratos ni fáciles de implementar), y tanto el costo como el esfuerzo se incrementan a medida que los sistemas se vuelven más integrados (como evidencian los sistemas ERP). Sin embargo, una vez implementados de manera correcta, proporcionan la capacidad de planificar y ejecutar eficazmente la producción en entornos muy volátiles, representados por una o más de las siguientes condiciones:

- Cambios frecuentes en el diseño
- Cambios en la demanda del mercado
- Muchos productos con demandas volátiles o pequeñas

En general, se dice que cuanto mayor es la incertidumbre y la volatilidad en el entorno, el sistema *push* (MRP, por ejemplo) será más efectivo y previsor, proporcionando una buena planificación y un apropiado control. Entre más se desplace el producto o servicio hacia una etapa madura con diseños estables, demanda más alta y predecible, y mayor sensibilidad respecto de los costos, habrá más probabilidad de que el MRP represente un “exceso” de datos pudiendo, de hecho, obstaculizar el control de costos y la velocidad de entrega apropiados.

Los sistemas *pull* puros, como *kanban*, representan el otro extremo del espectro de producción. Operan de manera muy efectiva con eficiencia de bajo costo en entornos que tienen diseños y demandas muy estables, y cuando se combinan con otros principios de producción esbelta pueden generar la producción de manera muy efectiva en relación con los costos, con una adecuada velocidad y confiabilidad de entrega.

Sin embargo, lo cierto es que pocos entornos de producción reúnen las condiciones para ubicarse en uno u otro de los extremos. Lo que complica todavía más este asunto, es que la mezcla de mercados y los entornos de producción de muchas empresas de manufactura dificultan la selección de un sistema “puro”. En consecuencia, numerosas organizaciones han desarrollado sistemas “híbridos” que les permiten aprovechar ciertos factores y fortalezas de ambos tipos de sistemas, dependiendo de sus entornos. Las siguientes secciones describen brevemente algunos de los sistemas que se han utilizado con éxito.

Sistema híbrido #1: MRP con principios de producción esbelta

A medida que nos alejemos de los entornos muy volátiles —en donde el sistema MRP se adapta muy bien— comenzaremos a percibir cierta “relajación” de la volatilidad. Los patrones de demanda empezarán a ser más estables, y los cambios de diseño serán menos frecuentes y radicales. En este sistema sigue existiendo un nivel de volatilidad que demanda planificación y ejecución mediante MRP, pero como resulta evidente que habrá cierto grado de estabilidad, quizá podamos utilizar algunos de los principios de la producción esbelta. La reducción de configuraciones para disminuir los tamaños de lote y las inversiones en inventario pueden comenzar a tener sentido aquí, así como algunos de los cambios en la distribución y la creación de relaciones con los proveedores, mismos que pueden aportar grandes beneficios en tiempo, costo y calidad. También pueden utilizarse herramientas de control estadístico de procesos para lograr beneficios adicionales en la calidad.

Sistema híbrido #2: Kanban con planificación MRP

Este sistema utiliza la lógica MRP, de una forma que permite realizar con eficacia cambios planificados en el diseño, y proporciona, al mismo tiempo, algunos de los beneficios de los sistemas *pull*. Tiende a utilizarse donde se presenta alguna mejoría en la volatilidad de la demanda. Este método se basa en programar el sistema MRP para que tome en cuenta un periodo específico (de 2 a 3 semanas, por ejemplo), para determinar el componente de demanda total durante el mismo y calcular el número de tarjetas *kanban* requeridas mediante la fórmula que se proporcionó en el capítulo 9. El sistema arrojará dos resultados principales para ese periodo: una impresión del número de tarjetas *kanban* calculado y una lista estándar de despacho (el producto normal de los sistemas MRP). Tanto la lista de despacho como las tarjetas *kanban* impresas se envían al centro de trabajo, que está autorizado para producir una parte sólo si existe una tarjeta *kanban* disponible y si el número de parte forma parte de la lista de despacho. Consideremos por separado cada uno de los dos escenarios:

- El número de artículo se encuentra en la lista de despacho, pero no hay una tarjeta *kanban* disponible. En este caso se sabe que la parte se necesitará (ya que está en la lista de despacho), aunque el hecho de que no haya una tarjeta *kanban* disponible indica que la parte no ha sido utilizada aún. Producir la parte sin una tarjeta *kanban* “libre” sólo dará lugar a un exceso de inventario antes de que sea necesario, en algunos casos en detrimento de otra parte que se necesite.
- Hay una tarjeta *kanban* disponible para el artículo, aunque la parte no esté señalada en la lista de despacho. En este caso, la parte está siendo utilizada, como lo indica el hecho de que hay una tarjeta *kanban* disponible. Sin embargo, si se está

realizando un cambio de diseño en la parte, aquellas unidades de la misma que se hayan producido con el diseño anterior deberán eliminarse gradualmente para impedir el inventario obsoleto. Ésta es la razón por la que no aparece en la lista de despacho: a pesar de que se está utilizando el diseño antiguo, no se debe reemplazar. Otra situación donde esto podría suceder es cuando la única demanda futura para el componente se puede satisfacer directamente del inventario existente. En este caso el reemplazo del inventario utilizado (como indica la etiqueta *kanban* disponible) sólo producirá más inventario que tal vez no se empleará durante mucho tiempo, o quizá nunca.

Sistema híbrido #3: Uso de MRP para la capacidad y para artículos con tiempos de espera amplios

Este sistema tiende a utilizarse donde el diseño del producto es relativamente estable, pero los patrones de demanda siguen siendo muy volátiles como para permitir el uso de un sistema *pull* puro. Si fueran demasiado volátiles, tendría que utilizarse el sistema #1, pero como son fluidos se puede considerar este sistema. En él se emplean controles *pull* de la producción (como *kanban*) en conjunto con el sistema MRP para planificar tres aspectos de la producción:

- Artículos con tiempos de espera amplios. Es posible que el reemplazo de algunas partes —en especial aquellas que se compren a terceros— exija una cantidad de tiempo excesiva. Si la demanda es errática, es probable que un sistema *pull* puro (el cual supone una frecuencia de reemplazo muy estable) ocasione problemas de desabasto. El sistema MRP puede proyectar la necesidad de estos artículos y alertar a los proveedores acerca de la cantidad apropiada de reemplazo.
- Requerimientos de capacidad. Al cambiar la demanda y la mezcla de demanda, podrían necesitarse diferentes niveles y distintos tipos de capacidad. El sistema MRP se puede utilizar para planificar dichas planificaciones.
- Número de tarjetas *kanban*. Por una parte, la demanda impactará el número de tarjetas *kanban* necesarias para el sistema (a partir de la fórmula que se señaló en el capítulo 9). El sistema MRP puede proyectar la demanda que tendrá cada componente a lo largo de un periodo específico, lo que permitirá calcular el número de tarjetas *kanban* necesario para satisfacerla.

Sistema híbrido #4: Sistema *pull* con un control MRP de “picos”

Este sistema puede considerarse como un caso especial del sistema híbrido #3. A medida que el ambiente se acerca más a patrones de demanda estable, sigue existiendo la posibilidad de que en alguna ocasión se necesite inventario y/o capacidad extra. La estacionalidad, las campañas de publicidad y las promociones de marketing son ejemplos de acciones que pueden producir un “pico” en la demanda, aunque situaciones similares podrían presentarse también como eventos aleatorios. El sistema MRP se puede utilizar para proyectar tales picos, a pesar de que el entorno normal es lo suficientemente estable para permitir el uso de controles de producción *pull* puros en escenarios normales.

FIGURA 12.1 Uso de los sistemas híbridos

Frecuencia/magnitud de los cambios de diseño

		Bajo	Alto
Volatilidad de la demanda	Bajo	Sistema híbrido #4	Sistema híbrido #2
	Alto	Sistema híbrido #3	Sistema híbrido #1

La figura 12.1 resume el uso más común de los sistemas híbridos que hemos descrito.

Enfoque en la “personalización”

En algunos aspectos, la alternativa de la “personalización” (o desarrollo de artículos adaptados a solicitud del cliente) toma prestados algunos elementos de la teoría de restricciones y ciertos conceptos del método *front office/back office* que se ha empleado eficazmente durante varios años en la industria de servicios. En el enfoque *front office/back office*, el *front office* (atención hacia el exterior de la empresa) está diseñado para entender las necesidades de los clientes y para establecer comunicación directa con ellos, mientras que el *back office* (atención hacia el interior de la empresa) tiene como objetivo lograr una producción efectiva y eficiente. Un buen ejemplo podría ser la actividad de servicio automotriz de un concesionario importante. Cuando el cliente lleva su automóvil a servicio, comunica sus necesidades a un representante de servicio al cliente (*front office*). Sin embargo, es probable que el cliente nunca sepa quién fue en realidad el encargado de realizar el servicio a su automóvil, ni cuándo. El *back office* es invisible al cliente.

Tomando “prestados” algunos elementos de ese sistema, la empresa de manufactura puede determinar el punto de personalización, es decir, el punto más avanzado en el sistema de producción donde los requerimientos de diseño del producto del cliente individual tendrán un impacto. Una vez que ese punto se determina, es posible construir un respaldo de inventario, un respaldo de capacidad o una combinación de ambos para evitar que la parte “superior” del sistema de producción se vea afectado por las incertidumbres que implican los requerimientos de diseño del cliente. El propósito de este respaldo consiste, esencialmente, en absorber las variaciones de diseño para que todos los procesos ascendentes a partir de ese punto sean administrados de manera eficiente. Para ser más específicos:

- Parte inferior a partir del respaldo. Son los procesos sujetos a variaciones de diseño, ocasionadas por solicitudes específicas del cliente. Estos procesos necesitan

centrarse en el cliente y en sus solicitudes de diseño. Como en casi todos los entornos estas solicitudes están rodeadas por gran incertidumbre, se espera un exceso de capacidad para cada proceso, y será más apropiado implementar un sistema previsor como MRP. En este caso el enfoque general es el servicio al cliente.

- Parte superior a partir del respaldo. En estos procesos la volatilidad de las solicitudes de diseño del cliente está protegidas —en cierta medida— por el respaldo de capacidad o de inventario. Su objetivo principal es reemplazar el producto de respaldo que se utiliza. Al haber estabilidad y predicción en el diseño, los sistemas *pull* pueden ser muy apropiados para minimizar costos e incrementar la velocidad de reemplazo. Además, una vez que se establece la barrera, estos procesos superiores deben ser mejorados para permitir un efectivo servicio al cliente, con menos exceso de inventario o de capacidad en el respaldo protector.

12.3 MÉTODOS GENERALES DE IMPLEMENTACIÓN

En la última década se han presentado muchos avances que han cambiado la manera en que las organizaciones diseñan y utilizan los sistemas de control y planificación. Algunos de los más significativos son:

- El aumento de las organizaciones de servicio, tanto en número como en tamaño.
- Los cambios en la fabricación, que han provocado que se emplee mucho menos personal manteniendo, al mismo tiempo, el mismo porcentaje relativo de Producto Interno Bruto. Esto es resultado, principalmente, de las ventajas que se han obtenido en materia de productividad y automatización de operaciones; no obstante, al haber menos personal la exigencia sobre la fuerza de trabajo restante es diferente y más grande.
- La creciente competencia global, que permite más oportunidades para participar en nuevos mercados, pero implica el riesgo de enfrentar nueva competencia. El resultado ha sido una necesidad continua y creciente de capacidad de reacción ante los clientes y reducciones de costos en productos y servicios.
- La combinación de incrementos continuos y rápidos en la capacidad de hardware y software para computadoras, y la reducción en los precios del hardware, ha permitido que su uso se difunda cada vez más.
- Las nuevas tecnologías han provocado rápidos incrementos en la tasa de cambios de diseño, tanto del proceso como de los productos.
- Internet ha permitido el desarrollo de nuevas formas de comunicación y de recopilación de información.

Los sistemas de planificación y control han respondido a la necesidad de contar con mejor información, más oportuna y extensa, para manejar las rápidas tasas de demanda del cliente y los cambios en materia de competencia. Los proveedores de software y las compañías no sólo han podido combinar algunas de las mejores características de MRP y JIT, sino que también los sistemas de planificación y control basados en MRP se han vuelto más integrados y efectivos. Los avances más recientes en este

sentido han sido englobados, en general, en lo que se conoce como ERP (*Enterprise Resource Planning*, o planificación de recursos empresariales).

Como se mencionó antes, previamente a la implementación de cualquier tipo de sistema es muy importante realizar el diseño apropiado. Para ello es necesario establecer una inteligente estrategia de operaciones y de negocio, en la que se aborden temas como:

- Factores relacionados con el cliente
 - Volatilidad de los patrones de demanda
 - Influencia del cliente en el diseño del producto (por ejemplo, MTS, ATO, MTO —vea el capítulo 1—)
 - Expectativas de tiempo de espera para entrega
 - Problemas de comunicación con el cliente, como estado del pedido
- Factores relacionados con el diseño/ingeniería del producto
 - Estructura de la lista de materiales
 - Procedimientos de cambio en el diseño de ingeniería
- Requerimientos de procesamiento
 - Métodos respecto de la capacidad: flexibilidad y respaldos de capacidad
 - Detalles requeridos para el control de la actividad de producción
 - Oportunidad de los flujos de información
 - Expectativas de cambio en los planes: frecuencia y magnitud
 - Resultados necesarios con base en la información: reportes administrativos, contables, etcétera.
 - Políticas administrativas respecto de la administración del inventario
- Expectativas de desempeño del sistema

En general, el sistema de planificación y control debe seleccionarse/diseñarse buscando que cumpla las necesidades y expectativas de la organización, proveedores y clientes, con tanta exactitud como sea posible. Si bien el sistema de planificación y control debe cumplir los requerimientos, es preciso tener cuidado de evitar que los exceda. Un sistema así podría ser más costoso, más complejo y, de hecho, resultar dañino para el desempeño efectivo en relación con las necesidades esperadas. En cualquier caso se debe realizar un análisis completo costo-beneficio para garantizar el compromiso de los directivos superiores y de otros miembros clave del personal de la organización.

Principales pasos en el proceso de implementación

El sistema de planificación y control generalmente se selecciona y/o diseña con base en cómo debe funcionar la organización, aunque esto algunas veces es muy diferente de cómo funciona en realidad. Es evidente que la implementación de los sistemas de planificación y control más modernos se realiza mediante computadoras y, por lo tanto, que existe la necesidad de que un grupo de sistemas de información trabaje en la comprensión de los requisitos de software, bases de datos y comunicaciones, así como de hardware. Sin embargo, por lo general es un error concebir la implementación de un sistema integrado de planificación y control —un ERP, por ejemplo— como un proyecto de sistemas de información.

Mientras se analizan y desarrollan las necesidades del sistema de información, es preciso revisar y modificar (según sea necesario) por lo menos dos áreas principales para apoyar el sistema de planificación y control. De hecho, en el caso de muchas organizaciones es posible que ambas áreas necesiten mejoras que superarán por mucho los requerimientos de costo, esfuerzo y tiempo de parte de los sistemas información del proyecto. Esas dos áreas son los procesos de negocio y la precisión de las bases de datos.

Procesos de negocio

Muchas compañías han desarrollado sus procesos de negocio a lo largo de sus años de crecimiento. Tales procesos tienden a desarrollarse como respuesta a una crisis o alguna situación especial, y es frecuente que no se les analice ni modifique después de que la situación cambie o haya sido eliminada. El crecimiento de procesos sin una buena perspectiva estratégica y de sistemas muchas veces “aísla” las actividades, dificultando la comunicación entre ellas hasta el punto de volverla ineficiente e inefectiva.

Una vez que la dirección y las prioridades estratégicas de la empresa han sido desarrolladas y traducidas en acciones y políticas específicas, se requiere realizar una esquematización completa de los principales procesos operativos y de negocio, tanto para departamentos específicos como para la organización en general. La esquematización (o mapeo) de procesos debe, si se realiza correctamente, señalar claramente en dónde es preciso efectuar mejora de procesos o incluso reingeniería de procesos. Como se sugirió antes, en el caso de muchas organizaciones este análisis y las acciones subsiguientes de mejora de procesos están muy lejos de ser actividades triviales. En la actualidad, el concepto de esquematización de la cadena de valor —mencionado en capítulos anteriores— es muy utilizado también por numerosas empresas. Aunque se le desarrolló originalmente como parte del método de producción esbelta, sus conceptos son lo bastante universales para darnos ideas de implementación en cualquier operación.

Es importante observar aquí que el método apropiado de selección de software para un sistema de planificación y control se basa —por lo general— en las necesidades y en los procesos internos de la organización. Por lo general no es recomendable elegir el sistema de planificación y control para después forzar la adecuación de los procesos de la organización al software. Esto implica que el análisis de procesos y las mejoras deben aplicarse antes de cualquier evaluación y selección de software.

Precisión de base de datos

Esta área se encuentra muy relacionada con la actividad de mejora de procesos de negocio, toda vez que la información incluida en las bases de datos casi siempre es generada por la actividad que se realiza en los procesos específicos de negocio de la organización. Por supuesto, cabe esperar que la información resultante de los procesos será más oportuna y exacta a partir de las mejoras implementadas en los mismos.

Por desgracia, es absurdo creer que los procesos puedan ser perfectos todo el tiempo y, como la información precisa y oportuna resulta tan importante para la operación efectiva de un sistema altamente integrado, se requieren otras medidas. Por ejemplo, debe establecerse (si no lo hay) un sistema formal de auditoría y mejora de procesos transaccionales para cada una de las bases de datos. En caso de que tal tipo de auditoría ya se haya implementado, será preciso analizarlo y mejorarlo según se requiera en el contexto del desarrollo de un proceso de negocio global como el que hemos venido mencionando. Los programas de conteo de ciclos son un ejemplo de un

sistema formal de este tipo, que ha sido utilizado con éxito para lograr la exactitud de la información de inventario.

Prácticamente todas las bases de datos en operación deben ser parte de este análisis formal para la actividad de mejora. Es probable que cada una tenga diferentes métodos de auditoría, mejora y control de procesos, así como distintas responsabilidades funcionales, aunque todas tienen que ser exactas. Algunas de las bases de datos clave incluyen (pero no necesariamente están limitadas a):

- Inventario, incluyendo niveles y ubicaciones del inventario de materia prima, trabajo en proceso y productos terminados.
- Listas de material y descripción de trayectorias del mismo (ruteo), incluyendo procedimientos de cambio de diseño.
- Otra información de ingeniería, incluyendo tiempos de configuración, programas de mantenimiento e inventario de herramientas y aditamentos.
- Información de contabilidad y costos, incluyendo datos relativos al costo de productos y estándares de trabajo.
- Archivos maestros de artículos o componentes, incluyendo información de tiempos de espera y proveedores.
- Información de ingreso de pedidos, incluyendo todos los pronósticos y pedidos de cliente.
- Bases de datos de proveedores, incluyendo aquellos cuyos tiempos de entrega para reabastecimiento hayan sido aprobados.
- Información de clientes, incluyendo datos de contacto y cualquier información de pedidos.
- Información de estado de pedidos de producción, incluyendo ubicación, trabajo completado, trabajo restante y cualquier problema de rechazo por falta de calidad.
- Sistemas de información de trabajadores, incluyendo tiempos de producción, habilidades de los trabajadores y ausentismo.

Desarrollo del proyecto de implementación

Es evidente que para muchas organizaciones la implementación de un sistema integrado implica que los métodos para conducir el negocio tendrán que cambiar. Por lo tanto, será preciso que muchas personas involucradas en la organización desarrollen nuevas actitudes y expectativas. Por fortuna, la implementación a gran escala de un sistema de producción y control provocará una expectativa de cambio en la mente de casi todo el personal, permitiendo mayor receptividad cuando se realicen los cambios asociados. En cualquier caso, todos los aspectos asociados con los procesos deben evaluarse también como parte del análisis del negocio. Esto incluye:

- Diseño de tareas. Las habilidades requeridas y la asignación de los trabajadores a los procesos.
- Evaluación de desempeño. Los parámetros de desempeño deben alinearse con las prioridades establecidas en la estrategia de operación, y con las prioridades de diferentes pedidos de los clientes.
- Sistemas de medición. Las mediciones deben reflejar las prioridades de la organización. Deben ser claras e integrales, aunque también es necesario que su canti-

dad sea limitada para evitar confusión en cuanto a las medidas que son realmente importantes.

- **Puntos de reporte.** Debe haber un establecimiento claro de los lugares donde se va a recabar la información en el proceso, así como quién, cómo y con qué frecuencia la recopilará.
- **Sincronización del flujo de información.** No sólo se refiere a qué tan seguido se recopilará la información, sino también en dónde se utilizará y con cuánta frecuencia.
- **Estructuras organizacionales.** Identificación de responsabilidades funcionales, canales de información de resultados y responsabilidades de comunicación.
- **Canales de comunicación,** tanto internos como externos, para los proveedores y clientes.

Existen otros factores importantes para lograr un proyecto de implementación exitoso, por ejemplo:

- ***Elección de un líder de proyecto y de su equipo.*** En casi todas las organizaciones, el líder de proyecto debe estar casi exclusivamente dedicado a su desarrollo. Por supuesto, en las organizaciones de mayor tamaño tanto el líder de proyecto como su equipo deben estar cien por ciento dedicados a él. El líder de proyecto no debe ser un directivo superior, pero es preciso que ocupe una posición lo suficientemente alta en la jerarquía de la organización para haberse ganado cierto grado de respeto y, por supuesto, también debe tener un buen conocimiento acerca de la organización y sus actividades. Los principales equipos de proyecto deben estar limitados en cuanto al número de sus miembros (por lo general deberán constar de entre cinco y siete personas) para que sean más manejables. Es posible formar varios subequipos con tareas de implementación específicas; sus miembros deberán reportar al equipo principal. Asimismo, es preciso formar un equipo de dirección, conformado por directivos de alto nivel dentro de la organización, para que supervisen el proyecto y puedan deshacer los bloqueos organizacionales, en caso de que ocurran. Las áreas funcionales que se deben considerar para una importante participación en los equipos de proyecto incluyen la programación maestra, el control de la producción, la administración de materiales, contabilidad, ventas, compras e ingeniería.
- ***El compromiso de la dirección es fundamental.*** Antes que nada, es preciso que la dirección demuestre su compromiso mediante el desarrollo de un análisis detallado costo-beneficio. Al término de la implementación del proyecto, deberá proporcionar una visión del desempeño de la operación correspondiente. Es muy importante que el equipo de dirección desarrolle metas realistas, establezca un programa objetivo y garantice que la cantidad apropiada de recursos esté comprometida con el plan.
- ***Desarrollo de un plan de proyecto sincronizado de manera realista.*** Un plan de ese tipo deberá poder señalar las necesidades de recursos y la sincronización de las mismas. La organización debe tratar, en lo posible, de hacer que los recursos apropiados estén disponibles de manera que la duración total del plan no sea superior a 12 o 18 meses. Los proyectos de implementación que exceden 18 meses

tienden a perder apoyo, en la medida que el interés de la gente se diluye y el personal se cansa del esfuerzo adicional requerido para implementarlos.

- **Desarrollo de un programa de capacitación.** Prácticamente todo el personal de la organización requerirá capacitación respecto del sistema y de la forma en que se verá afectado por éste y por los cambios en los procesos de negocio que soporta. Cada persona deberá analizar su rol para determinar el tipo y cantidad de capacitación, así como su correcta sincronización.
- **Sea flexible, espere problemas.** Es casi imposible anticipar todos los problemas y obstáculos que acarreará una implementación exitosa. El plan de proyecto debe ser flexible, y el equipo encargado de su implementación deberá estar listo para desarrollar acciones de contingencia cuando surjan los problemas.
- **¿Se debe utilizar un consultor externo?** Aunque el líder de proyecto y los miembros de su equipo cuenten con experiencia y conocimientos, algunas veces es valioso contar con el apoyo de un consultor externo para apoyar al equipo. La principal desventaja de tales servicios es su costo. Además, la elección de un consultor no es un asunto trivial, dada la importancia que tiene conseguir asesoría experimentada en el tipo de proyecto que se está llevando a cabo. Muchas veces un consultor externo apropiado puede aportar las siguientes ventajas al proyecto:
 - Diferentes puntos de vista para resolver problemas con base en su experiencia en otras organizaciones.
 - Generalmente se percibe que carecen de una “agenda política”, lo que hace a su perspectiva más fácil de aceptar para buena parte del personal de la organización. Sin embargo, es importante observar que casi todos los consultores tienen una agenda de negocios, es decir, su intención ulterior será promover sus servicios.
 - No tienen una preocupación acerca del uso de la “cadena de autoridad” cuando manejan cuestiones que requieren atención.
 - Dado que no trabajan directamente en la organización, casi siempre es más fácil que perciban el panorama general. En otras palabras, verán el bosque sin poner demasiada atención a los árboles.
- **Evitar una sustitución prematura del nuevo sistema.** A menudo, cuando las personas aprenden sobre el valor potencial y las características de un nuevo sistema, se muestran ansiosas por utilizarlo. Sin embargo, es necesario mantener la paciencia. La alimentación prematura del sistema dará lugar —muchas veces— a un desastre, lo cual ocasionará que se suspenda su implementación hasta volver a evaluarlo. En esos casos las actitudes se vuelven negativas, y se dificulta el restablecimiento del entusiasmo.

RESUMEN

Aunque la mayor parte del libro se enfocó en sistemas o subsistemas específicos de planificación y control, este capítulo proporciona una visión general de la forma en que tales sistemas se pueden integrar en el entorno organizacional, in-

cluyendo una descripción de cómo los sistemas *push* (MRP, por ejemplo) y los sistemas *pull* (como *kanban*) pueden funcionar conjuntamente para resolver ciertas situaciones que parecen demandar las ventajas de ambos sistemas.

El capítulo también resalta algunos de los aspectos más importantes de la implementación de los sistemas de planificación y control. El alcance de tales implementaciones generalmente

es amplio, y pueden implicar cambios importantes en la estructura e infraestructura de la organización, lo que significa que deben plantearse y administrarse de manera cuidadosa.

PREGUNTAS DE ANÁLISIS

1. Describa la información más importante que debe recopilarse para diseñar un sistema de planificación y control efectivo. Describa por qué esta información es importante y cómo será utilizada para desarrollar el diseño.
2. ¿Qué método cree que deba utilizarse si un sistema de planificación y control ha sido diseñado e implementado, aunque parece “no funcionar bien”? ¿Qué información se debe utilizar para evaluar los problemas?
3. ¿Considera que la teoría de restricciones podría utilizarse con cualquiera de los sistemas híbridos descritos en el capítulo? ¿Por qué?
4. Describa de qué manera el método de planificación y control podría diferenciarse para cada una de las siguientes operaciones. Señale también cómo diferiría el método de implementación en cada caso.
 - a. Una barbería
 - b. Un restaurante
 - c. Una tienda minorista de ropa
 - d. Un pequeño taller mecánico
 - e. Un entorno grande de producción bajo pedido
 - f. Una refinería de petróleo
5. Describa el tipo de datos e información que reuniría para tratar de justificar el costo y el tiempo requerido para implementar un sistema importante de planificación y control.

Índice

A

Acciones correctivas, 191-192; *ver también*
control de la actividad de
producción (CAP)

Actualización de la información, 141-142

Administración

de inventario, 99-123

de la cadena de suministro, 233-234

de la capacidad, 163-178

control de entrada/salida, 171-172

en producción esbelta, 204-205

enfoque general de la, 173-174

medición de capacidad, 172-173

planificación de requerimientos

de capacidad (PRC), 169-171

de la demanda, 89-94

comunicación, 91-92

impacto de los entornos

de operación en la, 92-94

influencia, 92

predicción, 90-91

priorización y asignación, 92

*de la teoría de restricciones (TDR),
221-223*

Administración del inventario, 99-123

categorías de inventario, 101-104

de bienes terminados, 102

de mantenimiento, reparación
y operaciones (MRO), 102

de materia prima, 102

inventario de anticipación, 103

inventario de ciclo, 103

inventario de demanda dependiente,
102

inventario de demanda

independiente, 101-102

inventario de desacoplamiento,
103-104

inventario de respaldo, 103

inventario de tránsito, 102

trabajo en proceso (TEP), 102

conceptos básicos de inventario, 100-101

control de inventario, 112-120

mantenimiento de la precisión

de datos, 114-117

métodos de ubicación para

almacenes y depósitos, 113-114

precisión de registros del

inventario, 117-120

*modelo básico de reorden de inventario
de demanda independiente, 107-112*

*modelo de cantidad económica de
pedido (CEP), 104-107*

Almacenes, métodos para la ubicación de,
113-114; *ver también* Administración
de inventarios

Amortiguador

de tiempo de ensamble, 229

de tiempo de envío, 229

Análisis de procesos y flujos de información,
10-12

análisis y mejora de procesos, 10-11

mapeo de la cadena de valor, 11

mapeo de procesos, 10-11

mejora de procesos, 11

puntos de control y reporte, 10

reingeniería de procesos, 11

Analogía del ciclo de vida, método de
generación de pronósticos, 19-20

Apoyo por computadora para generación
de pronósticos, 38-40

Archivo

de centro de trabajo, 170; ver también

Administración de la capacidad

de información de ruteo, 170

de pedidos abiertos, 169

maestro de artículos, 131

Armado bajo pedido (ATO), entorno 3-4,
78, 83-84, 93, 153
*efecto sobre la administración de la
demanda, 93*
impacto sobre el programa maestro, 78
opciones de planificación, 83-84
*y la planificación de requerimientos
materiales (MRP), 153*

Asignación 147
flexible, 147
*rígida, 147; ver también planificación
de requerimientos materiales (MRP)*

Aspectos cualitativos, en la planificación de
ventas y operaciones (PV&O), 60-63

Aspectos del ambiente de negocios, 9-10
“aprendizaje” del cliente, 9
cambios de diseño del producto, 10
*en la planificación de requerimientos
materiales (MRP), 152-153*
maniobras de competidores, 9
mercados múltiples, 9-10
*para la planificación de ventas y
operaciones (PV&O), 63-64*

Automóviles, influencia del diseño del
cliente en, 3-4

B

Balance de recursos en el PV&O, 54-57

Barrera de tiempo de demanda, 75

Barreras de tiempo, 74-76; *ver también*
Programa maestro
demanda, 75
planificación, 75-76

Base de operaciones, 113-114; *ver también*
administración de inventario

Bases de datos
inexactas, 197, 199
inexactitud de las, 197, 199
precisión de las, 158-159

Bienes terminados, 200

C

Calidad, 2-8
problemas, 196-198
rendimiento, 145-146

Cambio
directivo, 202
neto, 141

Cambios en el diseño, 197, 198
de ingeniería, 146
del producto, 10

CAP, *ver* Control de la actividad de
producción (CAP)

Capacidad
almacenada, 100
definiciones de, 164-165
demostrada, 173
elección y diseño del sistema general de, 251
insensibilidad, 149-150
listas de, 166-168
nominal, 173
restricciones de, 226

Carga, 188-91; *ver también* Control de la
actividad de producción (CAP)
definición de, 164
ejemplo, 190-191
finita, 188-191
horizontal, 190
infinita, 188
vertical, 190

Cartera de pedidos, 49, 56

Categorías de proceso, 4-7
continuo, 5-7
procesamiento por lotes o intermitente, 5
proceso de trabajo, 5
proyecto, 4
repetitivo o procesamiento de flujo, 5
resumen de, 6t

Cliente
“aprendizaje”, 9
contacto, 2

Codificación de bajo nivel, 147-148

Compras
aspectos de la información de, 234-235
de componentes, 191
*descuentos basados en la cantidad
(ejemplo), 236-237*
*en la adquisición de materiales,
responsabilidades de la función
de, 236-238*
tiempo de espera, 127

Compromiso de la dirección general, 149

- Comunicación, elemento de administración de la demanda, 90
- Conceptos de inventario, 100-101
- Conocimiento de usuario, 149
- Constante de suavización, 29
- Conteo de ciclo, 117-120
propósito del, 118-119
ventajas del, 119-120
- Contratar y despedir, 55
- Control
de entrada/salida (E/S), 171-172
de planta, 180
planificación y, 1-15
puntos de control y lotes, 230-231
y puntos de reporte, 10
- Control de la actividad de producción (CAP), 179-194
acciones correctivas, 191-192
carga, 188-191
diseño y elección del sistema general, 251
establecimiento de prioridades, 183-186
información y datos generales, 180-183
introducción al, 179-180
programación, 186-188
- Costos
de no tener inventario, 105
de tener inventario, 104-105
- D**
- Demanda insatisfecha, 53
- Descuentos basados en la cantidad (ejemplo), 236-237
- Desviación media absoluta (MAD), 37-38
- Diagrama de Gantt, 181-183; *ver también* Control de la actividad de producción (PAC)
- Disponibilidad para promesa (DPP) lógica, 80, 93; *ver también* Programa maestro
ejemplo de, 80-83
- División del lote, 191-192
- E**
- Eficiencia, 173
- Empaquetado bajo pedido, 4
- Enfoque en la “personalización”, 255-256
- Entorno de fabricación bajo pedido (MTO), 4, 49-50f, 78, 93-94, 152
efecto en la administración de demanda, 93-94
influencia sobre el programa maestro, 78
visión de la planificación de ventas y operaciones (PV&O), 49-50f
y la planificación de requerimientos materiales (MRP), 152
- Entorno de fabricación para almacenamiento (MTS), 3, 48-49f, 78, 92-93, 152-153
efecto sobre la administración de demanda, 92-93
influencia sobre el programa maestro, 78
visión de la planificación de ventas y operaciones (PV&O), 48-49f
y planificación de requerimientos materiales (MRP), 152-153
- Entorno de ingeniería bajo pedido (ETO), 4, 152
y la planificación de requerimientos materiales (MRP), 152
- Entorno(s) de producción, 3-4
armado bajo pedido (ATO), 3-4, 78, 83-84, 93, 153
fabricación bajo pedido (MTO), 4, 49-50f, 78, 93-94, 152
fabricación para almacenamiento (MTS), 3, 48-49f, 78, 92-93, 152-153
impacto sobre la administración de la demanda, 92-94
ingeniería bajo pedido (ETO), 4, 152
- Entrega, 8
- Error promedio de pronóstico (MFE), 35-37
- Errores, 197, 198-199
de pronóstico, 29, 35-38
desviación media absoluta (MAD), 37-38
error promedio de pronóstico (MFE), 35-37
- Establecimiento de prioridades, 183-186
- Estrategia de combinación para la planificación de ventas y operaciones (PV&O), 53-54
ejemplo de, 59-60
- Estrategias internas, 55

Estructura

de producto, 130

del libro, 12-13

“Explosión” MRP, 131-141

F

Fecha de vencimiento, 183; *ver también*

Establecimiento de prioridades
de trabajo

Fijación de precios, 56

Flexibilidad, 8

Flujos de información

análisis de procesos y, 10-12

general, 12

Fuentes de demanda, programa maestro, 76

Funciones de asociación: compra y
distribución, 233-248

G

Generación de información, 141

H

Holgura por operación, 183; *ver también*

Establecimiento de prioridades

Holgura total, 183; *ver también*

Establecimiento de prioridades

Horizonte de tiempo

*planificación de ventas y operaciones
(PV&O), 64*

planificación, 242

I

Implementación, 256-261; *ver también*

Integración e implementación del
sistema

métodos generales para la, 256-261

principales pasos del proceso de, 257-261

desarrollo del proyecto

de implementación, 259-261

precisión de las bases de datos,
258-259

procesos de negocio, 258

Influencia del cliente en el diseño, 3-4

elección del entorno de producción, 3-4

armado bajo pedido (ATO), 3-4

fabricación bajo pedido (MTO), 4

fabricación para almacenamiento
(MTS), 3

ingeniería bajo pedido (ETO), 4

en automóviles, 3-4

Influencia en la administración de
demanda, 90

Información

generación de, 141

precisión de la, 114-117, 149

Integración e implementación del
sistema, 249-262

diseño y selección del sistema

general, 249-252

métodos generales de

implementación, 256-261

pasos principales en el proceso de

implementación, 257-261

sistemas pull o push, 252-256

Inventario, 3, 56

administrado por el proveedor, 235

diseño y selección del sistema general de, 251

de anticipación, 103

de ciclo, 103

de demanda dependiente, 102, 126;

*ver también Administración de
inventario*

modelos de reorden, 107-112

de desacoplamiento, 103-104

de respaldo, 103

de seguridad, 103, 145, 242

sobre planificación, 91

físico, 117-118

de pared a pared, 117-118

transitorio, 202

Inventario de mantenimiento, reparación y
operaciones (MRO), 102

J

Justo a tiempo (JIT, *Just in Time*), 195-218

K

Kaizen, 11

L

Liberación planificada de pedidos, 133, 241

Lista

de despacho, 181

de distribución (LDD), 240, 243-246

esquemática, 130-131

Lista de materiales, 73, 130-131

uso para la planificación de
requerimientos de distribución
(PRD), 244-246

esquemática de materiales, 130-131

Lotes de transferencia, 231

M

Maniobras de competidores, 9

Mapeo

de cadena de valor, 11, 196

de procesos, 10-11

Materia prima, inventario de, 102

Matriz de producto/proceso

Hayes-Wheelwright, 6, 7f

Mensajes de excepción, 143-144

Mercado

cobertura, 84

condiciones, 196, 198

encuestas, como pronóstico

cualitativo, 19

fuerzas del, 7-9

Mercados múltiples, 9-10

Método

de lote para generación de datos, 141

de nivel para la planificación de ventas

y operaciones, 52-53

ejemplos de, 58-59

*de seguimiento para la planificación de
ventas y operaciones (PV&O), 53*

ejemplo de, 58

*de tambor-amortiguador-cuerda,
228, 231; ver también teoría de
restricciones (TDR)*

pasos para uso del, 231

*Delphi para la generación de pronósticos,
19*

Metodología para desarrollo del programa
maestro, 76, 177

Métodos de análisis de disyuntivas para la
planificación de ventas y
operaciones (PV&O), 51-54

Métodos de ubicación para depósitos y
almacenes, 113-114; *ver también*

Administración de inventario

aleatorio por zonas, 114

aleatorio, 114

base de operaciones, 113-114

Modelo

de distribución ABC del inventario, 118

de simulación, 23

econométrico, 23

entrada/salida, 22

Modelo de cantidad económica de pedido
(CEP), 104-107, 241; *ver también*

Administración de inventario

Modelos

*de inventario basados en cantidad
(revisión continua), 107-111*

*de inventario basados en tiempo,
111-112*

MRO (mantenimiento, reparación y
operación), 234-235

N

Naturaleza *push* de MRP, 150

Nerviosismo del sistema, 88

Nivel de detalle de la planificación de
ventas y operaciones, 63

O

Ofertas en “paquetes”, 57

Operaciones

*de manufactura y operaciones de
servicio, 2-3*

traslape de, 192

P

Patrón

aleatorio, 23

patrón de demanda aleatoria, 24f

de tendencia, 23

ejemplos de tendencias, 24f

- estacional*, 24-25
 - patrón de demanda estacional, 25f
- Pedido
 - calificadores de*, 8
 - cancelación*, 192
 - generadores de*, 8-9
- Pedidos planificados en firme, 88, 147
- Pensamiento no sistémico, ejemplos
 - de, 203-204
- Perfiles de recursos, 168-169
- Periodos, 240
- Planificación
 - agregada*, 45
 - barrera de tiempo*, 75-76
 - capacidad aproximada*, 165-169
 - de disponibilidad*, 240
 - de la capacidad*, 165-166
 - aproximada, 165-169
 - definiciones, 165
 - utilizando factores globales, 165-166
 - de la producción*, 45
 - de personal*, 45
 - de recursos empresariales (ERP)*, 153
 - de requerimientos de distribución (PRD)*, 238-246
 - de requerimientos materiales (MRP)*, 125-161
 - de ventas y operaciones (PV&O)*, 45-70
 - en un ambiente ATO*, 83-84
 - horizonte de*, 73-74; *ver también* Programa maestro, 148
 - lista de materiales*, 83
 - suministro de personal*, 45
- Planificación de recursos empresariales (ERP), 150-152
- Planificación de requerimientos de distribución (PRD), 238-246
 - cálculo básico (ejemplo)*, 242-243
 - en un entorno pull de producción esbelta*, 246
 - estructura básica de*, 240-241
 - requerimientos de información clave*, 241-243
 - uso de la lista de distribución (LDD)*, 240, 243-246
- Planificación de requerimientos empresariales (ERP), 13
- Planificación de requerimientos materiales (MRP), 125-161, 252-256
 - “explosión”*, 131-141
 - actualización de la información*, 141-142
 - antecedentes y conceptos fundamentales*, 126-130
 - aspectos del entorno de negocios*, 152-153
 - con principios esbeltos*, 153
 - de picos, sistema pull con un control*, 254
 - fuentes de demanda*, 144-148
 - generación de información*, 141
 - lista de materiales*, 130-131
 - mensajes de excepción*, 143-144
 - naturaleza push de la*, 150
 - planificación de recursos empresariales (ERP)*, 153
 - problema con los puntos de reorden*, 126-130
 - programación en*, 186-188
 - retos potenciales*, 149-150
 - sistema Kanban con*, 216-217, 253-254
 - uso para capacidad y artículos con tiempo de espera amplio*, 254
- Planificación de ventas y operaciones (PV&O), 45-70; *ver también* Programa maestro
 - aspectos cualitativos en*, 60-63
 - aspectos del entorno de negocios*, 63-64
 - balance de recursos*, 54-57
 - estrategias externas, 56, 157
 - estrategias internas, 55-56
 - diseño general de*, 47-48
 - diseño y selección del sistema general en*, 250
 - ejemplo de problema de planificación*, 57-60
 - estrategias para*, 50-54
 - métodos de análisis de disyuntivas*, 51-54
 - métodos para*, 48-50
 - programa maestro*, 72-73
 - propósito de*, 46-47
 - visión de fabricación bajo pedido de*, 49-50f
 - visión de fabricación para inventario de*, 48-49f

- Planificación gruesa de la capacidad, 165-169
 - lista de capacidad, 166-168*
 - perfiles de recursos, 168-169*
 - planificación de la capacidad utilizando factores globales, 165-166*
- Planificación y control, 1-15
 - administración de inventario, 99-123*
 - análisis de procesos y flujos de información, 10-12*
 - aspectos del entorno de negocios, 9-10*
 - calificadores y generadores de pedidos, 7-9*
 - categorías de procesos, 4-7*
 - estructura del libro, 12-13*
 - flujos de información general, 12*
 - influencia del cliente en el diseño:*
 - opciones de ambientes o entornos de producción 3-4*
 - introducción, 1-15*
 - métodos de implementación, 256-261*
 - operaciones de manufactura y operaciones de servicio, 2-3*
 - programa maestro, 71-98*
 - pronósticos, 17-43*
- PMP sobrecargado, 149
- Políticas de pedidos, 241
- Precio, 8
 - protección contra variación de, 236*
- Precisión
 - de base de datos, 258-259*
 - de registros de inventario, 117-120*
- Predicción, elemento de la administración de la demanda, 90-91
- Primero en llegar, primero en ser atendido, 183-184; *ver también*
 - Establecimiento de prioridades de trabajo*
- Problemas
 - de equipo, 197, 199*
 - laborales, 197, 199*
- Procesamiento
 - continuo, 5-7*
 - de flujo, 5*
 - de trabajo, 5*
 - mapeo, 10-11*
 - mediante el sistema Kanban, 214-215*
 - mejora de, 11*
 - por lotes, 5, 231*
 - reingeniería, 11*
- Proceso
 - intermitente, 5*
 - repetitivo, 5*
- Procesos
 - basados en proyectos, 4*
 - de negocio, 258; ver también Integración e implementación del sistema*
- Producción esbelta y JIT, 195-218
 - conceptos fundamentales, 196-204*
 - impactos sobre la capacidad, 204-205*
 - programación maestra y 215-216*
 - sistema Kanban, 208-215*
 - sistema pull, 205-208*
 - visión general, 195-196*
- Programa de ensamblaje final (PEF), 78, 79
- Programa maestro, 71-98; *ver también*
 - Planificación de ventas y operaciones (PV&O)*
 - administración de la demanda, 89-94*
 - elementos de, 90-94*
 - antecedentes y vínculos con el PV&O, 72-73*
 - barreras de tiempo, 74-76*
 - de dos niveles, 85-86*
 - muestra de, 86f*
 - desarrollo, método general de, 79-80*
 - fuentes de la demanda para el, 76*
 - horizonte de planificación, 73, 174*
 - impacto de los entornos de producción en, 78*
 - lógica de la disponibilidad para promesa, 80-83*
 - metodología básica, 76-77*
 - opciones de planificación en un entorno ATO, 83, 184*
 - políticas que guían el desarrollo de, 91*
 - responsabilidad del programa maestro, 87-89*
 - selección y diseño general del sistema en, 250-251*
 - y producción esbelta, 215-216*
- Programa maestro de producción (PMP), 77, 91
 - sobreplanificación del, 91*
 - sobrecargado, 149*

Programación

control de la actividad de producción (PAC), 186-188
directa, 186-188
en entornos de producción MRP y pull, 186-188
en entornos de producción pull, 186-188
hacia atrás (inversa), 186-188
hacia delante (directa), 186-188
inversa, 186-188
teoría de restricciones (TDR), 228

Promedios móviles

ponderados, 28
simples, 26-28

Promociones, 56

Pronóstico

cuantitativo-causal, 22-23
modelo de entrada-salida, 22
modelos de simulación, 23
modelos econométricos, 23
regresión, 23
cuantitativo-series de tiempo, 23-35
constante de suavización, 29
error de pronóstico, 29
patrón aleatorio, 23
patrón de tendencia, 23
patrón estacional, 24-25
promedios móviles ponderados, 28
promedios móviles simples 26-28
regresión, 32
suavización exponencial simple, 28-29
de consenso de panel, 19

Pronósticos, 17-43

apoyo por computadora, 38-40
causales, 22-23
cualitativos, 18-22
analogía del ciclo de vida, 19-20
encuestas de mercado, 19
panel de consenso o Delphi, 19
valoración o juicio informado, 22
cuantitativos, 22-35
definición de, 17
de series de tiempo, 23-35
diseño y selección general de sistemas para generación de, 250
errores de, 35-38
extrínsecos, 23

intrínsecos, 23

principales categorías de pronóstico, 18-35

principios fundamentales de proyección, 17-18

Proporción crítica, 184

Protección de mezcla, 84

Proveedores, problemas con, 197, 199

Proyección de disponibilidad, 133

Proyecto, implementación del, 259-261

Publicidad, 56

Punto de reorden, 109

problemas con, 126-130

Puntos

de convergencia, 230-231

de reporte, control y, 10

divergentes, 230

PV&O. *Ver* Planificación de ventas y operaciones

R

Rastreo, 146-147

Recepción

planificada de pedidos, 240-241

programada, 133, 240

Reducción de desperdicio, 196

Regeneración, 141

Regla

de cantidad fija, 139

del menor costo de periodo, 140-141

del menor costo unitario, 139-140

Reglas para el tamaño del lote, 139-141;

ver también Planificación de requerimientos materiales (MRP)

Regresión, 23, 32

pronóstico causal, 23

pronóstico de series de tiempo, 32

Relación componente-padre, 131

Replanificación de abajo hacia arriba, 147

Requerimientos

brutos, 133, 240

netos, 133

Reservaciones, 57

Restricciones, 220, 230; *ver también* Teoría de restricciones

amortiguador de tiempo, 229

de marketing, 226
de políticas, 226
 Retos de la planificación de requerimientos
 materiales (MRP), 149-150
 Rutas alternativas, 192

S

Seguimiento de la demanda, 91
 Señal de seguimiento, 38
 Servicio
 demanda, 144
 niveles, 91
 operaciones de manufactura y
 operaciones de, 2-3
 partes, 144
 Sesgo, 36
 Sincronización, 2
 Sistema de información (SI), 258
 Sistema *Kanban*, 186, 208-215
 alternativas a las tarjetas kanban, 213
 con planificación MRP, 253-254
 establecimiento de prioridades, 214
 funcionamiento del, 209-211
 número de tarjetas kanban, 211-213
 reglas del, 211
 uso para la mejora de procesos, 214-215
 Sistema *pull*, 205-208
 sistema de bicicletas, 207-208
 sistema Kanban, 208-215
 Sistemas *push*, 252-256
 Sobreplanificación
 de opciones, 84
 porcentual, 84
 Subcontratación, 56, 191
 Súper lista, 83

T

Tablero Andon, 214
 Tasas de cambio de producción, 56
 Teoría de restricciones (TDR) 219-232
 amortiguadores de tiempo, 228-230
 entendimiento y administración, 221-223

fuentes de restricciones, 226
impacto sobre la estrategia de operación,
 225-226
introducción a la, 219-220
logística, 226-227
mejora del proceso mediante los
 principios de TDR, 223-225
principios fundamentales, 220-221
programación, 228
puntos de control y lotes, 230-231
selección y diseño general del
 sistema, 251-252
The Goal; teoría de restricciones
 (Goldratt), 219
 Tiempo
 de configuración, 127
 de desplazamiento, 127, 170
 de espera, 128, 170
 para reabastecimiento, 108
 reducción del, 90-91
 de procesamiento, 128
 en fila de espera, 128, 170
 extra/tiempo de inactividad, 55-56
 Tiempo de procesamiento más corto (TPC),
 183; *ver también* Establecimiento
 de prioridades
 Trabajadores temporales, 55
 Trabajo en proceso (TEP), 102
 Traslape de operaciones, 192

U

Ubicación
 aleatoria, 114
 método aleatorio por zonas, 114; *ver*
 también Administración de
 inventarios
 Utilización, 173

V

Valoración o juicio informado, pronósticos
 basados en, 20-22
 Vencimiento, 241