

QUINTA EDICIÓN

Administración de inventarios

 Pearson

CSCMP
Matthew A. Waller
Terry L. Esper

ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS

ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS

CSCMP

Matthew A. Waller

Terry L. Esper

TRADUCCIÓN

Ana Elizabeth García Hernández

Traductora especialista en temas de administración

REVISIÓN TÉCNICA

Joaquín Orduña Trujillo

Coordinador de Operaciones

Facultad de Contaduría y Administración

Universidad Nacional Autónoma de México

Judas Noé Moctezuma Medina

Facultad de Contaduría y Administración

Universidad Nacional Autónoma de México

Datos de catalogación bibliográfica

CSCMP, WALLER, MATTHEW A. y ESPER, TERRY L.
Administración de inventarios
Primera edición
Pearson Educación de México, S.A. de C.V., 2017
ISBN: 978-607-32-4113-7
Área: Administración
Formato: 20 x 25.5 cm Páginas: 208

Authorized translation from the English language edition entitled *The definitive guide to inventory management, 1st Edition*, by CSCMP, Matthew A. Waller and Terry L. Esper, published by Pearson Education, Inc., Copyright © 2014. All rights reserved. ISBN 9780133448825

Traducción autorizada de la edición en idioma inglés titulada *The definitive guide to inventory management, 1st Edition*, por CSCMP, Matthew A. Waller y Terry L. Esper, publicada por Pearson Education, Inc., Copyright © 2014. Todos los derechos reservados.

Administración de inventarios

El proyecto educativo *Administración de inventarios* es una obra colectiva creada por un equipo de profesionales, quienes cuidaron el nivel y pertinencia de los contenidos, lineamientos y estructuras establecidos por Pearson Educación.

Edición en español

Dirección general: Sergio Fonseca ■ **Dirección de innovación y servicios educativos:** Alan David Palau ■ **Gerencia de contenidos y servicios editoriales:** Jorge Luis Íñiguez ■ **Gerencia de arte y diseño:** Asbel Ramírez ■ **Coordinación de contenidos Educación Superior:** Guillermo Domínguez Chávez ■ **Coordinación de arte y diseño:** Mónica Galván ■ **Editora especialista en desarrollo de contenidos:** Rosa Díaz Sandoval ■ **Editor de desarrollo:** Bernardino Gutiérrez Hernández ■ **Traductora:** Ana Elizabeth García Hernández ■ **Corrección de estilo:** Felipe Hernández Carrasco ■ **Gestor de arte y diseño:** José Hernández Garduño ■ **Lectura de pruebas:** Luis Aguilar ■ **Diseño de portada:** Edgar Maldonado ■ **Composición y diagramación:** Servicios Editoriales 6Ns.

Esta edición en español es la única autorizada.

Contacto: soporte@pearson.com

Primera edición, 2017

ISBN LIBRO IMPRESO: 978-607-32-4113-7
ISBN LIBRO E-BOOK: 978-607-32-4112-0

D.R. © 2017 por Pearson Educación de México, S.A. de C.V.
Avenida Antonio Dovalí Jaime núm. 70
Torre B, Piso 6, Colonia Zedec, Ed. Plaza Santa Fe
Delegación Álvaro Obregón, México, Ciudad de México, C. P. 01210

Impreso en México. *Printed in Mexico.*

1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 - 20 19 18 17

www.pearsonenespañol.com



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, fotocopia, grabación o cualquier otro, sin permiso previo por escrito del editor.

Pearson Hispanoamérica

Argentina ■ Belice ■ Bolivia ■ Chile ■ Colombia ■ Costa Rica ■ Cuba ■ República Dominicana ■ Ecuador ■ El Salvador
■ Guatemala ■ Honduras ■ México ■ Nicaragua ■ Panamá ■ Paraguay ■ Perú ■ Uruguay ■ Venezuela

Este libro está dedicado a mi esposa, Susanne, quien es lo suficientemente educada para no recordarme que no la merezco, y a mis hijos, Sophia, Grant, Lucas y Sara. —MW

Este libro está dedicado a mi esposa, Mishi, cuyo amor y apoyo me permiten concentrarme con alegría en mis investigaciones académicas, y a la memoria de mi colega, mentor y amigo, el desaparecido Dr. John “Tom” Mentzer, cuyos ejemplos y consejos aún sigo. —TE

Contenido

Capítulo 1	Introducción a los inventarios.....	1
	¿Qué es el inventario?.....	2
	El papel del inventario en la administración de la cadena de suministro.....	4
	¿Por qué el inventario es una medida importante para la administración de la cadena de suministro?	5
	Panorama general del libro	6
	Notas.....	8
Capítulo 2	Fundamentos de la administración del inventario.....	9
	Tipos de inventario.....	9
	Costos del inventario	22
	Notas.....	27
Capítulo 3	Control del inventario	31
	Incertidumbre en los procesos del inventario	31
	Procesos de reabastecimiento del inventario	36
	Demanda durante el plazo de entrega	40
	Unidades que se espera salgan por el ciclo de reabastecimiento	51
	Costo anual total en función de la cantidad pedida.....	52
	Descuentos por cantidad.....	64
	Notas.....	67
Capítulo 4	La relación entre la administración del inventario y los pronósticos	69
	Incertidumbre en la demanda y el pronóstico	70
	Métodos de series de tiempo.....	73
	Modelos causales.....	103
	Notas.....	109

Capítulo 5 Simulación de eventos discretos de los procesos de inventario	111
Entender el proceso de reabastecimiento del inventario.	112
Aleatoriedad en la demanda	115
Simulación del inventario en Excel	118
Notas.	128
Capítulo 6 Procesos y conceptos adicionales de administración del inventario	129
Administración del inventario de varios artículos.	129
Administración del inventario multiescalones.	131
El modelo del vendedor de periódicos.	135
Distribuciones censuradas.	137
Clasificación del inventario ABC	140
Planeación de los requisitos de materiales	140
Planeación de los requisitos de distribución.	143
Control del inventario agregado: funciones de rendimiento del inventario . . .	143
Almacenamiento del inventario	149
Administración de registros del inventario.	150
Desafíos de implementación y desafío al proceso titular	151
Notas.	152
Capítulo 7 Administración de los flujos de inventario en la cadena de suministro	155
Agrupamiento de componentes de riesgo.	155
Efecto látigo	158
Posponer el inventario	160
Fusión en tránsito	162
Inventario administrado por el proveedor	162
Consignación.	163
Consignación inversa	163
Planeación, pronóstico y reabastecimiento colaborativos	164
Empujar contra jalar.	164
Separación de canales.	165
Optimización de la colocación del inventario	165
El impacto de la cadena de suministro global.	166
Administración del inventario de productos al por menor y de consumo	168
Notas.	172

Capítulo 8 Medición del desempeño del inventario175

 Análisis de compensación 176

 Tipos de medidas 178

 Modelo 4-V 179

 Sistemas y marcos de referencia de medición..... 183

 Administración por excepción 184

 Tableros de medición 184

 Notas..... 186

Índice.....188

Siglas utilizadas en este libro195

Agradecimientos

Mi familia fue muy paciente conmigo mientras me sentaba en la sala desde muy temprano por la mañana, a veces tan temprano como las 4:00 a.m., y terminaba tarde por la noche; y con frecuencia mi esposa me alentaba a seguir escribiendo.

Por otro lado, Eli Jones, decano del Sam M. Walton College of Business de la University of Arkansas, y autor de *Selling ASAP*, fue una gran motivación y es un modelo a seguir para mí, además de ser una gran bendición para muchos otros.

Asimismo, Prashanth Boccasam, socio de Novak Biddle y director general de Orchestro, estaba encantado cuando oyó hablar de mi libro. Esta obra rompe con la norma, en parte como resultado del papel de Prashanth, quien siempre afrontaba el reto de idear nuevas formas de hacer las cosas. Trabajar con Orchestro es una gran bendición ya que me permite unirme a ellos para inventar el futuro del análisis de los bienes de consumo empacados y del comercio minorista.

Con los años, he estudiado e impartido cátedra a partir de una serie de libros de texto sobre la teoría de inventarios. Algunos de mis favoritos —y de los que más he aprendido—, incluyen los siguientes: *Analysis of Inventory Systems* (Prentice Hall, 1963); *Foundations of Inventory Management* (McGraw-Hill, 2000); *Inventory Management and Production Planning and Scheduling* (Wiley, 1998); *Production and Operations Analysis* (McGraw-Hill, 2005); *Foundations of Stochastic Inventory Theory* (Stanford University Press, 2002).

Además de lo anterior, quisiera agradecer al Consejo de Profesionales en Administración de la Cadena de Suministro por promover la educación en logística para gerentes a nivel global.

Y, por supuesto, gracias a Pearson por publicar este libro.

—MW

Muchas gracias al Consejo de Profesionales en Administración de la Cadena de Suministro por la excelente alianza forjada para educar al público acerca de la logística y administración de la cadena de suministro; al Dr. Chad Autry, por su amistad y previsión; al Dr. Matthew Waller, cuyo conocimiento y sabiduría no es nada menos que sorprendente; y a Pearson, por asegurar que el trabajo que se hace en este espacio se ponga a disposición de los mercados cercanos y lejanos.

—TE

Acerca de los autores

El profesor **Matthew A. Waller** imparte la cátedra Garrison en administración de la cadena de suministro del Departamento de Administración de Cadena de Suministro en el Sam M. Walton College of Business de la University of Arkansas, y es jefe de datos científicos en Orchestro. En 1994 se unió al Walton College. Es coeditor en jefe del *Journal of Business Logistics*, una prestigiosa revista académica del área de negocios. Es inventor de la siguiente patente: Waller, M.A. y Dulaney, E. F. System, *Method and Article of Manufacture to Optimize Inventory and Merchandising Shelf Space Utilization*, Patente núm. US 6,341,269 B1. Fecha de patente: 22 de enero de 2002. Sus artículos de opinión se han publicado en el *Wall Street Journal Asia* y en el *Financial Times*. El Dr. Waller es un miembro de liderazgo académico de las universidades del sureste de Estados Unidos. Sus investigaciones se han publicado en el *Journal of Business Logistics*, *Production and Operations Management Journal*, *Journal of Operations Management*, *Decision Sciences*, *International Journal of Logistics Management*, *European Journal of Operational Research*, *Journal of the Operational Research Society*, *Transportation Journal* y otras revistas especializadas. Obtuvo su licenciatura en Ciencias de la Administración de Empresas con reconocimiento *summa cum laude* de la University of Missouri, y una maestría y un doctorado en la Pennsylvania State University.

El doctor **Terry L. Esper** imparte la cátedra Oren Harris de Logística y es profesor asociado de administración de la cadena de suministro en el Sam M. Walton College of Business, de la University of Arkansas. También es director ejecutivo del Centro de Investigación de Administración de la Cadena de Suministro en el Walton College. Esper ha sido catedrático en la University of Tennessee, la University of San Francisco y la Università Di Verona (Italia). Ha publicado varios artículos sobre temas referentes a las relaciones de la cadena de suministro y la administración de cadena de suministro estratégico en centros académicos y de administración. Además de su cargo actual en el Walton College, Esper también es miembro del comité de estrategias de educación del Consejo de Profesionales en Administración de la Cadena de Suministro, asesor educativo en la Health and Personal Care Logistics Conference, y editor asociado del *Journal of Supply Chain Management*. Esper obtuvo una maestría en transporte y logística, y un doctorado en marketing y logística en el Walton College de la University of Arkansas. Antes de su carrera académica, Esper trabajó para Hallmark Cards como gerente de transporte, y para la Arkansas State Highway y el departamento de transporte, en las divisiones de investigación y planeación estatal. También fue tres veces galardonado con la beca en transporte Dwight D. Eisenhower y fue miembro del Centro de transportación Eno.

Fundado en 1963, el **Consejo de Profesionales en Administración de la Cadena de Suministro** (CSCMP, *Council of Supply Chain Management Professionals*) es una importante asociación profesional de carácter mundial que se dedica al avance y la difusión de la investigación y el conocimiento en la cadena de suministro. El Consejo cuenta con más de 8,500 miembros que representan a casi todos los sectores de la industria, el gobierno y la academia de 67 países, a quienes se les considera los principales profesionales y autoridades en las áreas de logística y administración de la cadena de suministro. La organización está dirigida por un grupo elegido de funcionarios mundiales y tiene su sede en Lombard, Illinois, Estados Unidos.

1 Introducción a los inventarios

En junio de 2013, el Consejo de Profesionales de Administración de la Cadena de Suministro (CSCMP, por las siglas de *Council of Supply Chain Management Professionals*) presentó su informe anual acerca del estado de la logística. El documento consta de varias tendencias y análisis de datos clave relacionados con la logística, que proporcionan al lector un panorama de los problemas emergentes en la disciplina, así como una fuente para la evaluación comparativa de las actividades de la cadena de suministro de una empresa. Uno de los aspectos principales del informe fue el análisis sobre las tendencias del inventario. De acuerdo con el documento, todos los inventarios en los sectores minorista, mayorista y manufacturero se incrementaron en 2012. Curiosamente, los inventarios minoristas aumentaron 8.3 por ciento, más del doble del aumento de los inventarios mayoristas y más de seis veces el de los inventarios manufactureros. Asimismo, los costos relacionados con los inventarios subieron 4 por ciento. Quizá lo más interesante sea el hecho de que esos inventarios no fueron indispensables, ya que los minoristas reportaron excedentes de inventario significativos durante la segunda mitad de 2012.

Como destaca el informe del CSCMP, el inventario es una medida fundamental de la salud general de la cadena de suministro y de las actividades logísticas. Debido a que la eficiencia en la administración de la cadena de suministro y la excelencia en la ejecución se han convertido en objetivos estratégicos fundamentales para la mayoría de las empresas más importantes, en las dos últimas décadas ha habido un incremento de ejecutivos de nivel C que examinan los costos y los indicadores relacionados con el inventario. Las iniciativas de reducción de inventarios se han convertido en algo común, donde muchos profesionales de la cadena de suministro y la logística indican que las eficiencias relacionadas con el inventario se han convertido en toda una cultura y mentalidad dentro de sus organizaciones.

Con tanto énfasis en el inventario, creemos que es necesario comenzar este libro con los fundamentos y las bases del concepto. Por tanto, iniciamos con una pregunta...

¿Qué es el inventario?

¿Qué es el inventario?¹ Quizá parezca una pregunta retórica. Tal vez, se consideraría una pregunta con una respuesta obvia. Sin embargo, el inventario es uno de los fenómenos empresariales más interesantes, intrigantes e incomprensidos. La raíz de este malentendido son las diversas perspectivas sobre lo que representa el inventario. En las siguientes secciones se analizan los enfoques predominantes de la definición del inventario.

La perspectiva de las NIF

De acuerdo con las normas de información financiera (NIF), el principal marco de referencia de los estándares de contabilidad financiera, el inventario es un activo circulante. En particular, el inventario representa la “propiedad personal tangible que se mantiene para la venta en el curso ordinario de negocios, que está en proceso de producción para la venta, o bien, que se utiliza para consumirse en la producción actual”. En otras palabras, el inventario (en forma de “trabajo en proceso”, “materias primas” o “bienes terminados”) es un activo, pues representa la propiedad que es probable que se convierta en utilidades, ya que la meta final del inventario es facilitar las ventas de una organización. Por consiguiente, la contabilidad 101 indicaría que ese inventario se contabiliza correctamente en los estados financieros por registrarse en términos de valor monetario como un activo circulante en el balance general.

Hace varios años, un estudiante de licenciatura cuestionó a uno de los autores con una pregunta interesante. “Si el inventario es un activo, ¿por qué entonces tantas organizaciones implementan iniciativas de reducción del inventario?” La pregunta destaca la naturaleza intrigante del inventario. Sí, de acuerdo con las NIF, es un activo, ya que representa ingresos potenciales. Sin embargo, la *administración* del inventario lo convierte en un activo que viene con una etiqueta de precio. Por lo tanto, la *administración* del inventario es el motivo por el cual el inventario es un fenómeno de negocios tan interesante. Es el arte de manejar un activo que a menudo se considera un pasivo, aun cuando se trata de un activo. Diversas mediciones del inventario en la cadena de suministro son quizá los parámetros más sobresalientes sobre la eficiencia y la efectividad de la cadena de suministro.

Perspectiva de la eficiencia de la administración de la cadena de suministro

Uno de los principales objetivos de la administración de la cadena de suministro consiste en asegurar que sean eficientes las operaciones dentro de las empresas y entre éstas. En muchos casos, los medios para garantizar las eficiencias están en el inventario; más específicamente, en las *reducciones* del inventario. Tomando en cuenta lo anterior, el inventario se considera a menudo como un inconveniente para la administración eficiente de la cadena de suministro. Mientras que los gerentes de la cadena de suministro reconocen la necesidad de que haya inventario, la regla no escrita (y, en muchos casos, escrita) es mantener el inventario en un mínimo esencial. Este objetivo dio origen a muchas de las perspectivas populares acerca de la administración de la cadena de suministro que son ubicuas en la actualidad: administración del inventario justo a tiempo; inventario esbelto; e incluso iniciativas de colaboración como la planeación, el pronóstico y el reabastecimiento colaborativos (PPRC).



En general, todas esas iniciativas estratégicas se desarrollaron con la finalidad de optimizar los inventarios a través de la cadena de suministro y mantener la inversión en inventario lo más baja posible.

El concepto de inversión en inventario es, quizá, la razón subyacente por la cual los gerentes de la cadena de suministro intentan mantener bajos los inventarios. La inversión en costos asociada con tener inventarios puede ser alta. Estos costos se examinan con mayor detalle más adelante en el libro pero, por ahora, basta con decir que estos costos incluyen el desembolso de efectivo requerido para comprar el inventario, los costos por mantener los inventarios (incluyendo el costo de haber invertido en inventario en vez de en otra cosa), y los costos asociados con la administración del inventario. Considerando esto, el enfoque gerencial de mantener los inventarios tan bajos como sea posible no es necesario porque sea un inventario propiamente dicho, sino porque se trata de dinero, utilizado en algo que cuesta incluso más que mantener el dinero inactivo. Asimismo, los parámetros como el rendimiento sobre los activos se ven afectados por el inventario, ya que este último se encuentra en la categoría de activos en el balance general.

Perspectiva de la administración de riesgos

Quizás otra respuesta interesante a la pregunta “¿qué es el inventario?” sea la perspectiva de la administración de riesgos. Un cambio interesante ocurrió recientemente respecto del inventario. Aunque la mayoría de las empresas aún intentan mantener los inventarios tan bajos como sea posible debido a los costos asociados con su tenencia y administración, ha habido un creciente énfasis en los costos de *no* tener inventarios o administrarlos efectivamente.² En otras palabras, el inventario se considera cada vez más desde la perspectiva de la administración de riesgos, donde los costos e impactos de la falta de existencias, oportunidades de servicio perdidas e interrupciones imprevistas en la cadena de suministro se han convertido en un factor de decisión primordial para las empresas. Esto ha dado lugar a que las empresas acepten muchos más conceptos (que se analizan con mayor detalle más adelante en el libro), como el inventario de seguridad. Su razonamiento ha sido el sentimiento de que “¡no podemos permitirnos que *no* haya inventario de seguridad!” Por consiguiente, el inventario se ha convertido en un medio de administración de riesgos.

En general, parece haber mucho más sensibilidad al riesgo de interrupciones potenciales en la cadena de suministro.³ En muchos casos, esas interrupciones son el resultado de cierta incertidumbre implicada en la administración de los procesos de la cadena de suministro. Algunas veces la incertidumbre se debe a la escasa disponibilidad de información; en otras ocasiones se asocia con la incertidumbre en los plazos de entrega de los proveedores; y otras más es la incertidumbre de la ejecución de tareas específicas en diferentes procesos de la cadena de suministro. En cualquier caso, la incertidumbre es el principal responsable de las interrupciones en la cadena de suministro. Una forma que muchas empresas han elegido para lidiar con esas incertidumbres es protegerse contra ellas con inversión en inventarios. Aunque esa filosofía es motivo de un gran debate, la realidad es que muchas organizaciones implementan esta práctica por motivos diversos y, por lo tanto, consideran el inventario como un medio de administración y mitigación de riesgos.

Otra variación popular de la perspectiva de la administración de riesgos consiste en invertir en el inventario como medio de cobertura contra fluctuaciones monetarias y de precios. Los proveedores

a menudo ofrecen descuentos por volumen a corto plazo, los precios de muchas materias primas se basan en el valor de mercado, y la compra a proveedores globales implica tipos de cambio de divisas. Para protegerse contra estas fluctuaciones y esos cambios potenciales, muchas empresas optan por invertir en el inventario como medio para asegurar precios y paridades cambiarias monetarias. Hacerlo, en última instancia, les impide ser susceptibles ante el riesgo de que los costos del inventario superen las restricciones presupuestarias y de capital.

La perspectiva equilibrada

Como sugieren todas las perspectivas de definición precedentes, el inventario tiene una variedad de significados y roles simbólicos dentro de las cadenas de suministro. Este entendimiento es quizás el punto de partida más importante y fundamental para una administración efectiva del inventario. El inventario es un activo, pero un tipo de activo del cual las empresas no quieren en exceso. Sin embargo, no tener “en exceso” pondría a la organización en riesgo de posibles interrupciones en la cadena de suministro y de costos extremos imprevistos. Entonces, la clave para una administración efectiva de los inventarios es el equilibrio: mantener los inventarios adecuados para garantizar la producción continua y los flujos comerciales, al mismo tiempo que se minimiza la inversión de inventario para asegurar un desempeño financiero sólido. Este equilibrio se refiere a menudo como óptimo.

La búsqueda de niveles de inventario óptimos no es una tarea sencilla. Implica un entretrejo de varios métodos analíticos y técnicas específicas. Además, deben tomarse varias decisiones interconectadas para mantener flujos óptimos y un intercambio continuo de inventarios a lo largo de la cadena de suministro. Estos temas son el objetivo de este libro y se analizan con mucho detalle en los capítulos posteriores.

El papel del inventario en la administración de la cadena de suministro

La administración de las relaciones entre clientes y proveedores es un aspecto fundamental de la administración de las cadenas de suministro. En muchos casos, el concepto de relación de colaboración se ha considerado la piedra angular de la administración de la cadena de suministro. Sin embargo, un análisis más detallado de las relaciones de la cadena de suministro, sobre todo las relacionadas con los flujos de productos, revela que el punto focal de esas relaciones es el movimiento y el almacenamiento del inventario. Gran parte de la actividad implicada en la administración de las relaciones se basa en la compra, transferencia o administración del inventario. Como tal, el inventario juega un papel medular en las cadenas de suministro porque es un punto sobresaliente de su administración.

Quizás el papel fundamental que desempeña el inventario en las cadenas de suministro sea facilitar el equilibrio entre demanda y oferta. Para gestionar efectivamente los flujos hacia adelante y hacia atrás (proveedores y clientes) en la cadena de suministro, las empresas tienen que enfrentar tanto los intercambios con sus proveedores como las demandas de los clientes. Esto pone a una organización en la posición de intentar alcanzar un equilibrio entre satisfacer la demanda de los clientes —que a



menudo es difícil predecir con precisión o exactitud— y mantener un suministro adecuado de materiales y bienes. Se trata de un equilibrio que se logra a menudo gracias al inventario.

Por ejemplo, una tendencia creciente es la implementación de procesos de planeación de ventas y de operaciones (S&OP, por las siglas de *sales and operations planning*).⁴ El objetivo fundamental de la S&OP es llevar las funciones de administración de la demanda de la empresa (por ejemplo, pronósticos de ventas, marketing) junto con las funciones operativas de la organización (por ejemplo, manufactura, cadena de suministro, logística, compras) y los planes estratégicos, lo cual a menudo implica extensos análisis sobre el inventario disponible, el inventario en tránsito y el trabajo en proceso de la empresa. Estos análisis permiten al grupo de ventas y marketing planear adecuadamente el siguiente horizonte temporal, al obtener una imagen realista de los niveles de inventario disponibles para la venta. Asimismo, los grupos de operaciones pueden obtener información de pronósticos de ventas actualizadas y directas, que ayude a planear las necesidades de inventario futuras. Esta información podría muy bien dar como resultado cambios en los planes de manufactura o cambios en las necesidades de adquisición, debido a la decisión estratégica de concentrarse en unidades de inventario específicas, en vez de otras, en un futuro cercano.

Otro ejemplo de equilibrio a través del inventario es el uso de datos del punto de venta⁵ (POS, por las siglas de *point of sale*) para la administración de inventarios perpetuos en el sector minorista. Para muchos minoristas, cada “bip” de una caja registradora, al escanear el código de barras de un artículo durante el pago, desencadena una serie de mensajes de que se vendió otra unidad del inventario. Esta información no sólo es rastreada por el minorista, sino que también se comparte con sus proveedores. Conforme los artículos se agotan del inventario, en algunos casos, tanto el minorista como el proveedor trabajan en colaboración para determinar cuándo es necesario volver a solicitar un pedido para reabastecer el inventario agotado, especialmente en el centro de distribución. Se trata de un equilibrio entre la oferta y la demanda, ya que la información de la demanda se rastrea para determinar cuándo se deben realizar los pedidos de reabastecimiento, en función del tiempo necesario para tener el inventario en la ubicación de la tienda. En esencia, las decisiones de inventario se usan para utilizar efectivamente el tiempo cuando se necesitan entradas de suministro para manejar las salidas de la demanda.

¿Por qué el inventario es una medida importante para la administración de la cadena de suministro?

Como ilustran iniciativas como la S&OP, el inventario puede ser una parte vital de la administración de las cadenas de suministro. Por consiguiente, el estatus del inventario de una empresa se utiliza a menudo como una prueba decisiva para diagnosticar la “salud” general de sus procesos de administración de la cadena de suministro y su toma de decisiones. Por ejemplo, considere la organización que tiene cantidades excesivas de inventario de seguridad, el cual, de hecho, es un problema en sí mismo, debido a los costos por mantenerlo y a los costos de oportunidad por tener el capital de trabajo invertido en activos que no se están convirtiendo en ventas. Sin embargo, la cuestión más importante aquí es que esa situación de inventario de seguridad es probablemente un síntoma de algún tipo de

inefectividad en la toma de decisiones respecto de la administración de la cadena de suministro. Quizás el pronóstico de la demanda sea constante y significativamente imprecisa, tal vez los plazos de entrega de los proveedores sean innecesariamente largos, quizá las operaciones de la empresa estén cargadas con cuellos de botella y manejo ineficiente del inventario, o quizás los transportistas no ofrezcan un servicio de calidad en la forma de entrega de inventario puntual y sin daños. Éstos son sólo algunos ejemplos de ineffectividad en la administración de la cadena de suministro, que a menudo se manifiestan ya sea como niveles elevados de inventario estancado o como inventario agotado. Entonces, el inventario es una importante herramienta de medición de la cadena de suministro, ya que es probablemente uno de los primeros síntomas de algunas causas que originan ineficiencias en la cadena de suministro.

Esto ha dado lugar a que analistas de la industria, consultores de la cadena de suministro, investigadores, e incluso Wall Street, presten mucha atención en las métricas del inventario para obtener información sobre las tendencias y los cambios en el desempeño de la cadena de suministro. Parámetros como rotación del inventario, días de inventario y ciclo de conversión del efectivo se han vuelto populares, ya que todos ellos son los indicadores de lo bien que se administra la cadena de suministro de una empresa. Estas mediciones del inventario nos indican, por ejemplo, que tan rápido se mueve el inventario a través de la cadena de suministro, la probabilidad de que la empresa pueda manejar y satisfacer las demandas de los clientes, la forma como la liquidez de la empresa se ve afectada por su inversión en inventario e incluso los indicadores de qué tan eficazmente está manejando las relaciones con el proveedor.

Panorama general del libro

Considerando que la administración del inventario es claramente un aspecto fundamental de la administración de la cadena de suministro, este libro se desarrolló para delinear los conceptos y las técnicas en la esencia de la toma de decisiones de inventario eficiente. Como hemos establecido en este capítulo, la administración del inventario es un tema extenso y de largo alcance. Por consiguiente, no podemos afirmar que este libro será exhaustivo. Sin embargo, hemos conjuntado cuidadosamente aquello que consideramos son los marcos de referencia y los enfoques fundamentales para ayudar al lector a comprender mejor el “qué, porqué, cómo y con qué medios” de la toma de decisiones respecto de la administración del inventario.

El capítulo 2, “Fundamentos de la administración del inventario”, se basa en el análisis de las definiciones de los términos presentados en este capítulo y ofrece información importante acerca de los conceptos clave implicados en la administración del inventario. El capítulo destaca los diferentes tipos de inventario y los diversos generadores de costos y las categorías de costos asociados con los inventarios. Como a menudo hay confusión en el análisis del inventario como resultado de la falta de terminología, consideramos cuidadosa y exhaustivamente muchos conceptos diferentes y superpuestos de inventario. Un entendimiento completo de este capítulo facilitará su comprensión del resto del libro.

El capítulo 3, “Control del inventario”, realiza un análisis mayor acerca de la administración de inventarios, concentrándose en los análisis utilizados para tomar decisiones bien informadas acerca del inventario. El capítulo presenta los marcos de referencia que ayudan a determinar cuándo se debería



hacer el pedido del inventario, cuánto se debe pedir y, en última instancia, cómo se debe administrar el inventario solicitado. El capítulo concluye con algunos ejemplos de cuestiones gerenciales que las empresas han enfrentado al implementar varios de estos métodos de inventario. Esta parte del capítulo fue desarrollada para ayudar a contextualizar las técnicas de análisis compartiendo ciertos obstáculos, problemas y éxitos únicos que algunas empresas han tenido al poner en práctica esos conceptos.

El capítulo 4, “La relación entre la administración del inventario y los pronósticos”, examina los pronósticos en el contexto de la administración del inventario. Es realmente imposible siquiera estudiar la administración del inventario sin analizar a fondo los pronósticos y cómo se relacionan con las decisiones de inventario. Usted necesita saber cuántas unidades está esperando vender si desea pedir una cantidad apropiada en el momento correcto. Además, el error en los pronósticos también contiene información útil, ya que es un indicador de cuánta incertidumbre hay en la demanda.

El capítulo 5, “Simulación de eventos discretos de los procesos de inventario”, describe una herramienta que es útil para analizar procesos de inventario, los efectos de los métodos de pronóstico en sus procesos y la manera como las fallas en la ejecución afectan el desempeño del sistema de inventario: la simulación de eventos discretos. Esta última se utiliza para estudiar una amplia variedad de procesos y sistemas, pero analizamos su uso sólo en el contexto de los pronósticos y la administración de inventarios. Asimismo, muchos paquetes de software están específicamente diseñados para la simulación de eventos discretos; no obstante, explicamos cómo realizar la simulación de eventos discretos en Excel de Microsoft.

Antes del capítulo 6, consideramos principalmente la administración del inventario desde la perspectiva de una unidad individual de inventario (SKU, por las siglas de *stock-keeping-unit*), en el capítulo 6, “Procesos y conceptos adicionales de administración del inventario” analizamos la administración del inventario con múltiples SKU. Se debe comprender claramente la teoría y la administración del inventario desde la perspectiva de una única SKU para entender plenamente la administración del inventario de varios artículos o unidades, ya que muchos de los conceptos de administración del inventario de un solo elemento se utilizan en el análisis de la administración del inventario de varios elementos. Además, hasta antes de este capítulo sólo estudiamos la administración del inventario de un solo escalón, pero a partir de éste ampliamos el análisis para incluir la administración del inventario de varios escalones. Muchos otros conceptos relacionados se analizan en este capítulo 6, incluyendo la planeación de los requisitos de distribución, que es ciertamente un concepto de varios escalones.

El capítulo 7, “Administración de los flujos de inventario en la cadena de suministro”, examina una serie de temas relacionados con la administración general del flujo de inventario, incluyendo quién es el propietario del inventario, quién toma decisiones sobre cuándo y cuánto efectuar un pedido, dónde fluye el producto frente a donde ocurren las transacciones de marketing, y otros temas relacionados. También analizamos las preguntas respecto de dónde se debería mantener el inventario y cómo los pedidos pueden causar incertidumbre adicional en la demanda, conforme avanzan en la cadena de suministro.

Aunque la medición del desempeño se analiza tanto directa como indirectamente a lo largo de los capítulos 2 a 7, el capítulo 8, “Medición del desempeño del inventario”, se concentra, como era de

esperarse, en la medición del desempeño de la administración del inventario, cubriendo algunas métricas que no tratamos en anteriores capítulos, pero que son importantes en el análisis. Incluimos cuidadosamente el contenido de los intercambios de costo y las compensaciones de costo/servicio a través del análisis sobre la medición del desempeño, lo cual es importante porque muchas veces las empresas se centran en un conjunto de indicadores de desempeño a expensas de otras que se ignoran o no se miden.

Notas

1. Daugherty, Patricia J., Matthew B. Myers y Chad W. Autry. "Automatic Replenishment Programs: An Empirical Examination". *Journal of Business Logistics* 20.2 (1999): 63-82.
2. Ettouzani, Younes, Nicola Yates y Carlos Mena. "Examining Retail on Shelf Availability: Promotional Impact and a Call for Research". *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 42.3 (2012): 213-243.
3. Harrison, Terry P., et al. "Supply Chain Disruptions Are Inevitable—Get READI". *Transportation Journal* 52.2 (2013): 264-276.
4. Thomé, Antônio Márcio Tavares, Rui Soucasaux Sousa y Luiz Felipe Roris Rodriguez Scavarda do Carmo. "The Impact of Sales and Operations Planning Practices on Manufacturing Operational Performance". Preedición de *International Journal of Production Research* (2013): 1-14. Stank, Theodore P., et al. "Creating Relevant Value Through Demand and Supply Integration". *Journal of Business Logistics* 33.2 (2012): 167-172. Mentzer, John T., Theodore P. Stank y Terry L. Esper. "Supply Chain Management and Its Relationship to Logistics, Marketing, Production, and Operations Management". *Journal of Business Logistics* 29.1 (2008): 31-46. Autry, Chad W. y Stanley E. Griffis. "Supply Chain Capital: The Impact of Structural and Relational Linkages on Firm Execution and Innovation". *Journal of Business Logistics* 29.1 (2008): 157-173.
5. Williams, Brent D. y Matthew A. Waller. "Creating Order Forecasts: Point-of-Sale or Order History?" *Journal of Business Logistics* 31.2 (2010): 231-251. Nachtmann, Heather, Matthew A. Waller y David W. Rieske. "The Impact of Point-of-Sale Data Inaccuracy and Inventory Record Data Errors." *Journal of Business Logistics* 31.1 (2010): 149-158. Williams, Brent D. y Matthew A. Waller. "Top-Down Versus Bottom-Up Demand Forecasts: The Value of Shared Point-of-Sale Data in the Retail Supply Chain". *Journal of Business Logistics* 32.1 (2011): 17-26. Sabath, Robert E., Chad W. Autry y Patricia J. Daugherty. "Automatic Replenishment Programs: The Impact of Organizational Structure". *Journal of Business Logistics* 22.1 (2001): 91-105.

Fundamentos de la administración del inventario

Tipos de inventario

Existen muchos tipos de inventario, y muchas maneras de clasificarlos. En este libro se dedica más tiempo a estudiar los diferentes tipos de inventario de lo que se hace en la mayoría de los textos sobre administración del inventario, y los clasificamos de más formas. También notará que muchas de las definiciones se traslapan. Lo hacemos porque la manera de administrar el inventario depende, en gran medida, del tipo de inventario, en qué se utiliza, cómo se ve afectado por los antecedentes y qué lo afecta. No hay necesidad de ser conciso en la definición del inventario ni tampoco de preocuparse demasiado por el traslape. Es más importante proponer el conjunto más pequeño de elementos en la clasificación, con los cuales se logra un trabajo bien hecho. Esto es lo que hacemos en este libro. En la administración del inventario es importante comunicar claramente sobre qué se está hablando. Los autores han discutido mucho acerca del inventario y de su administración, tanto con profesionales como con académicos, y han encontrado que muchas veces uno de los desafíos es que la gente habla acerca de diferentes aspectos de la administración del inventario sin darse cuenta de ello. Hacemos hincapié en esto, ya que sería tentador pasar por alto el análisis siguiente, no profundizar ni estudiar detenidamente las cosas, pero creemos que eso sería un error.

Como comentamos, notará traslapes en nuestro sistema de clasificación. Uno de los elementos de nuestro esquema de clasificación, por ejemplo, es el inventario minorista en la bodega (RBS, por las siglas de *retail backroom stock*), y otro es el inventario de seguridad (SS, por las siglas de *safety stock*). El RBS puede muy bien incluir al SS. Sin embargo, las diferencias teóricas y prácticas hacen que sea benéfico mantenerlos separados y, al mismo tiempo, reconocer que se traslapan. Dado que la comunicación acerca de la administración del inventario dentro de las empresas y entre ellas es un problema persistente, necesitamos contar con un vocabulario preciso y completo para mejorar la situación. A lo

largo de este libro nos referimos a tales definiciones y clasificaciones, por lo que bien vale la inversión de tiempo en la presente exposición.

A menudo escuchamos de proyectos para reducir el inventario, y que muchas veces resultan exitosos. Rara vez se escucha que se especificaron con cuidado los tipos de inventario que se redujeron; sin embargo, tienen gran impacto las consecuencias a corto y a largo plazo de la reducción de inventario.

Como veremos, esto aún es un problema con quienes tienen un conocimiento insuficiente de los términos. Por ejemplo, algunos creen erróneamente que mientras no se reduzca el inventario de seguridad, los niveles de servicio permanecerán sin cambio. En general, esto es una falacia debido a una visión limitada del servicio. Si la definición de servicio es la frecuencia con la que nos quedamos sin inventario durante el periodo de protección, tal como el plazo de entrega, entonces esto es cierto. Si es la cantidad total de demanda satisfecha con el inventario, entonces no lo es. Reducir el inventario de ciclo perjudica el nivel de servicio como veremos más adelante en este capítulo.

Otro factor diferente en nuestra clasificación y en nuestras definiciones que las hace más útiles es que las definimos tanto desde una perspectiva prospectiva como desde una perspectiva histórica. Realmente lo hacemos a lo largo de todo el libro. En la mayoría de los libros de administración del inventario, las definiciones de inventario son sólo prospectivas. Considere, por ejemplo, el inventario de seguridad. La definición prospectiva conduce a una formulación matemática para calcular cuánto inventario de seguridad se requiere para lograr un nivel de “servicio” deseado; mientras que la perspectiva histórica calcula cuánto inventario de seguridad realmente teníamos a lo largo del tiempo.¹ Sería excelente si pudiéramos especificar un nivel de servicio, calcular el inventario de seguridad requerido y, después, ver más tarde los datos y encontrar que nuestro inventario de seguridad histórico era igual que nuestro inventario de seguridad prospectivo. Por razones técnicas, muchas veces no sucede así. Por lo tanto, proponemos un método empírico para determinar algunos de esos niveles de inventario.

Las definiciones de los procesos de reabastecimiento, las métricas del servicio, etcétera, están todas entrelazadas con nuestras definiciones y con el esquema de clasificación, pero hay que comenzar en alguna parte. Por consiguiente, mientras estemos definiendo estos elementos del esquema de clasificación analizaremos algunas definiciones de servicio, que se proponen a lo largo del análisis sobre el tipo de inventario. También necesitamos hacer esto para un proceso de reabastecimiento. Es decir, necesitamos un par de tipos diferentes de procesos de reabastecimiento. En cuanto a las medidas del nivel de servicio, comenzamos con el uso de (1) la métrica del inventario del periodo de protección (PPIS, por las siglas de *protection period in-stock*) y (2) la métrica del índice de reabastecimiento a nivel de artículo (ILFR, por las siglas de *item-level fill rate*). En cuanto a los procesos de reabastecimiento,² iniciamos usando (1) el proceso de cantidad fija del pedido, en el punto fijo del pedido (Q,ROP, por las siglas de *fixed order point*) y (2) el proceso de intervalo de pedido fijo, pedido a nivel (T,OUL, por las siglas de *order up to level*). Éstos son útiles para examinar cada una de las definiciones dentro del esquema de clasificación. Sin embargo, en el capítulo 3, “Control del inventario”, profundizaremos en cada una de las medidas del nivel de servicio, así como en los procesos de reabastecimiento. Incluso, más adelante en este capítulo estudiaremos otros tipos de medidas de servicio, así como otros tipos de procesos de reabastecimiento.

Antes de definir la métrica del PPIS, debemos definir el periodo de protección,³ que es el intervalo de tiempo durante el cual es posible que el inventario quede en cero. Lo anterior puede parecer extraño, ya que parecería posible que el inventario quede en cero en cualquier momento; sin embargo, éste no es el caso. Considere el proceso (Q,ROP). En ese proceso usted hace un pedido Q cuando la posición del inventario⁴ alcanza el ROP. Bueno, si el $ROP > 0$, entonces, por definición no es posible agotar el inventario antes de llegar al ROP. No obstante, quizá no tenga inventario después de llegar al ROP. Tan pronto como llegue al ROP, usted hace el pedido. El tiempo entre el momento en que se coloca el pedido y se recibe éste y está disponible para su uso es el plazo de entrega (L). Por lo tanto, para el proceso (Q,ROP) el periodo de protección es el plazo de entrega. Ahora podemos definir la métrica del PPIS para el proceso (Q,ROP), es decir, el PPIS para el proceso (Q,ROP) es la probabilidad de quedarse sin inventario durante el plazo de entrega.

En el proceso (T,OUL), usted sólo coloca el pedido cuando está en los tiempos de reorden, que quedan espaciados por T periodos de tiempo. Por lo tanto, suponga que usted está en uno de los tiempos de pedido, y calcula la diferencia entre el OUL y el inventario, y solicita esa cantidad. Entonces aguarda el plazo de entrega para recibir el pedido. No puede volver a hacer un pedido hasta que llegue al siguiente tiempo de reorden. Una vez que usted coloca un pedido, se puede agotar el inventario en cualquier momento entre los tiempos de pedido y el plazo de entrega. Por ello, para el proceso de reabastecimiento (T,OUL) el periodo de protección es $T + L$ y el PPIS es la probabilidad de que un inventario se agote durante $T + L$.

El índice de reabastecimiento a nivel de artículo (ILFR) es el porcentaje de demanda satisfecha con el inventario disponible. Si la demanda no se satisface con el inventario disponible, la demanda se pierde (ventas perdidas) o queda pendiente de cubrirse.⁵ En cualquier caso, ésta es la demanda perdida en ese momento. Así, la demanda total pérdida durante un periodo de tiempo dividido entre la demanda total durante ese tiempo es el ILFR.

Con todo eso en mente, ahora podemos comenzar a analizar cada tipo de inventario en nuestro esquema de clasificación.

Inventario de ciclo

El inventario de ciclo⁶ es la cantidad de inventario entre los reabastecimientos. Para un proceso de reabastecimiento (Q,ROP), la cantidad promedio del inventario entre reabastecimientos es $(Q + 1)/2$ para unidades discretas⁷ (como cajas de cereales listas para el consumo) y $Q/2$ para unidades continuas (como galones de gasolina).⁸ Para un proceso de reabastecimiento (T,OUL), la cantidad promedio del inventario entre reabastecimientos es $T \times d/2$, donde d es la demanda promedio por unidad de tiempo.

Cada vez que hay un pedido o un lanzamiento de producción, se incurre en algún costo, ya sea un costo de transporte, un costo de configuración, o algún otro costo fijo por pedido, incluyendo los costos de recepción, los costos de compra, etcétera. Cuanto mayores sean esos costos fijos, mayor será la cantidad que se debería solicitar cada vez que se efectúa un pedido.

El inventario de ciclo es relativamente fácil de estimar. Si una empresa siempre pide cantidades de camión completo, el inventario de ciclo o promedio es la cantidad del camión completo dividida entre dos; si la empresa siempre pide una tarima (*pallet*), el inventario de ciclo promedio es la cantidad de la tarima dividida entre dos.

Considere una situación donde un minorista sólo pide a un proveedor una unidad individual de inventario (SKU) de vino, en cantidades de tarima para su centro de distribución. Cada tarima tiene 150 cajas y cada caja tiene 6 botellas. Suponga que las tiendas sólo piden cantidades embaladas en cajas desde el centro de distribución. Suponga que hay dos centros de distribución y 200 tiendas. El número de botellas por tarima es de $6 \times 150 = 900$ botellas. Entonces, el inventario de ciclo promedio por centro de distribución es de $(900 \text{ botellas})/2 = 450$ botellas.⁹ Como hay dos centros de distribución, el inventario de ciclo promedio en los centros de distribución combinado es de 900 botellas. El inventario de ciclo promedio por tienda es de $(6 + 1 \text{ botellas})/2 = 3.5$ botellas. Dado que hay 200 tiendas, tenemos $200 \text{ tiendas} \times 3.5 \text{ botellas por tienda} = 700$ botellas.¹⁰ El inventario de ciclo total en la red minorista es de 700 botellas más 450 botellas = 1,150 botellas.

Para un proceso (T,OUL), esto es similar. Suponga que ordena llevar la posición del inventario hasta el OUL, y que un centro de distribución entrega 1,000 botellas por semana, y el centro de distribución pide una vez por semana. Por consiguiente, en ese caso, el inventario de ciclo promedio por centro de distribución es de $1,000/2 = 500$ botellas. Suponga también que cada tienda coloca un pedido una vez por semana y en cada uno pide 6 botellas por semana; entonces, el inventario de ciclo por tienda es $(6 + 1)/2 = 3.5$.

La cuestión de fondo es que es relativamente fácil estimar el inventario de ciclo con los procesos de reabastecimiento (Q,ROP) y (T,OUL), lo cual es bueno porque a menudo el inventario de ciclo es un gran componente del inventario total, por lo que es un paso más cercano para la estimación de los requisitos del inventario. Esta estimación es tan fácil que en una reunión se puede hacer en la parte trasera de una servilleta, pero pocos conocen el método.

Esos métodos son prospectivos, no históricos, es decir, los usamos para estimar cuál es el inventario de ciclo promedio, pero en realidad podría ser diferente. Es fácil ver por qué podría ser diferente para el proceso de reabastecimiento (T,OUL), ya que se estima que el inventario de ciclo promedio es $d \times T/2$, es decir, la demanda media real podría resultar diferente de d . Pero, ¿por qué sería diferente para el método (Q,ROP)? Bueno, podría ser que se quede sin inventario y pierda ventas en cada ciclo de reabastecimiento.¹¹ Suponga que comienza el mes con 100 unidades y se agotan a mitad del mes. Entonces, su inventario promedio en la primera mitad del mes es de 50, pero la última mitad del mes es cero. Por lo tanto, su inventario de ciclo promedio durante el mes es $(50 + 0)/2 = 25$. Con el proceso de reabastecimiento (Q,ROP) y la pérdida de ventas, es posible que para el método, $(Q + 1)/2$ sea diferente del cálculo histórico del inventario de ciclo.

Reiterando, en el método (T,OUL) para estimar el inventario de ciclo prospectivo, $d \times T$ puede ser inexacto si la demanda promedio es diferente de d . Esto no sería sorprendente. Por otro lado, para el método (Q,ROP), $(Q + 1)/2$ será diferente si el inventario se agota con frecuencia y durante mucho tiempo.

Ahora veremos la medición del inventario de ciclo histórico. Tan pronto como el inventario perpetuo aumenta como resultado de recibir un pedido, se comienza a tomar el promedio del inventario disponible. Deje de tomar el promedio en el momento antes de la llegada del próximo reabastecimiento. Ahora reste el inventario disponible final del inventario promedio para obtener el inventario de ciclo promedio para un ciclo de reabastecimiento. Esto continúa con el tiempo, y el inventario de ciclo promedio para un conjunto de ciclos de reabastecimiento es la estimación del inventario de seguridad histórico.

Para el proceso de reabastecimiento (Q,ROP), los mayores niveles del inventario de ciclo pueden mejorar el índice de reabastecimiento a nivel de artículo (ILFR). Para entender por qué, tomemos un ejemplo extremo. Suponga que se establece Q de tal forma que usted pide lo suficiente para un día de suministro. Entonces tendrá que pedir 365 veces durante ese año, lo cual significa que estará expuesto a fallas del plazo de entrega 365 veces durante el año. Por otro lado, si se establece Q de tal forma que usted pide lo suficiente para todo el año, sólo una vez al año se enfrentará a la posibilidad de una falla en el plazo de entrega. En el primer caso, el número de inventarios agotados debido a fallas en el plazo de entrega será mayor en comparación con este último caso.

Lo mismo no sería necesariamente cierto para el proceso (T,OUL), ya que puede agotarse en cualquier momento durante T. Para el proceso (Q,ROP), usted se reabastece, en promedio, cada Q/d periodos, pero si se eleva la demanda, pide antes. Mientras que con el (T,OUL) es posible que no logre pedir con anticipación. Por ejemplo, una compañía podría pedir un camión completo por semana con 20 SKU diferentes de un proveedor. Pedir una SKU antes debido a que su demanda sube quizá no sea rentable, sobre todo si estas SKU producen un bajo margen de rendimiento en el mercado. En ese caso, el transporte rápido podría no ser redituable. Por consiguiente, un inventario de ciclo más prospectivo en este proceso de reabastecimiento tal vez no tenga tanto impacto en el ILFR como lo tiene el proceso de reabastecimiento (Q,ROP).

Nos hemos concentrado en el inventario de ciclo en el contexto de dos procesos de reabastecimiento diferentes, el proceso (Q,ROP) y el proceso (T,OUL); no obstante, hay muchos otros procesos híbridos, algunos de los cuales estudiaremos en el capítulo 3. Las ideas para estimar el inventario de ciclo prospectivo son fundamentales en los otros procesos así que, por el momento, nos centraremos en esos dos tipos de procesos de reabastecimiento.

Inventario de seguridad

El inventario de seguridad prospectivo¹² es el número esperado de unidades disponibles cuando llega el reabastecimiento y está disponible para su uso. El inventario de seguridad histórico es la cantidad promedio de inventario disponible, cuando llega el reabastecimiento y está disponible para su uso. El inventario de seguridad histórico y el inventario de seguridad prospectivo pueden diferir porque, (1) el proceso calculado de reabastecimiento en el cálculo del inventario de seguridad es diferente del proceso real de reabastecimiento, (2) la distribución calculada de la demanda es diferente de la distribución real o la demanda es no estacionaria, (3) la distribución calculada del plazo de entrega difiere de la distribución real del plazo de entrega, si es que existe, o (4) hay otros tipos de errores de

ejecución que no se contabilizan en el cálculo del inventario de seguridad prospectivo. Trataremos cada uno de ellos en su momento.

El inventario de seguridad histórico y el inventario de seguridad prospectivo pueden diferir debido a que el proceso calculado de reabastecimiento es diferente del proceso real de reabastecimiento. Si se usan los procesos de reabastecimiento (Q,ROP) o (T,OUL), es fácil encontrar en la literatura cálculos del inventario de seguridad. Sin embargo, en la práctica es raro encontrar procesos tan puros. Por ejemplo, para implementar el proceso (Q,ROP), todas las SKU que está pidiendo tendrían que solicitarse cada vez que alcanzan su punto de pedido (ROP, por las siglas de *reorder point*). Esto sería posible si los costos de transporte son lo suficientemente bajos respecto de los costos de inventario. Suponga, por ejemplo, que está pidiendo un componente costoso, tan caro que incluso el transporte aéreo es una pequeña fracción del costo de poder mantener el inventario. En ese caso, podría tener sentido pedir cada SKU por aire cada vez que se alcanza el ROP. Pero para la mayoría de las SKU, realmente necesita pedir varias SKU al mismo tiempo, debido al hecho de que todas necesitan transportarse en la misma tarima o el mismo camión de carga. Esto suena como un proceso (T,OUL), donde se podría fijar T de modo que tenga suficiente demanda promedio y donde usted puede pedir varias SKU al mismo tiempo. Sin embargo, esto también implica una fuerte suposición, es decir, cada vez que usted pide, usted debe ordenar hasta el OUL. El problema es que es posible que necesite pedir sólo en múltiplos de un cierto número, como cajas de paquetes o camiones. Entonces, usando un proceso (T,OUL) estricto, puede que tenga que pedir una caja y media para tener la posición de inventario en el OUL, pero así podría tener que pedir dos como cantidad de pedido mínima del proveedor. Del mismo modo, ¿qué ocurre si se agotan varias SKU antes de T unidades de tiempo? Entonces, si el costo de una falta de inventario es lo suficientemente alto, se colocará un pedido de emergencia. Si esto es posible, los cálculos del inventario de seguridad prospectivo con base en el proceso de reabastecimiento (T,OUL) no serán precisos, ya que los pedidos de emergencia no forman parte del proceso (T,OUL). Además de esta situación, suponga que ordena todas las SKU usando un proceso (T,OUL), y está sólo en 60 por ciento de un camión completo. Podría ser óptimo pedir más de algunos productos para llenar el camión durante el resto del viaje, aumentando así la utilización del transporte. Si ello es posible, entonces éste no es un verdadero proceso (T,OUL), sino un híbrido, y serán inexactos los cálculos del inventario de seguridad con base en el proceso (T,OUL).

El inventario de seguridad histórico y el inventario de seguridad prospectivo pueden diferir porque la distribución calculada de la demanda es diferente de la distribución real, o bien, la demanda no es estacionaria. Incluso para los procesos de reabastecimiento tradicionales (Q,ROP) y (T,OUL), muchos de los cálculos del inventario de seguridad prospectivo se basan en un número limitado de distribuciones de demanda, como las distribuciones normal, de Poisson,¹³ de Laplace¹⁴ y empírica. En realidad, hay muchas veces que nos enfrentamos a una mezcla de distribuciones. Por ejemplo, en el comercio minorista, la distribución de la demanda es diferente para los diferentes días de la semana; la preponderancia de las compras ocurre durante el fin de semana. Aún más problemático, la mayoría de las SKU en el comercio minorista se enfrentan a la demanda no estacionaria. Por simplicidad, supondremos que esto significa que su media y/o desviación estándar cambian con el tiempo.

El inventario de seguridad histórico y el inventario de seguridad prospectivo pueden diferir debido a que la distribución real del plazo de entrega difiere de la distribución calculada del plazo de entrega. El plazo

de entrega es el tiempo entre el momento en que se hace el pedido y cuando el inventario está disponible para su uso. No es únicamente el tiempo de transporte. Muchas veces se producen errores al calcular el inventario de seguridad utilizando el tiempo de transporte para representar el plazo de entrega, el cual también puede incluir el tiempo de colocación de pedidos, la recolección del pedido, el andamiaje, la carga, el transporte, la recepción, el almacenamiento, etcétera. Asimismo, a veces se utiliza la desviación estándar del tiempo de transporte en vez de la del plazo de entrega. Los errores de ejecución en todos los pasos en este proceso pueden contribuir a la desviación estándar del plazo de entrega.

Usted puede preguntarse por qué querría calcular los inventarios de seguridad prospectivo e histórico, ya que le permitiría ajustar su inventario de seguridad prospectivo a la realidad, y le ayudaría a identificar si esta diferencia es la causa de inventario agotado o de exceso de inventario. Las estimaciones empíricas de la relación entre las causas del inventario de seguridad y el nivel real del inventario de seguridad pueden estimarse para determinar con mayor precisión los niveles futuros del inventario de seguridad. Una ventaja de esto es que usted no tiene que deducir el modelo analítico exacto, lo cual podría llegar a ser imposible.

Como ya hemos visto, tanto el inventario de seguridad como el inventario de ciclo se utilizan para enfrentar un inventario agotado. En muchos libros de texto, a menudo se propone que el inventario de seguridad por sí solo se utiliza para tratar la incertidumbre en la oferta y la demanda, lo cual simplemente no es verdad. Para cualquier índice de reabastecimiento de artículos en línea (LIFR, por las siglas de *line item fill rate*) determinada, es posible ajustar el inventario de seguridad, el inventario de ciclo o ambos para lograr el objetivo. Ahora, para la métrica del PPIS en el proceso (Q,ROP), por definición, tan sólo el inventario de seguridad puede afectarla. Para tal situación única, el PPIS es la probabilidad de tener inventario durante el plazo de entrega. Sin embargo, incluso para este proceso, el LIFR se puede ajustar ya sea mediante el inventario de ciclo o el inventario de seguridad. Tener más variables que usar para ajustarlo es mejor que tener menos variables.

Uno se preguntaría por qué incluso importa diferenciar entre el inventario de ciclo y el inventario de seguridad. De hecho, algunos libros de texto ni siquiera utilizan ambos términos. Bueno, hay muchas razones para querer manejarlos de diferente manera. En los establecimientos comerciales tradicionales, por ejemplo, tener menos de cierta cantidad de inventario en el anaquel no luce atractivo. Se puede utilizar el inventario de seguridad para resolver el problema. Además, en algunos casos, se necesita cierta cantidad de inventario de ciclo. Por ejemplo, suponga que los costos de transporte superan drásticamente los costos de inventario. En ese caso, podría ser que el inventario se pide en cantidades de camiones o cargamentos; tanto el LIFR como el PPIS se deben manejar a través del inventario de seguridad.

Inventario en tránsito

El inventario en tránsito¹⁵ es un inventario que no se almacena para su uso o venta posteriores, sino que se encuentra en ruta hacia un nodo de almacenamiento del inventario.¹⁶ El inventario en tránsito más evidente es el inventario que se encuentra en una unidad de transporte, como un camión, tren, barco o avión. Sin embargo, únicamente porque se encuentre en una unidad de transporte no significa que se trate de inventario en tránsito. Por ejemplo, si el inventario se mantiene en un remolque de camión para la venta directamente desde el contenedor, no se trata de inventario en tránsito; el remolque

de camión es en realidad un nodo de mantenimiento de inventario. Del mismo modo, si observa el inventario en un centro de distribución, una parte de él está en un nodo y otra parte es inventario en tránsito. Si el inventario está haciendo cruce de andén (*cross-docking*) a través del centro de distribución, está en tránsito. Asimismo, el inventario en la bodega de la tienda, en espera de acomodarse en los anaqueles está en tránsito hasta que llegue a estos últimos. Por otro lado, si el inventario se mantiene en la bodega hasta que se necesite abastecer el anaquel, el inventario no está en tránsito; la bodega de la tienda es un nodo de mantenimiento de inventario. En general, en cualquier momento el inventario que está “en plazo de entrega”¹⁷ es inventario en tránsito.

Para precisar el análisis, llamamos al inventario en tránsito que se está transportando como *inventario en transporte*. El inventario en tránsito que está en un *cruce de andén*, en andamiaje, siendo recolectado, almacenado, etcétera, se llama *inventario que no está en transporte*. Por consiguiente, el inventario en tránsito tiene inventario en transporte e inventario que no está en transporte. Necesitamos hacer esta distinción porque suelen tener costos diferentes, como veremos más adelante en este capítulo.

También es importante distinguir qué parte del inventario en tránsito se mueve realmente usando un transportista común. La razón de ello es que después de que un transporte común sea el flete ofrecido, en muchos casos la responsabilidad del inventario se pasa al transportador. Cuando esto sucede, el costo de mantener el inventario es menor durante el tiempo que está en tránsito, ya que se elimina la parte de responsabilidad del costo por mantenimiento del inventario.

La cantidad prospectiva esperada del inventario en tránsito es relativamente fácil de estimar. Es el plazo de entrega en días previsto dividido entre 365 días,¹⁸ cantidad que se multiplica por la demanda anual esperada para una SKU específica. “El plazo de entrega en días previsto dividido entre 365 días” es el porcentaje del año en que cada unidad vendida permanece como inventario en tránsito. Otra manera de ver el cálculo es el plazo de entrega en días previsto multiplicado por las ventas diarias esperadas. Cada unidad pasa tiempo como inventario en tránsito, y esta manera de ver el cálculo indica que todas las unidades vendidas serán inventario en tránsito durante el plazo de entrega. Por ejemplo, suponga que un producto tiene un plazo de entrega de 5.2 semanas y una demanda anual esperada de 5,000. Entonces, 5.2 semanas divididas entre 52 semanas por año son 0.10 años. Se multiplican 0.10 años por 5,000 unidades anuales para obtener un inventario en tránsito esperado de 500 unidades.

Si el promedio histórico del inventario en tránsito difiere del inventario en tránsito prospectivo esperado, puede deberse a errores en la demanda esperada y la demanda real, o bien, a errores en el plazo de entrega previsto y el plazo de entrega real. Si usted toma el inventario en tránsito promedio histórico y lo divide entre lo que fue la demanda real, obtiene lo que fue el plazo de entrega promedio. Esto se utiliza para comparar con el plazo de entrega previsto que se está usando. Si son significativamente diferentes, entonces, ¿por qué son diferentes? ¿Es porque no se consideró algún componente importante del plazo de entrega? ¿O los tiempos reales de algunos de los componentes del plazo de entrega eran extremadamente erróneos? Este tipo de proceso puede ser bueno para hacer estimaciones más precisas de los tiempos de espera. Tener el plazo de entrega correcto es importante porque se utiliza para hacer cálculos del inventario de seguridad y determinar el momento correcto para realizar los pedidos. Cuando el plazo de entrega no es correcto en un sistema de reabastecimiento automatizado, quizá dé como resultado exceso de inventario o inventario agotado.



Al incrementar cualquiera de los componentes del plazo de entrega no sólo aumenta el inventario en tránsito, sino que también aumentan la cantidad de inventario de seguridad y/o el inventario de ciclo necesario. Por tal razón, usar la comparación de los inventarios en tránsito prospectivo e histórico suele ser particularmente valioso. Es una forma de controlar la exactitud de las estimaciones del plazo de entrega.

Cuando se utiliza transporte marítimo, el inventario en tránsito naturalmente es mucho mayor que cuando se usa transporte aéreo. Para el transporte marítimo, lo más probable es que la preponderancia del plazo de entrega sea el tiempo de tránsito, mientras que en el transporte aéreo tal vez no sea la situación. Imagine un producto que se pide de Tokio, Japón, para su uso en Long Beach, California, y que el plazo de entrega menos el tiempo de transporte es de 1 día. Suponga que el transporte marítimo es de 12 días y el transporte aéreo es de 1 día. En este ejemplo altamente estilizado, estimar el inventario en tránsito simplemente a partir del tiempo de transporte es posiblemente aceptable para el transporte marítimo, pero para el transporte aéreo tiene un error con un factor de 2. Sin embargo, si usted simplemente está comparando los dos, con todas las demás cosas iguales, puede estimar el cambio del inventario en tránsito sólo con la diferencia del tiempo de transporte. Volviendo al ejemplo del producto que se trasladó de Tokio, Japón, a Long Beach, California: si se estuviera considerando un cambio de transporte de marítimo a aéreo, se produciría una reducción de 92 por ciento en el inventario en tránsito $(12 - 1)/12$. Del mismo modo, si el cambio que se considera es de transporte aéreo a marítimo, el aumento en el inventario en tránsito sería 11 veces mayor. En general, si se considera cualquier componente de plazo de entrega para un cambio, sólo se necesita el cambio relativo en ese componente para estimar el cambio relativo en el inventario en tránsito. Esto es conveniente, pero se debe sopesar cuidadosamente considerando el cambio en el costo total. Por ejemplo, si el inventario en tránsito es un pequeño porcentaje del total de los costos de inventario, una reducción de 92 por ciento, como se señaló anteriormente, parecería más impresionante de lo que realmente será en el inventario total.

Inventario promocional

Hay dos categorías de inventario promocional: una SKU promocional que está continuamente en el surtido (o selección), y una SKU promocional que no se tiene continuamente. Para el primero, hay muchos tipos diferentes de promociones: reducciones temporales de precios, presentaciones promocionales, comprar uno y obtener otro gratis, paquetes de bonificación, cupones, muestras, carteles, inventario adicional en la tienda, y muchas otras. Muchas veces, éstas se utilizan en combinación con otras. Por ejemplo, una reducción temporal de precio podría acoplarse con una exhibición promocional y un inventario adicional.

El objetivo de las promociones es aumentar la demanda. Sin embargo, es difícil predecir el cambio en la cantidad vendida en cualquier lugar dado, por lo que resulta difícil saber cuánto inventario adicional es necesario, si acaso. Para los productos que se mueven lentamente, donde se vende uno cada dos semanas, una promoción podría resultar en la venta de uno por día y tal vez no se requiera inventario adicional para apoyar el aumento en la demanda.

Inventario de demostración

El inventario que se mantiene para fines de demostración o exhibición se denomina inventario de demostración. Si éste no se puede vender, aunque no haya inventario del artículo, no es técnicamente una parte del inventario de seguridad. Por otro lado, si se logra vender en el caso de que no haya inventario, en realidad es inventario de seguridad. En ese caso, el inventario de seguridad es realmente más alto que el inventario de seguridad planeado, y tanto el ILFR como el PPIS son en verdad mayores de lo previsto. En tal caso, sería mejor ver al inventario de demostración como parte del inventario de seguridad para cálculos de costos y servicios. No obstante, si el inventario de demostración no está actualizado o se deteriora de alguna manera, no es realmente parte del inventario de seguridad.

Inventario minorista en bodega

El inventario minorista en bodega¹⁹ es un inventario situado en la trastienda o la bodega de una tienda al por menor, y en realidad pueden ser inventario en tránsito, inventario de seguridad o inventario de ciclo, o una combinación de inventario de seguridad e inventario de ciclo.

Antes de continuar, observe primero que un nodo de mantenimiento de inventario es una ubicación física desde la cual se colocan y se reciben los pedidos. Si el inventario se solicita del nodo A y del nodo B, pero viaja del nodo B al nodo C y luego al nodo A, entonces, los nodos A y B son nodos de almacenamiento de inventario, y el nodo C no lo es. El nodo C puede ser un *cruce de andén* o ser la bodega de un minorista.

Si el inventario de los anaqueles no se reabastece desde la bodega, entonces, la bodega no es un nodo de mantenimiento de inventario, sino simplemente un área de andamiaje y, por lo tanto, el inventario es inventario en tránsito. Si está previsto que el inventario se encuentre en la bodega, los anaqueles de venta de menudeo se reabastecen desde la bodega, y la bodega se reabastece desde el centro de distribución (DC, por las siglas de *distribution center*) o del proveedor, el inventario en la bodega es una combinación de inventario de ciclo y de inventario de seguridad.

Considere la situación en la que la bodega no es un nodo de mantenimiento de inventario, pero llega un reabastecimiento. El inventario se coloca en los anaqueles, pero algunas de las unidades no caben en ellos. Entonces, las unidades van a la bodega hasta que el anaquel tenga más espacio. Ésta es una situación problemática porque quizá no haya medios formales para reponer los anaqueles conforme se vacían. La tecnología finalmente resolverá este problema, pero la coordinación de la capacidad de los anaqueles y la capacidad de la bodega no es una tarea fácil. Es importante que la excelencia operacional sea capaz de especificar qué tipos de inventario se tienen y dónde y por qué están ahí. Por lo tanto, vamos a entrar en detalles para proporcionar vocabulario para el estudio de estos temas.

Si el inventario de seguridad de la tienda se establece según la capacidad del anaquel, entonces, en promedio, ninguna unidad que llegue al anaquel de un pedido quedará en éste. Recuerde que el inventario de seguridad es el número esperado de unidades de inventario disponibles justo antes de que llegue el reabastecimiento. Considere un sistema de revisión continua (Q,ROP). Si la capacidad del anaquel es igual a $ROP + Q$, entonces las unidades siempre entrarán en el anaquel cuando llegue un pedido. Considere la situación en la que se coloca un pedido y la demanda va a cero. Entonces,



cuando las unidades llegan al anaquel, aún hay unidades del ROP, ya que eran las que había cuando se colocó el pedido. Como el pedido es de Q unidades, el número total de unidades que estará en el anaquel será $Q + \text{ROP}$. El problema con esto es que habrá en promedio ($\text{ROP} - \text{inventario de seguridad}$) unidades de espacio de anaquel vacío. Para un proceso (T,OUL), si la capacidad del anaquel se ajusta a OUL, es como establecer la capacidad de anaquel a $\text{ROP} + Q$. Ambas situaciones dan como resultado desperdicio de espacio en el anaquel. Por otro lado, cuando los artículos tienen que ir a la bodega porque ya no caben, eso hace que los costos laborales aumenten. Los costos del espacio en los anaqueles se deben sopesar contra los costos laborales, entre otras cuestiones, al determinar la capacidad de los anaqueles. La interacción de la capacidad del anaquel, la cantidad del pedido, el inventario de seguridad, el plazo de entrega y otros factores determinan la frecuencia con la que las unidades deben ir a la bodega.

Reabastecimiento de inventario minorista en los anaqueles

El reabastecimiento de inventario minorista en los anaqueles²⁰ es un inventario que se encuentra en el anaquel y consta de inventarios tanto de ciclo como de seguridad. Se debe distinguir del inventario promocional, que también podría estar en el anaquel. Ya hemos hablado del inventario promocional, el inventario extra en la tienda para satisfacer la demanda adicional gracias a una promoción. Considere una situación donde en la tienda se ponga una exhibición promocional en un área diferente de la ubicación normal de los anaqueles, y que no se utilice ninguna otra promoción en combinación con la exhibición promocional. Si se utiliza el código de barras en el punto de venta²¹ (POS, por las siglas de *point of sale*) y los artículos de la exhibición promocional tienen un código distinto al del inventario de los anaqueles minoristas reabastecidos, quizás haya confusión. Por ejemplo, las personas que normalmente han comprado del anaquel pueden comprar de la exhibición promocional, lo cual podría hacer que la promoción parezca más exitosa de lo que realmente es. Considere una promoción que implica un paquete de bonificación y que también tiene inventario de los anaqueles minoristas reabastecidos en la tienda. El paquete de bonificación puede tener un código de barras diferente, haciéndolo parecer como si la demanda del artículo reabastecido fuera menor. Esto podría hacer que el pronóstico del artículo bajara, ocasionando inventario agotado en el futuro. Es una cuestión importante: hay una diferencia entre las categorías de inventario y la demanda. Desde la perspectiva del consumidor, el paquete de bonificación y el paquete sin bonificación podrían ser esencialmente el mismo. Por consiguiente, para la administración del inventario, tenemos que clasificar las cosas de una manera, y para la administración de la demanda se podrían necesitar clasificar de otra manera.

Inventario estacional

El inventario estacional es el inventario que se mantiene durante una parte del año, y puede reabastecerse o no durante la temporada. El inventario estacional se compra generalmente con base en un solo pedido, incluso si se reabastece. El modelo del vendedor de periódicos es un método para calcular la cantidad del pedido. Si no se compra suficiente inventario estacional, se pierden ventas y utilidades. Si se compra demasiado, es necesario hacer rebajas, reduciendo así el ROI. El modelo del vendedor de periódicos intenta equilibrar esos costos.

Reabastecimiento de inventario en comprado por impulso en varias ubicaciones

En muchas tiendas minoristas, ciertos artículos se encuentran en varias ubicaciones. Las barras de caramelo, por ejemplo, se encuentran a menudo en los anaqueles de las cajas registradoras en la tienda de abarrotes y también en el pasillo de caramelos. Los artículos pueden estar potencialmente agotados en muchas ubicaciones y aun así registrar ventas diarias si están disponibles en otras ubicaciones dentro de la tienda. Mantener todas las ubicaciones con inventario es un desafío para la gerencia de la tienda. Muchos de estos artículos son productos comprados por impulso, lo cual significa que la gente no llega a la tienda planeando su compra, sino que decide comprarlos cuando los ve en el anaquel. Este inventario puede ser una combinación de inventario de ciclo e inventario de seguridad para la tienda como un todo, pero en las ubicaciones individuales el inventario puede ser difícil de planear y administrar bien. Muchas veces el inventario en ubicaciones específicas cambia con el tiempo, a excepción de su ubicación permanente que está en la parte principal de la tienda.

Inventario de materias primas

El inventario de materias primas es el inventario que se mantiene para la producción. Por ejemplo, para elaborar pan, se debe tener grano. La falta de inventario de materias primas suele ser costosa, ya que puede provocar el cierre de toda la línea de producción. Además, el inventario de materias primas es relativamente menos costoso que el inventario de productos terminados, por lo que el hecho de contar con más de aquél se puede defender con facilidad.

Suponga que un panadero continúa introduciendo nuevos tipos de pan, y cada vez que se introduce una SKU de pan nueva, se crea una nueva especificación de grano, hasta el punto de que finalmente hay 100 granos diferentes para 100 SKU diferentes. Si fuera posible tener 10 granos y seguir produciendo las 100 SKU diferentes, la cantidad total de inventario requerida se reduciría en gran medida.

Inventario de producción en proceso

El inventario de producción en proceso es el inventario en proceso de transformación en producto terminado. A veces se construye entre las estaciones de trabajo para que toda la línea no tenga que parar si una máquina falla. Sin embargo, cuando hay más inventario entre estaciones de trabajo, el ciclo de retroalimentación entre las estaciones de trabajo es más largo. El enfoque justo a tiempo (JIT, por las siglas de *just-in-time*)²² llegó a Estados Unidos cambiando la percepción de los productos japoneses que se venden ahí. La reputación de los productos japoneses y chinos se transformó de una de baja calidad en términos de fallas de producto o descomposturas, a finales de la década de 1960 y principios de la siguiente, a una de alta calidad a finales de la década de 1970 y principios de la de 1980.²³

Suponga que dos personas, Lin y Jim, están en puestos de trabajo diferentes. Lin toma un bloque de madera y hace un orificio en él. Jim coloca una clavija de madera en la abertura. El orificio tiene

que ser exacto. Si el orificio es demasiado grande, la clavija entra holgadamente. Si el orificio es demasiado pequeño, la clavija no se introduce.

Suponga que el taladro de Lin no es confiable, pero perfora muchos bloques y produce 20 días de suministro. Los días de suministro (DOS, por las siglas de *days of supply*) son el inventario dividido entre el inventario previsto por día. Por ejemplo, se producen 100 unidades de inventario, y el pronóstico es de 5 unidades por día. Esto equivaldría a 20 días de suministro ($DOS = 100 \text{ unidades} / 5 \text{ unidades/día} = 20 \text{ días}$).

Pero el taladro de Lin se descompone y piensa que el taladro estaba perforando orificios del tamaño correcto antes de la avería. Sin embargo, Jim señala que los orificios no tenían el tamaño correcto y pregunta a Lin por qué no son correctos. Lin no tiene idea porque han pasado casi 20 días desde que se descompuso el taladro, y se ha desperdiciado el material de 20 días debido al problema de la broca.

Ahora cambiemos el escenario eliminando todo el inventario. El taladro está trabajando, pero la broca no se ha cambiado durante mucho tiempo. Jim se acerca a Lin con la misma preocupación: las clavijas no se ajustan a los orificios. Lin responde cambiando la broca inmediatamente. Esto ilustra la idea clave detrás del JIT: crear bucles de retroalimentación más cortos, que impulsen el aprendizaje para mejorar la calidad. La idea es que conforme aumenta el inventario se alarga el bucle de retroalimentación y se ocultan los problemas que podrían estar sucediendo en los procesos desde la fabricación hasta la venta.

Hay un problema con el acoplamiento entre escenario inicial y el segundo escenario. Si el inventario se agota o se elimina, y no se ha hecho nada por mejorar o reemplazar la broca, cuando se descompone el taladro, Jim no puede trabajar y debe esperar. La falta de un colchón de inventario cuando se avería el taladro es más que un quebranto en este escenario, que tener algún inventario y los costos asociados con éste para permitir componer el taladro y restaurar la producción. Para reducir el inventario, se deben realizar verificaciones para asegurarse de que el taladro sea confiable.

Inventario de productos terminados

El inventario de productos terminados es el inventario en su forma final después de la producción. Puede incluir tanto al inventario de ciclo como al inventario de seguridad. Debido al valor agregado, mantener inventario de productos terminados es más caro que trabajar con inventario en proceso, lo cual a la vez es más costoso que mantener inventario de materias primas. Además, una vez que se produce el inventario de productos terminados, puede deteriorarse, estropearse, volverse obsoleto, dañarse o ser robado. Todo esto puede suceder con cualquier inventario pero, por ejemplo, es más probable que puedan robar un automóvil que una hoja de metal. Para un productor, también existe el dilema de dónde almacenar el inventario de productos terminados: en la fábrica, en un centro de distribución, en varios centros de distribución, en centros de distribución de los clientes o en alguna combinación entre todo ello. Cuando se ordena el producto de un proveedor, el pedido llega a menudo en una sola vez, mientras que el pedido desde su propia instalación de producción se acumula con el tiempo. Por lo tanto, la cantidad de pedido óptima es diferente de la cantidad de producción óptima.

Inventario de piezas de repuesto

El inventario de piezas de repuesto es un inventario de componentes que se usan en productos terminados. Las piezas de repuesto se utilizan para mantenimiento y reparación. El mantenimiento se suele programar de antemano, por lo que la planeación de inventario de piezas de repuesto es como planear un proyecto. El proyecto es el mantenimiento, y las piezas de repuesto tienen que estar ahí cuando se va a dar mantenimiento. Sin embargo, la necesidad de piezas de repuesto para su uso en la reparación no está prevista, aunque en algunos casos sí se puede pronosticar. Existen algunas leyes que establecen que las piezas de repuesto se deben mantener durante cierto número de años después de que se descontinúa el producto.

Costos del inventario²⁴

Un minorista tiene dinero invertido en el inventario de una marca de fórmula para bebé. Generalmente, en Estados Unidos, si a una persona se le prescribe una fórmula específica para bebés en el hospital en el momento del nacimiento del niño, la mayoría de la gente no cambia a otra marca de fórmula durante el tiempo que el bebé necesita la fórmula. Se cree que cambiar la fórmula causaría problemas estomacales para el bebé. Por lo que el escenario del comportamiento del consumidor asociado con esta tendencia es que si una marca de fórmula no se ofrece a un minorista en particular, el consumidor irá a otra tienda que tenga esa marca de fórmula.

Cuando los minoristas se encuentran en esta situación, no saben cuánto dinero pierden en ventas porque no conocen cuál es la demanda durante este intervalo de tiempo. Pero sí saben cuánto dinero han invertido en inventario para ese producto en las tiendas a nivel nacional. Suponga que un minorista tiene 3,000 tiendas y \$10 invertidos en inventario en cada tienda para esta marca específica, lo que hace \$30,000 en inventario. Sin embargo, ¿cuánto cuesta tener \$1 invertido en inventario? Un costo es que el minorista quizá tenga una deuda que podría pagar. Por consiguiente, el indicador real del costo asociado por tener este inventario se convierte en averiguar el costo de oportunidad, o lo que un minorista podría hacer con esos \$30,000 invertidos en inventario, si tomara ese dinero e hiciera alguna cosa más rentable con él. Ése es el costo del inventario, y en estos términos el costo de mantener el inventario puede ser alto para un minorista con un aumento de inventario y muchas oportunidades de crecimiento, dependiendo de lo que pueda hacer con el dinero.

Debido a que los costos de oportunidad son difíciles de evaluar, normalmente las empresas utilizan el costo ponderado del capital para determinar su costo asociado con el inventario, si acaso lo hacen.

La administración del inventario requiere el equilibrio de varios costos. Se deben considerar varias preguntas clave en la administración del inventario: ¿Cuánto inventario necesito? ¿Qué proceso se deberían utilizar para reabastecer el inventario? ¿Cómo afectan los costos al proceso de reabastecimiento? ¿En qué costos incurriré si tengo demasiado o muy poco inventario?

Para responder a esas preguntas se tiene que comenzar por considerar los costos. Si tengo \$1 invertido en inventario, los costos asociados con él se llaman costos de oportunidad, o lo que haría si no estuviera en inventario. Cada dólar en inventario se podría utilizar para otras cuestiones. Los costos de oportunidad podrían causar pérdidas al no reducir la deuda o no invertirse en otras acciones importantes.



Hay varias maneras de calcular el costo real de los costos de oportunidad. Una ecuación sencilla es la siguiente: costo promedio ponderado del capital = costo de la deuda + el costo del capital. Pero la ecuación no hace el cálculo del mejor rendimiento que podría obtenerse mediante la inversión en algo que no sea inventario. Sin embargo, es difícil de calcular.

Quienes toman las decisiones deben tener cuidado al incluir los costos de almacenamiento en el inventario. No deberían incluir los costos de almacenamiento en los cálculos si los costos son fijos, a menos que se asienten con base en cuánto inventario tienen. Suponga que usted tiene un centro de distribución (DC) de un millón de pies cuadrados y que va a mantenerlo, aun cuando sólo utiliza 75 por ciento de él. El inventario varía entre 50 y 80 por ciento, y está en una buena ubicación. En este caso, se puede no considerar el costo de almacenamiento. Pero digamos que está utilizando un almacén público donde le cobran por la cantidad de inventario que tiene. En este caso, se tiene que incluir en los cálculos porque es variable.

Los costos por merma están asociados con robo, pérdida o deterioro de un producto. Usted puede ver históricamente los niveles de reducción que tiene, y también notar qué niveles de inventario tiene y hacer una regresión. Puede hacer un diagrama de dispersión con el nivel de inventario promedio contra la merma y obtener la regresión donde la pendiente sea el factor de reducción. La merma de algunos artículos puede ser alta porque son pequeños y costosos, y así, fácilmente son robados. Los plátanos son un artículo común que cae en la categoría de merma debido al deterioro.

Algunos productos se vuelven obsoletos con el transcurso del tiempo, e incurren en costos de obsolescencia. Cuando se introdujeron los procesadores 486 en el mercado de las computadoras personales, los viejos modelos quedaron obsoletos a los ojos de los consumidores, aunque no eran obsoletos tecnológicamente. Para los comerciantes de PC en la década de 1990 éste fue el mayor factor en los costos de inventario, porque tenían protección de precios. En este caso, si el precio al menudeo bajaba mucho, el fabricante tenía que compensar el costo para el minorista. El mismo análisis de la merma se puede aplicar a la obsolescencia.

Algunos estados aplican impuestos por inventario. La mayoría de ellos son estados muy poblados, donde usted quiere mantener el inventario, porque desea que el producto esté cerca de la mayor concentración de clientes.

Todos estos costos de mantenimiento del inventario combinados se representan como un porcentaje del valor del inventario para un año, h . Sea c el valor unitario del inventario. Por lo que el costo de llevar una unidad de inventario para un año es $H = hc$.

Inversión en inventario, costo y valoración

El inventario es un activo. El inventario en el balance general se presenta como un activo y es una instantánea del valor del inventario en determinado momento. El costo del inventario no aparece en los estados financieros. Ya hemos estudiado el costo del inventario, el cual, con frecuencia, está representado por un factor de costo de mantenimiento del inventario, h , y se basa en todos los factores que incrementan el costo de mantenimiento del inventario, incluyendo aquellos que ya hemos analizado. Para calcularlo, el valor del inventario se multiplica por el factor de costo de

mantenimiento del inventario. Para calcular el valor del inventario, se toma el valor por unidad multiplicado por el número de unidades del inventario. Al igual que en el balance general, a veces se desea conocer el valor del inventario en un momento dado. En otras ocasiones, se desea saber el valor del inventario promedio durante algún tiempo en el pasado o el valor esperado del inventario en el futuro.

En contabilidad, hay tres métodos bien conocidos para determinar el valor del inventario que incluyen primero en entrar, primero en salir (FIFO, por las siglas de *first-in, first-out*), último en entrar, primero en salir (LIFO, por las siglas de *last-in, first-out*) y el costo promedio. Para el FIFO, el costo de las primeras unidades en entrar se asigna a las primeras unidades en salir; para el LIFO, los costos de las últimas unidades se asignan a las primeras unidades en salir; y para el costo promedio, el costo de la unidad promedio se asigna a cada unidad que sale. También existe la cuestión de utilizar los costos estándar o los costos reales. Los costos estándar se utilizan en la contabilidad para simplificar las cosas para que no tengan que usar un costo diferente para cada SKU. Pero cuando estamos tomando decisiones de inventario y analizando el rendimiento del inventario, queremos usar el costo real de un producto.

Un problema asociado con el cálculo del valor actual del inventario consiste en saber cuánto inventario tiene realmente. Incluso para una SKU puede ser difícil saber cuánto inventario está disponible. La investigación muestra que el inventario puede estar sesgado a la baja significativamente. Los nodos de almacenamiento de inventario a menudo tienen un sistema de inventario perpetuo que realiza un seguimiento del inventario disponible. Agrega unidades recibidas y resta unidades vendidas o utilizadas. Una vez más, la investigación muestra que los sistemas de inventario perpetuo a menudo presentan errores significativos.

Los errores en el inventario perpetuo dan lugar a errores en el cálculo del valor del inventario disponible, la estimación del inventario promedio durante cierto intervalo de tiempo, y lo oportuno y la cantidad de los pedidos. Por ejemplo, un sistema (Q,ROP) hace pedidos cuando la posición del inventario alcanza el ROP. La posición del inventario es igual al inventario disponible y bajo pedido, menos los pedidos retrasados, por lo que si el disponible está mal, la posición de inventario quedará sesgada a la baja. Para el proceso (T,OUL), su pedido es la diferencia entre OUL y la posición del inventario. Claramente, con cualquiera de estos procesos, los errores en el inventario perpetuo pueden dar como resultado un exceso de inventario (más de lo que creemos que tenemos) o inventario agotado.

Un concepto importante para recordar es que hay una diferencia entre el valor del inventario y el costo del inventario. A veces las personas confunden una reducción de inventario de \$1 millón con una reducción en los costos del inventario de \$1 millón. Si el inventario se reduce \$1 millón, la reducción del costo se debe calcular multiplicando la reducción por el factor de costo de mantenimiento del inventario.

En un sistema de inventario (Q,ROP)²⁵ el inventario de ciclo esperado es $Q/2$, por lo que el costo esperado de mantenimiento del inventario de ciclo es $(Q/2)hc$. La cantidad de inventario de seguridad en un sistema (Q,ROP) es $(ROP - EDDLT)$ donde EDDLT (*expected demand during the lead time*) es la demanda esperada durante el plazo de entrega, así que el costo esperado de mantener el inventario de seguridad es $(ROP - EDDLT)hc$.

Costos de pedido fijos y variables

Los costos de pedidos son otra categoría de costos asociados con el inventario que analizamos en este libro. Hay dos categorías sobresalientes de los costos de pedido, a saber, los *costos de pedido variables* y los *costos de pedido fijos*. Los costos de pedido variables son el costo por unidad, en tanto que los costos de pedido fijos son el costo por pedido. Por ejemplo, el precio por unidad de inventario pedida tendrá un costo de pedido variable, mientras que el costo de una carga de camión completo de producto que se pidió tendrá un costo de pedido fijo, si cada unidad de camión es la modalidad. No obstante, si se envió menos que una unidad de camión (LTL, por las siglas de *less than truckload*), entonces sería un costo de pedido variable, porque los índices de la LTL se dan en términos que dependen de cuántas unidades se transportan.²⁶ Otros costos asociados con los costos de pedido fijos incluyen costos adicionales debido a colocar pedidos, recibir pedidos, pagar facturas y conciliar los errores de coincidencia en las facturas. A lo largo del libro, donde sea evidente según el contexto, sólo nos referimos a los costos de pedido fijos como los costos de pedido. El tipo más común de costo de pedido variable que estudiamos es el costo por unidad, c , que en muchas de las discusiones es el costo que se paga por artículo. Sin embargo, hay algunos costos por unidad y algunos costos por pedido —como los costos de transporte—, de los cuales detallamos su efecto en las decisiones respecto del inventario.

Costo de inventario agotado

Resulta costoso tener inventario, pero también es costoso no tenerlo.²⁷ El servicio al cliente es una variable de la que hablamos en la administración del inventario, pero tiene un significado limitado. Imagine que un cliente está buscando naranjas chinas en un supermercado. Muchas personas consideran que un buen servicio al cliente significa que, al entrar en una tienda, un empleado sonriente y cuidadosamente vestido pregunte al cliente que está buscando y lo dirija hacia donde se encuentran las naranjas chinas. El tipo de servicio al cliente que consideramos es preguntarnos cuál es la probabilidad de que, en este caso, el tendero tenga ese tipo de naranjas en inventario, dado que las surten. Generalmente, a mayor inventario promedio de naranjas chinas que tenga el tendero, mayor será la probabilidad de que el minorista las tenga en inventario, lo cual se traduce en un mejor servicio al cliente en este rubro. Pero cuando el artículo no está en inventario, ¿cuál es el costo de las ventas perdidas?

Suponga que su cónyuge le dice que vaya a la tienda a buscar una fórmula de bebé Similac tarde en la noche. Usted decide también llevar algunas otras cosas que necesita mientras busca la fórmula. Después de poner algunas cosas en la canasta de la tienda de abarrotes, llega a la sección de la fórmula para bebés y se da cuenta de que la tienda no tiene nada de la marca que debe conseguir. Como no desea formarse a la caja registradora sólo con esos artículos y tiene que ir por la fórmula a otra tienda, decide dejar sus artículos ahí y dirigirse a otra tienda, que podría tener la marca que desea. Conduce a otra tienda de abarrotes, que tiene el artículo en los anaqueles, y lo compra junto con los demás artículos que usted necesita.

Este escenario se traduce en un costo aún mayor para el primer minorista que el margen que perdió, porque usted iba a comprar más artículos además de la fórmula. Los artículos que no compró en la primera tienda se incluyen en el costo real por ventas perdidas.

El costo de que no haya inventario no fue sólo el margen de utilidad por la Similac. Así que suponga que el primer minorista vende la fórmula a \$2 (dólares) y la compra a \$0.50, con un margen de utilidad de \$1.50.²⁸ Por lo tanto, el costo de las ventas perdidas para la fórmula únicamente fue de \$1.50, pero el minorista también perdió ventas de los demás artículos.

Esto puede ser complicado de calcular, pero se está volviendo más preciso, ya que los minoristas recopilan datos sobre todo lo que hay en un recibo de compra. Eso significa que pueden determinar la utilidad promedio de la despensa de alguien, dado que la persona compró esa fórmula. Los minoristas también pueden calcular la probabilidad de que alguien salga de la tienda si la persona no puede comprar una marca específica de fórmula u otros productos.²⁹

Si vamos a la tienda en busca de lápices y la tienda carece de una marca, lo más probable es que no vayamos a otra tienda para encontrar una marca específica. En general compraremos otra marca. Si compramos otra, el costo de que no haya inventario de la marca inicial no es una pérdida del margen de utilidad, porque probablemente compraremos otros lápices que sean similares en cuanto al margen de utilidad. Entonces, aunque hubo un inventario agotado, no hubo pérdida de venta.

Me gusta desayunar cereal X, y lo he estado comprando durante 25 años. Nunca he comprado el producto de marca propia que mi minorista ofrece, ya que pensaba que probablemente no tendría buen sabor. Un día en la tienda estoy por comprar el cereal X, pero la tienda no tiene inventario. Me doy cuenta de que hay inventario del producto de la marca propia (una marca propiedad del minorista). El cereal de marca propia se vende por 1 dólar menos por caja, pero suponga que el minorista tiene un margen mayor con su marca privada que con el cereal X. En este punto, el costo del inventario agotado depende de mi comportamiento. Por un lado, podría comprar el producto de marca propia y quedar satisfecho, pero regresar a comprar el cereal X a partir de entonces. En este caso, hay un costo negativo de una venta perdida porque el minorista en realidad tiene un mayor margen con el producto de marca propia en una única ocasión, pero a partir de entonces el minorista tiene un margen menor con la compra continua del cereal X. Esto no considera la pérdida de mi buena voluntad.

Por otro lado, el peor de los casos para el fabricante del cereal X es que yo compre la marca propia del minorista después de que se agotó la marca X y decida que me gusta más la marca propia. Si me gusta la marca propia, entonces mi cambio de marca tiene menor costo para mí, pero el minorista ha obtenido realmente una utilidad más alta a partir del mayor margen que obtiene ahora gracias a mi cambio de marca. Por lo tanto, el escenario original de que la marca X estuviera agotada produjo un resultado positivo por la falta de inventario del minorista, debido al mayor margen del producto de marca propia y para mí también. Esta categoría de inventario agotado por lo general se ignora.

Cuando iniciaron las impresoras de inyección de tinta, Hewlett-Packard (HP) era uno de los pocos fabricantes que ofrecieron cartuchos de tinta. Si alguien que trabaja desde su casa se quedaba sin tinta mientras imprimía un archivo, iría a la tienda de artículos de oficina más cercana que vendía los cartuchos. Si esa tienda no tenía cartuchos, entonces iría con el competidor más cercano para buscar lo que necesitaba. Suponga que en la segunda tienda sí había inventario. El comportamiento del cliente es tal que si el producto necesario está agotado varias veces consecutivas en una tienda específica, el cliente simplemente evitará ir en definitiva con el primer minorista. Si ello sucede, el minorista no sólo

habría perdido la utilidad por la compra de un cartucho, sino por cualquier otra cosa que el cliente pudiera comprar, además de todas las compras que podría haber hecho en el futuro.

Sin embargo, cuando HP comercializó por primera vez las impresoras de inyección de tinta, no había cartuchos sustitutos de otras marcas contra las que HP pudiera competir. En ese escenario, el proveedor tiene todo el poder, así que si no hubiera inventario, HP no tendría que preocuparse de que el cliente fuera a otro sitio para obtener los cartuchos. En cambio, un minorista asumió todo el riesgo de que no hubiera inventario, debido a que no tenía otros cartuchos que ofrecer al cliente.

Con el tiempo, los cartuchos rellenos de marcas distintas de HP comenzaron a llegar al mercado. Al principio, los clientes evitaron comprarlos debido a sus preocupaciones sobre la calidad o al temor de que dañara sus impresoras. Algunos clientes intentarían con un cartucho relleno que no era HP, si hubiera falta de inventario del otro producto. No querían pasar por la curva de aprendizaje de averiguar cómo rellenar un cartucho, pero tampoco querían conducir a otra tienda para buscar un cartucho nuevo. Por ello, algunos clientes intentaron rellenar y otros continuaron comprando los rellenos.

Notas

1. Si se hacen suposiciones matemáticas poco realistas y estrechas acerca de la distribución de probabilidad de la demanda y del plazo de entrega, así como de la naturaleza del proceso de reabastecimiento por sí mismo, es posible que las perspectivas prospectiva e histórica sean las mismas a largo plazo. El problema es que a menudo la demanda no es estacionaria y no está bien representada por una distribución de probabilidad. Esto no quiere decir que no se deba utilizar una distribución como una estimación práctica de cuánto inventario se necesita.
2. Hadley, George y Thomson M. Whitin. *Analysis of Inventory Systems*. Nueva York: Prentice Hall, 1963.
3. Johnson, M. Eric *et al.* "Expressions for Item Fill Rates in Periodic Inventory Systems". *Naval Research Logistics* (NRL) 42.1 (1995): 57-80.
4. La posición de inventario es igual al número de unidades disponibles más el número de unidades pedidas, menos el número de unidades pendientes de surtir.
5. Si alguien estaba en una caja registradora y quería comprar una barra de chocolate específica, pero esa marca estaba agotada, sería una venta perdida, no un pedido pendiente de surtir, porque el comprador no va a esperar. Puede ser que la próxima vez que la persona llegue a la tienda, pueda comprar una barra de chocolate, pero es una venta por completo distinta. Mientras que si un centro de distribución del minorista pide una marca bien conocida de detergente de lavandería y el proveedor no tiene inventario, el minorista probablemente esperará hasta que esté disponible y, luego, el proveedor enviará el producto al centro de distribución del minorista. En este ejemplo, la falta de inventario da como resultado un pedido pendiente de surtir.

6. Coyle, John, Edward Bardi y E. J. Bardi. *The Management of Business Logistics*. Nueva York: Langley, 1996.
 7. Zipkin, Paul. *Foundations of Inventory Management*. Irwin, NY: McGraw-Hill, 2000.
 8. La diferencia entre $(Q + 1)/2$ y $Q/2$ es muy pequeña para Q grandes. La mayoría de los libros de texto sólo estudian $Q/2$.
 9. En realidad $(900 + 1)/2 = 450.5$. Ésta es una diferencia insignificante.
 10. En este caso $(Q + 1)/2$ hace una gran diferencia: 600 frente a 700 botellas.
 11. Si es posible tener el pedido atrasado por falta de inventario, es posible que el inventario de seguridad sea negativo.
 12. Silver, Edward Allen, David F. Pyke y Rein Peterson. *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. Vol. 3. Nueva York: Wiley, 1998.
 13. Zipkin, P. *Foundations of Inventory Management*. Irwin, NY: McGraw-Hill, 2000.
 14. Nahmias, Steven. *Production and Operations Analysis*. Irwin, NY: McGraw-Hill, 2005.
 15. Coyle, John J., Edward J. Bardi y C. John Langley. *The Management of Business Logistics*, Nueva York: West Pub, 1996.
 16. Un nodo es un lugar donde se mantiene el inventario hasta que se recibe un pedido o hasta que se compra el inventario.
 17. “En el plazo de entrega” significa que se encuentra en el periodo comprendido entre que se hizo el pedido hasta el momento de su recepción y disponibilidad para su uso o venta. Esta última parte es también importante, es decir, la “disponibilidad para uso o venta”. Sólo porque el camión se cargue y se reciba no significa que el plazo de entrega haya terminado. Es particularmente importante definir correctamente el plazo de entrega.
 18. Esto podría ser cualquier unidad de tiempo, pero la que se use debe ser consistente con la unidad de tiempo utilizada en el plazo de entrega.
 19. Eroglu, Cuneyt, Brent D. Williams y Matthew A. Waller. “The Backroom Effect in Retail Operations”. *Production and Operations Management* 22.4 (2012): 915-923.
 20. Stassen, Robert E. y Matthew A. Waller. “Logistics and Assortment Depth in the Retail Supply Chain: Evidence from Grocery Categories”. *Journal of Business Logistics* 23.1 (2002): 125-143.
 21. POS significa punto de venta y es información sobre qué productos se venden a qué precio, en qué tiendas y en qué cantidades. Era común que antaño, al final del día, una tienda minorista sabría cuánto vendió sumando el efectivo de sus cajas registradoras. Las sedes corporativas sabrían cuántos ingresos se generaron cuando se sumaran todas estas ventas. No sabían con certeza qué SKU específicas se vendieron. Del mismo modo, los proveedores sólo sabían cuánto vendían a los minoristas. No sabían qué tiendas vendían qué, ni cuándo. Los proveedores de los minoristas a veces llaman al POS *ventas en datos* y a los envíos a los minoristas *ventas a través*
-

de datos. El POS se monitorea sobre una base diaria, pero también se puede monitorear cada hora o minuto por minuto. Todas las SKU en una tienda tienen un POS diario, aunque puede ser cero algunos días. Un club mayorista podría tener 5,000 SKU, mientras que una tienda de comestibles combinada con la tienda de mercancías en general puede tener 150,000 SKU. Imagine una tienda con 150,000 SKU. Cada una tiene un registro de ventas diario, un POS. Si hay 1,000 de estas tiendas, es un total de 150,000,000 de registros por cada día.

22. Schonberger, Richard J. *Japanese Manufacturing Techniques: Nine Hidden Lessons in Simplicity*. SimonandSchuster.com, 1982.
 23. *Ibid.*
 24. La Londe, Bernard J. y Douglas M. Lambert. "A Methodology for Calculating Inventory Carrying Costs". *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 7.4 (1977): 193-231.
 25. Suponiendo que el inventario es continuo y/o discreto.
 26. Explicaremos esta diferencia con mayor detalle en el capítulo 3.
 27. Emmelhainz, Margaret A., James R. Stock, y Larry W. Emmelhainz. "Consumer Responses to Retail Stock-outs". *Journal of Retailing* 67.2 (1991): 138-147. Gruen, Thomas W., Daniel Corsten y Sundar Bharadwaj. *Retail Out-of-Stocks: A Worldwide Examination of Extent, Causes and Consumer Responses*. Washington, DC: Grocery Manufacturers of America, 2002. Corsten, Daniel y Thomas Gruen. "Desperately Seeking Shelf Availability: An Examination of the Extent, the Causes, and the Efforts to Address Retail Out-of- Stocks". *International Journal of Retail & Distribution Management* 31.12 (2003): 605-617. Corsten, Daniel y Thomas Gruen. "Stock-Outs Cause Walkouts". *Harvard Business Review* 82.5 (2004): 26-28.
 28. Esto es hipotético.
 29. Probablemente aún es raro que las empresas hagan esto, pero lo deberían hacer y tal vez algún día lo harán.
-

3 Control del inventario

El objetivo de este capítulo es explicar los procesos de control del inventario¹ y el efecto de la incertidumbre sobre tales procesos. En el control del inventario, enfrentamos incertidumbre en la demanda, en el plazo de entrega y, a veces, en el intervalo de revisión mismo. Cuando colocamos un pedido, si se eleva la demanda, podría agotarse el inventario antes de que llegue el inventario. Por otro lado, la demanda podría ser estable, mientras que el plazo de entrega tarda más de lo esperado, posiblemente dando como resultado que el inventario quede en cero.² El hecho es que existe incertidumbre tanto en la demanda como en el plazo de entrega, y tiene un impacto significativo sobre el desempeño general de un sistema de control del inventario. Además de la incertidumbre en la demanda y en el plazo de entrega, hay incertidumbre en la ejecución de las tareas implicadas en el proceso del inventario, pero no examinaremos este tipo específico de incertidumbre sino hasta el capítulo 5, “Simulación de eventos discretos de los procesos de inventario”.

Incetidumbre en los procesos del inventario

Muchas variables afectan las ventas reales de una SKU determinada: clima, número de compradores en una tienda, inventario pendiente de surtir de productos sustitutos, anuncios, promociones, cambios demográficos, congestionamientos viales, social media, precio, ubicación, profundidad y amplitud del surtido, ampliaciones del estacionamiento, construcción de carreteras, reportes de noticias y muchas otras. Del mismo modo, hay una gran abundancia de factores en el plazo de entrega, incluyendo la distancia, los procesos de recepción de pedidos, los procesos de selección de pedidos, la disponibilidad del producto, los procesos de clasificación de pedidos, la confiabilidad del transportista, el medio de transporte y muchos otros. Por consiguiente, cuando usted combina todos ellos en la demanda durante el plazo de entrega, enfrentará diversas fuentes de incertidumbre.

Considere un centro de distribución minorista que solicite de un proveedor una SKU particular de detergente para ropa. La tabla 3-1 muestra la demanda durante el plazo de entrega para 60 pedidos:³

Tabla 3-1 Demanda durante el plazo de entrega para un centro de distribución minorista

Pedido	DDLT	Pedido	DDLT	Pedido	DDLT	Pedido	DDLT
1	61	16	39	31	38	46	33
2	41	17	55	32	29	47	45
3	47	18	31	33	44	48	51
4	44	19	61	34	69	49	50
5	53	20	53	35	63	50	50
6	46	21	59	36	48	51	35
7	36	22	42	37	47	52	77
8	57	23	31	38	51	53	50
9	35	24	61	39	64	54	65
10	32	25	58	40	44	55	29
11	49	26	70	41	50	56	31
12	67	27	38	42	57	57	34
13	52	28	58	43	43	58	69
14	46	29	53	44	53	59	54
15	35	30	34	45	47	60	47

Suponga que el centro de distribución atiende a 200 tiendas. Las columnas son demanda durante el plazo de entrega o DDLT (*demand during lead time*). Después de que el centro de distribución hace un pedido con este proveedor específico, realiza un seguimiento de cuántas unidades se piden en las tiendas y las suma hasta que se recibe el pedido y está disponible para su uso. Por lo tanto, en la tabla 3-1 la incertidumbre en la demanda durante el plazo de entrega representa una combinación de incertidumbre de la demanda e incertidumbre en el plazo de entrega.⁴ La figura 3-1 es una representación gráfica de la tabla 3-1.

En la figura 3-1, el eje horizontal es el número del pedido, y el eje vertical, la demanda durante el plazo de entrega. No hay patrón en la demanda durante el plazo de entrega, de manera que la variabilidad se debe a la aleatoriedad.

Representación de la incertidumbre con distribuciones empíricas

La figura 3-2 es un histograma de la demanda durante el plazo de entrega, donde el eje horizontal es el número de contenedor y el eje vertical es la frecuencia. Por ejemplo, hubo 2 pedidos donde la demanda durante el plazo de entrega fue de 30 unidades o menos, 10 pedidos donde la demanda durante el plazo de entrega fue mayor de 30 pero menor o igual a 35, y así sucesivamente. Esto se podría convertir en una distribución de probabilidad empírica, que serviría para representar la demanda durante el plazo de entrega.

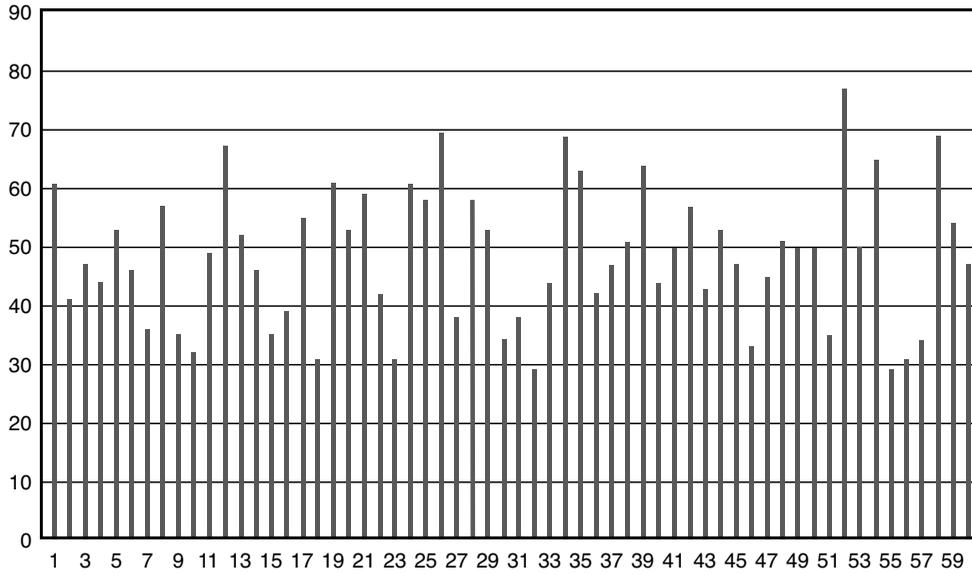


Figura 3-1 Demanda durante el plazo de entrega de un centro de distribución.

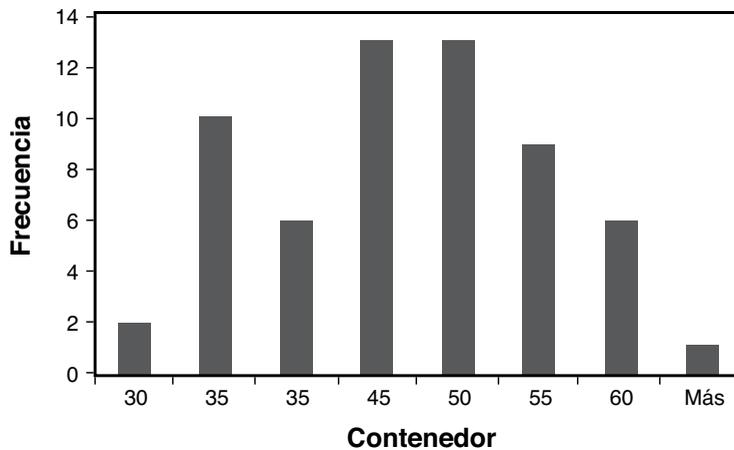


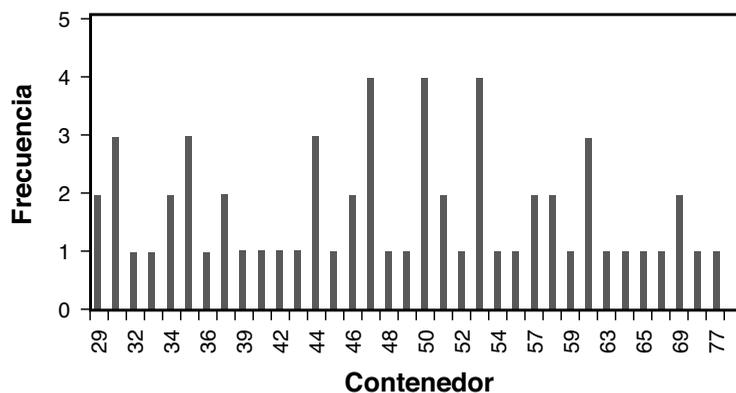
Figura 3-2 Histograma de la demanda durante el plazo de entrega.

La tabla 3-2 ilustra cómo el histograma se convertiría en una distribución de probabilidad empírica. Para cada contenedor, la frecuencia de observación se divide entre el número total de observaciones. Por ejemplo, para el contenedor que representa 30 o menos, hubo 2 observaciones, por lo que $2/60 = 0.03$. Usted podría incluso utilizar un contenedor para cada nivel real de DDLT observado.

Tabla 3-2 Distribución empírica de la demanda durante el plazo de entrega

Contenedor	Frecuencia	Probabilidad
30	2	0.03
35	10	0.17
40	6	0.10
45	13	0.22
50	13	0.22
55	9	0.15
60	6	0.10
Más	1	0.02
Total	60	

En ese caso, el histograma es la figura 3-3.

**Figura 3-3** Histograma de la demanda durante el plazo de entrega.

Al comparar las figuras 3-3 y 3-2, se observa que la figura 3-2 se parece más a una distribución normal. Sólo tenemos 60 observaciones, por lo que naturalmente no parece muy cerca de una distribución normal sino que, en efecto, se asemeja más a la de la figura 3-3. La tabla 3-3 muestra este histograma como una distribución de probabilidad empírica.

Tabla 3-3 Distribución de probabilidad empírica

Contenedor	Frecuencia	Probabilidad
29	2	0.03
31	3	0.05
32	1	0.02
33	1	0.02
34	2	0.03
35	3	0.05
36	1	0.02
38	2	0.03
39	1	0.02
41	1	0.02
42	1	0.02
43	1	0.02
44	3	0.05
45	1	0.02
46	2	0.03
47	4	0.07
48	1	0.02
49	1	0.02
50	4	0.07
51	2	0.03
52	1	0.02
53	4	0.07
54	1	0.02
55	1	0.02
57	2	0.03
58	2	0.03
59	1	0.02
61	3	0.05
63	1	0.02
64	1	0.02
65	1	0.02
67	1	0.02
69	2	0.03
70	1	0.02
77	1	0.02

Representación de incertidumbre con distribuciones normales

La tabla 3-3 se podría utilizar como la distribución de probabilidad para representar la demanda durante el plazo de entrega; asimismo, es más granular y representa lo que realmente sucedió. Sin embargo, el hecho de que tengamos una observación de 55 unidades, ninguna observación de 56 unidades y dos observaciones de 57 unidades significa que, si usáramos esa distribución para representar la demanda durante el plazo de entrega, no habría ninguna posibilidad de 56 unidades. Eso no parece ser una suposición razonable. Por otro lado, podríamos simplificar la distribución como la de la tabla 3-2. El desafío aquí consiste en seleccionar los intervalos apropiados para los rangos del contenedor. Diferentes selecciones de intervalos dan como resultado diferentes distribuciones de probabilidad empírica, las cuales pueden ser útiles para algunos propósitos, pero muchas veces son difíciles de trabajar y, por lo tanto, se aproximan con una distribución normal o alguna otra distribución continua. En este caso, la aproximaríamos mediante una distribución normal con una media de 49 unidades y una desviación estándar de 12 unidades, ya que son la media y la desviación estándar de las observaciones en la tabla 3-1.

El problema con la distribución normal es que puede tener valores negativos, que no tienen sentido para la demanda durante el plazo de entrega. Por lo tanto, probablemente no debería usar la aproximación normal, si la probabilidad de valores negativos es mayor que 0.01. Para comprobarlo en Excel, utilice la función =NORMDIST(0,49,12,1) que da un valor de 0.00002, mucho menor al 1 por ciento. El “0” en el argumento significa menos que cero, “49” es la media, “12” es la desviación estándar y “1” es una distribución acumulada. Esto se lee como sigue: La probabilidad de que una distribución normal con una media de 49 y una desviación estándar de 12 tenga un valor menor que 0 es 0.00002 o 2 posibilidades en 100,000. Si es mayor que 0.01, entonces, la distribución gamma es una alternativa. Veremos esta distribución más adelante en el capítulo.

Procesos de reabastecimiento del inventario

En este capítulo usamos muchas gráficas para representar sistemas de control del inventario. Como administrador de la cadena de suministro usted desea llegar al punto donde pueda trazar esas gráficas para ilustrar sus ideas o formular preguntas. Cuando dos personas tienen fuertes capacidades para dibujar tales gráficas, pueden comunicar más efectivamente sus ideas y conceptos sutiles. Por desgracia, según la experiencia de los autores, se trata de una capacidad rara. Cuando usted considera qué tan crucial resulta administrar el inventario para que la administración de la cadena de suministro sea exitosa, esa incapacidad de los gerentes de la cadena de suministro probablemente esté socavando la eficiencia de las cadenas de suministro, así como inhibiendo la innovación. Cuando la gente divaga acerca de sus descripciones de un proceso de reabastecimiento, un proceso realmente puede parecer innovador y convincente. Sin embargo, algunos de estos procesos, después de un análisis cuidadoso y riguroso, resultan tener deficiencias graves. Esperamos ayudarle a mejorar su capacidad de examinar rigurosamente diversos aspectos de los procesos de reabastecimiento usando gráficas de esos procesos, lo cual mejorará en gran medida su capacidad de comunicarse, crear e innovar. Como

advertencia, parte del estudio de las gráficas puede resultar tedioso, pero creemos que es necesario para obtener una competencia suficiente en la comunicación mediante gráficas de los procesos del inventario.

Fundamentos de los procesos de reabastecimiento del inventario

Con los modelos de inventario hay dos cuestiones por considerar: (1) la revisión continua contra la revisión periódica, y (2) los niveles de inventario continuos contra los niveles de inventario discretos. En un sistema de revisión continua,⁵ el nivel del inventario se supervisa continuamente, y tan pronto como se alcanza un punto de pedido (ROP, por las siglas de *reorder point*), se puede colocar un pedido. En un sistema de revisión periódica, los pedidos sólo se realizan en ciertos momentos. Los sistemas de control del inventario suponen ya sea niveles de inventario continuos como en galones de combustible, o niveles de inventario discretos como casos de barras de caramelo. Empezaremos por revisar los niveles de inventario continuos y, luego, trataremos todos los demás. Comenzamos con el sistema (Q,ROP) que se muestra en la figura 3-4.

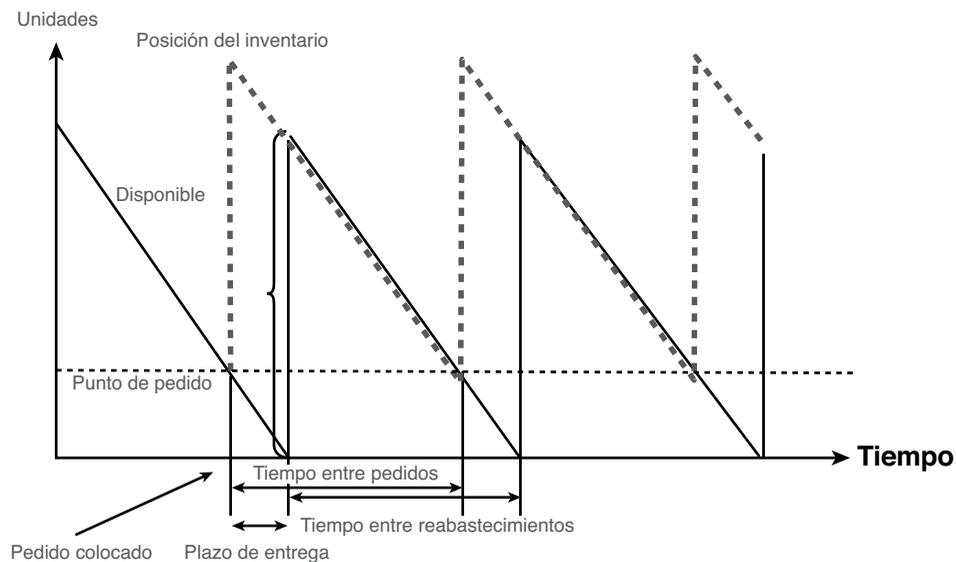


Figura 3-4 Representación gráfica de un sistema de inventario de revisión continua, inventario continuo (Q,ROP).

El eje horizontal es el tiempo y el eje vertical es el número de unidades. A partir del tiempo = 0, vemos que el inventario disponible está sesgado a la baja. La pendiente de esta recta es la tasa a la que se agota el inventario o la tasa negativa de la demanda. Por ejemplo, la pendiente de la recta podría ser -2 unidades diarias, así que la tasa de la demanda sería de 2 unidades por día. En la gráfica se observa que la pendiente de la recta no cambia, lo cual significa que la tasa de demanda es constante. Estamos

comenzando el análisis con la suposición poco realista de una tasa de demanda constante. Es útil para nuestros propósitos, ya que una vez que aceptamos una demanda incierta, todo se vuelve más complejo. Más tarde abandonaremos nuestro supuesto poco realista. Conforme siga la recta “disponible”, verá que finalmente llega a una línea punteada llamada “punto de pedido” el cual, en un sistema (Q,ROP), es el número de unidades de posición del inventario donde se debería efectuar el pedido.

Posición de inventario

Recuerde que en este proceso no se hacen pedidos para un punto en el tiempo, sino más bien para un número de unidades de la posición del inventario, y también que la posición del inventario es el disponible más el pedido menos los pedidos atrasados. Dado que no hay órdenes atrasadas ni órdenes pendientes (por el supuesto), el número disponible de unidades es igual a la posición del inventario. Por consiguiente, el número disponible de unidades ha llegado al punto de pedido. Observe que la posición del inventario está por arriba del punto de pedido. Eso es porque ahora la posición del inventario es el número de unidades disponibles más las pedidas. La cantidad pedida es Q en el proceso (Q,ROP). Por lo tanto, la línea punteada es la posición de inventario, y la recta continua es el disponible. Asimismo, observe que el “plazo de entrega” está escrito debajo del eje x , y se sitúa entre el momento en que se realiza el pedido y cuando se recibe el inventario y está disponible para su uso.

Observe que durante el plazo de entrega la posición del inventario tiene la misma pendiente que las unidades disponibles, pero está desplazada Q unidades.⁶ También advierta que al final del plazo de entrega, la posición del inventario y las unidades disponibles vuelven a estar juntas. Esto se debe a que, en este ejemplo, ya no hay pedidos pendientes. La llave ($\{$) a la izquierda del momento cuando se recibe el pedido representa la cantidad recibida, o bien, la cantidad del pedido, Q . Observe que hay otros dos intervalos de tiempo que se indican debajo del eje x , el “tiempo entre pedidos” y el “tiempo entre reabastecimientos”. Como tenemos una demanda constante y el plazo de entrega es constante, el tiempo entre reabastecimientos y el tiempo entre pedidos es el mismo. También, dado que tenemos demanda y plazo de entrega constantes y conocidos, no hay necesidad de inventario de seguridad, por lo que se dará cuenta de que tan pronto se acaban las unidades, llega el reabastecimiento y está disponible para su uso.

La figura 3-5 es similar a la 3-4 en que se trata de una revisión continua, un inventario continuo, una demanda y un plazo de entrega conocidos y constantes, y un proceso de inventario (Q,ROP). En este caso, ahora tenemos números asociados con el proceso. De nuevo, el eje horizontal es el tiempo y el eje vertical son las unidades. En este ejemplo, el plazo de entrega son cuatro días ($L = 4$ días), y las ventas diarias son 10 unidades, lo cual significa que las ventas durante el plazo de entrega son de 10 unidades por día multiplicadas por 4 días o bien 40 unidades. Entonces, para evitar que el inventario quede en cero, debemos realizar un pedido cuando la posición del inventario sea 40. Por consiguiente, el punto de pedido es de 40 unidades ($ROP = 40$). En este ejemplo, la cantidad ordenada es de 100 ($Q = 100$ unidades). Por lo que $(Q,ROP) = (100 \text{ unidades}, 40 \text{ unidades})$. En la gráfica, el punto de pedido se muestra como una línea punteada. Comencemos en el punto en el tiempo designado como $t = 0$, donde se coloca el pedido. Llamamos uno a este número de pedido.

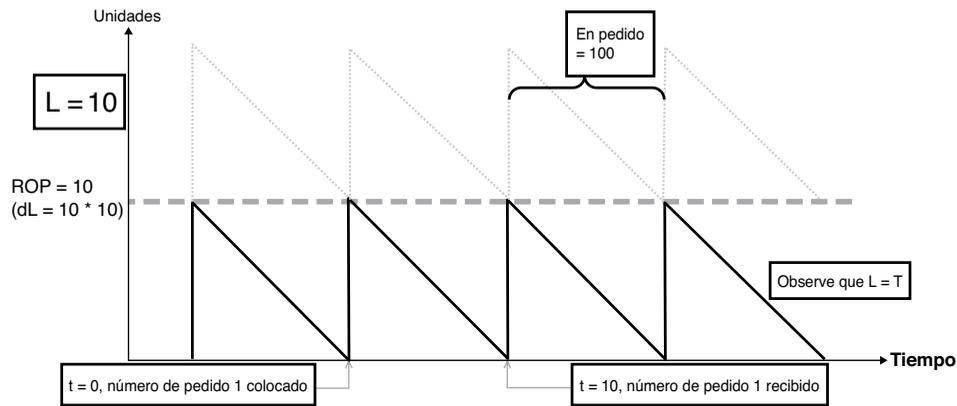


Figura 3-6 Ejemplo numérico de la representación gráfica de una revisión continua, inventario continuo, sistema de inventario (Q,ROP) donde el plazo de entrega es de 10.

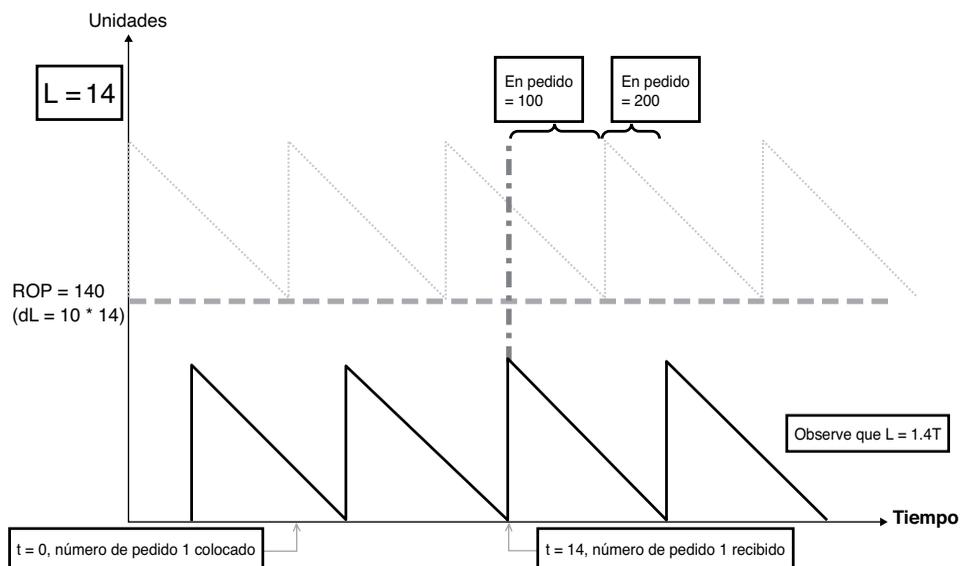


Figura 3-7 Ejemplo numérico de representación gráfica de una revisión continua, inventario continuo, sistema de inventario (Q,ROP) donde el plazo de entrega es de 14.

Demanda durante el plazo de entrega

La demanda durante el plazo de entrega puede aumentar, si la tasa de demanda crece o si el plazo de entrega aumenta, o ambos. De manera similar, la demanda durante el plazo de entrega puede ser

incierto, porque la demanda es incierta o porque el plazo de entrega es incierto, o ambos. En la práctica, la demanda y el plazo de entrega son inciertos. Consideremos esa situación ahora.

Todavía estamos suponiendo un sistema de inventario (Q,ROP), pero ahora suponemos que la demanda durante el plazo de entrega es incierta. La figura 3-8 es una distribución de probabilidad de la demanda durante el plazo de entrega.

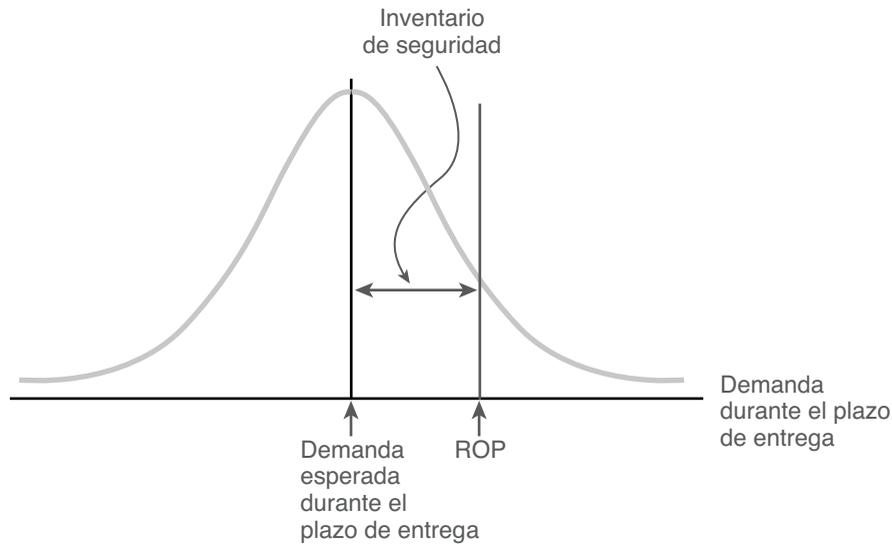


Figura 3-8 Distribución de probabilidad de la demanda durante el plazo de entrega.

En la figura 3-8, el eje horizontal es la demanda durante el plazo de entrega y el eje vertical (que no se muestra) es la densidad de probabilidad. El área bajo la curva es la probabilidad. El área total bajo la curva es 1. Recuerde que las probabilidades van de 0 a 1. La demanda esperada o pronosticada durante el plazo de entrega se designa en la distribución de probabilidad. Ahora, si se establece el punto de pedido en la demanda esperada durante el plazo de entrega, entonces, con base en cómo se traza esta distribución de probabilidad, con bastante frecuencia se agotaría el inventario durante el plazo de entrega. Por lo tanto, puede establecer el ROP más alto, como se indica en la figura 3-8. La métrica del periodo de protección del inventario (PPIS, por las siglas de *protection period in-stock*) es el área bajo la curva hasta el ROP. De esta manera, se dibuja lo que parece ser aproximadamente 90 por ciento de la zona, por lo que el PPIS = 0.90. Recuerde que no puede quedarse sin inventario en un sistema de inventario de revisión continua (Q,ROP) en cualquier momento, excepto durante el plazo de entrega. Por consiguiente, para este proceso, el PPIS es la probabilidad de permanecer con inventario durante el plazo de entrega que, en este caso, es el periodo de protección. Observe que el punto de pedido se compone de la demanda esperada durante el plazo de entrega más el inventario de seguridad. Recuerde que el inventario de seguridad es el número esperado de unidades disponibles cuando el reabastecimiento llega y está disponible para su uso. El inventario de seguridad se utiliza para prevenir la falta de inventario. Si aumenta el inventario de seguridad, aumentará el PPIS.

Si utilizamos una distribución normal para representar la demanda prevista durante el plazo de entrega, tendríamos que estimar la media y la desviación estándar de la demanda durante el plazo de entrega. Haríamos esto de diferentes maneras. Podríamos revisar el pasado y tomar la media y la desviación estándar de la demanda durante el plazo de entrega y, después, usar la función de Excel =NORMINV(PPIS,MEAN,STANDARD DEVIATION) para obtener el ROP que tiene el PPIS objetivo, dadas la media y la desviación estándar de la demanda durante el plazo de entrega. También podríamos usar modelos de pronóstico. Por ejemplo, pronosticaríamos la demanda diaria y, luego, calcularíamos la desviación estándar del error de pronóstico. Entonces, tendríamos que calcular la media y la desviación estándar del plazo de entrega. Luego, para calcular la demanda prevista durante el plazo de entrega, multiplicaríamos la demanda diaria pronosticada por el plazo de entrega promedio. Esto nos daría la demanda prevista durante el plazo de entrega. Luego, para calcular la desviación estándar de la demanda durante el plazo de entrega, usaríamos la siguiente fórmula:⁷

$$\sigma_{DDL T} = \sqrt{\bar{L} \cdot \sigma_{FE}^2 + \bar{d}^2 \cdot \sigma_L^2}$$

donde

$\sigma_{DDL T}$ = desviación estándar de la demanda durante el plazo de entrega

\bar{L} = plazo de entrega promedio

σ_{FE}^2 = desviación estándar del error pronosticado

\bar{d} = demanda pronosticada por periodo

σ_L = desviación estándar del plazo de entrega

Observe que estamos utilizando la demanda pronosticada por periodo, así como la desviación estándar del error de pronóstico. Un beneficio al usar la desviación estándar del error de pronóstico es que, si usted puede pronosticarlo, en realidad no necesita inventarios de seguridad. Si está utilizando inventario de seguridad para protegerse contra la incertidumbre y puede pronosticar la demanda con precisión, incluso cuando tiene mucha variabilidad, no necesita tanto inventario de seguridad como podría sugerir la desviación estándar de la demanda.

La tabla 3-4 presenta errores de pronóstico para los pronósticos de demanda de 60 días y los tiempos de espera asociados con 60 pedidos.

Tabla 3-4 Errores pronosticados para pronósticos de la demanda

Error de pronóstico	Plazo de entrega
11.49	1
8.15	1
(10.46)	1
(11.97)	1
9.83	1
8.46	1
12.17	1
(6.54)	1
(11.27)	1
6.95	1
7.18	1
(8.38)	1
(6.39)	1
(7.80)	1
(7.54)	1
(6.50)	2
7.10	1
(6.03)	1
7.67	1
(6.57)	1
6.33	1
(6.50)	1
7.65	1
6.09	1
10.73	1
6.61	1
(6.49)	1
6.18	1
(7.48)	1
(8.60)	1
(7.60)	1
7.76	1
(6.80)	2

Continúa



Continuación

Tabla 3-4 Errores pronosticados para pronósticos de la demanda

Error de pronóstico	Plazo de entrega
(7.09)	1
(7.51)	1
(7.93)	1
9.90	1
6.26	1
(7.39)	1
6.73	1
(6.15)	1

Si calcula la desviación estándar del error de pronóstico, encontrará que es de 8 unidades diarias; si calcula el promedio y la desviación estándar del plazo de entrega, encontrará que son de 1 día y 0.18 días, respectivamente. Suponga que el pronóstico es actualmente de 49 unidades por día, entonces, la desviación estándar de la demanda durante el plazo de entrega es

$$\sigma_{DDL T} = \sqrt{\bar{L} \cdot \sigma_{FE}^2 + \bar{d}^2 \cdot \sigma_L^2}$$

$$\sigma_{DDL T} = \sqrt{1 \cdot (8^2) + (49^2) \cdot (0.18^2)}$$

Esto da 12 unidades diarias. Ahora, la demanda pronosticada durante el plazo de entrega es el pronóstico de 49 unidades diarias, multiplicadas por el plazo de entrega previsto de un día, por lo que la demanda pronosticada durante el plazo de entrega es de 49. Podríamos utilizar la función de Excel =NORMINV(PPIS,MEAN,STANDARD DEVIATION) para obtener el ROP. Por lo tanto, si queremos un PPIS = 0.95, entonces =NORMINV(0.95,49,12) da 69 unidades; es decir, si tenemos un proceso (Q,ROP) y pedimos cuando la posición del inventario sea de 69 unidades, entonces tendremos inventario durante el periodo de protección el 95 por ciento de las veces.

No es necesario utilizar la fórmula

$$\sigma_{DDL T} = \sqrt{\bar{L} \cdot \sigma_{FE}^2 + \bar{d}^2 \cdot \sigma_L^2}$$

si observa la demanda durante el plazo de entrega para cada pedido, como lo hicimos en la tabla 3-1.

En tal caso, podemos utilizar directamente el promedio y la desviación estándar que calculamos a partir de la tabla 3-1. Recordemos que para la tabla 3-1, el promedio fue 49 y la desviación estándar fue 12. Por lo que, si queremos un PPIS = 0.95, entonces =NORMINV(0.95,49,12) da 69 unidades; es decir, si tenemos un proceso (Q,ROP) y ordenamos cuando la posición del inventario sea 69 unidades, tendremos inventario durante el periodo de protección el 95 por ciento de las veces.

En esta gráfica se observa que, si el ROP se mantuviera constante y la demanda prevista durante el plazo de entrega aumentara, efectivamente se reduciría el inventario de seguridad, suponiendo que la cantidad de incertidumbre permaneciera igual o aumentara.

La figura 3-11 ilustra el proceso de reabastecimiento (T, OUL). El eje horizontal es el tiempo y el eje vertical son las unidades, en este caso, barras de jabón. La línea punteada es el pedido hasta el nivel (OUL); q_1 es el primer pedido, y q_2 es el segundo pedido; la línea punteada es el momento en que se hace una revisión; la línea punteada en negrita es cuando se recibe un reabastecimiento y está disponible para su uso; las flechas gruesas de doble punta representan el plazo de entrega; y las flechas regulares de doble punta representan el tiempo entre las revisiones. Respecto de las líneas de la gráfica, la línea serpenteante sólida representa el inventario disponible; y la línea con puntos y rayas representa la posición del inventario.

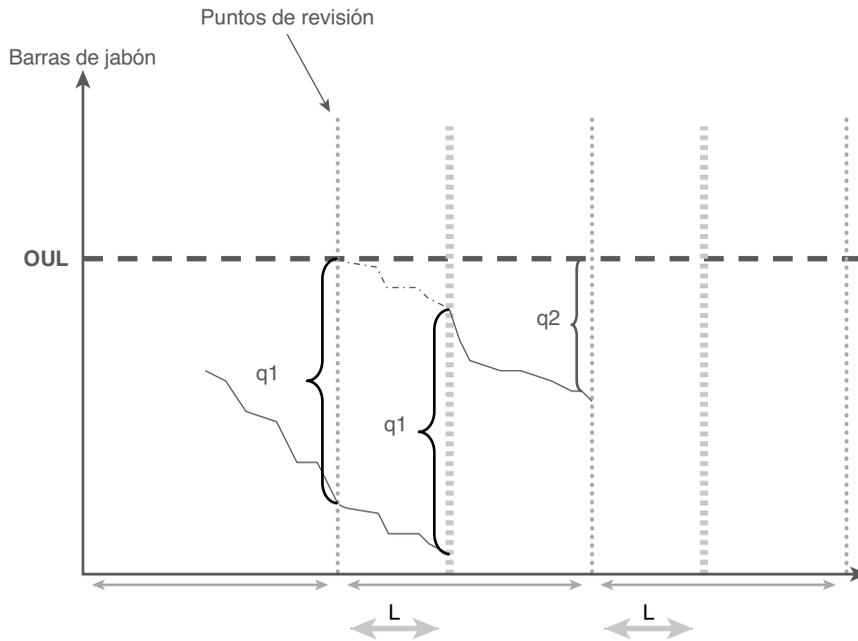


Figura 3-11 Proceso de reabastecimiento (T, OUL).

A partir de la mitad del intervalo de revisión se observa que no hay pedido pendiente y que el inventario disponible está disminuyendo. El trazo serpenteante no es recto porque muestra que la demanda varía con el paso del tiempo. Cuando llegamos al primer punto de revisión, se pide q_1 . Se puede ver que la posición del inventario es mayor que el inventario disponible durante el plazo de entrega. Al final del plazo de entrega, la posición del inventario y el inventario disponible vuelven a estar juntos y el inventario disponible aumenta en q_1 . Este proceso continúa. Se observa que en el segundo ciclo

de reabastecimiento el inventario disponible disminuye a una tasa menor que en el primer ciclo de reabastecimiento. Esto es porque la demanda no es tan alta. En consecuencia, se ordena menos en la segunda revisión. Como se puede ver, $q_2 < q_1$.

La figura 3-12 ilustra el punto donde, a diferencia del proceso (Q,ROP), en el proceso (T,OUL) se puede quedar sin inventarios en cualquier momento durante T y L.⁸

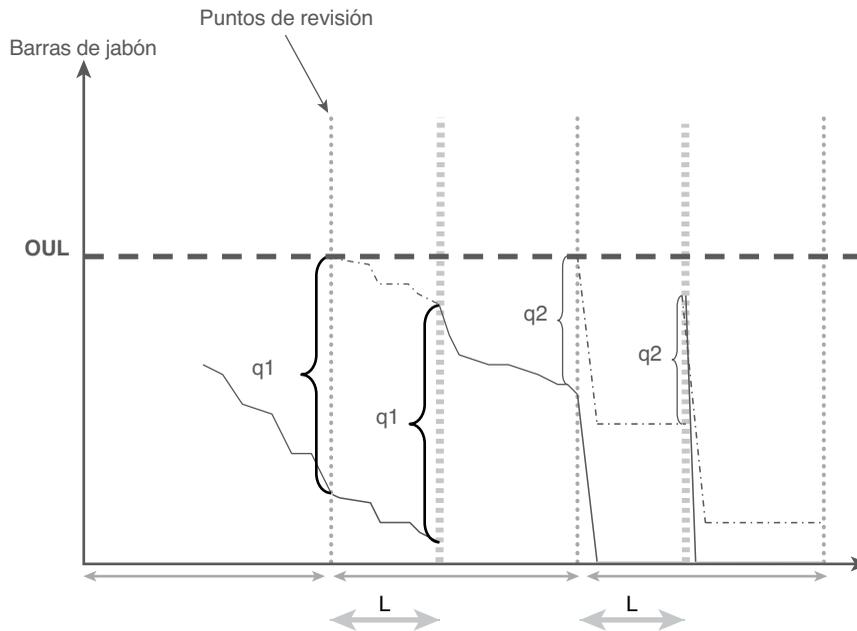


Figura 3-12 Con el proceso (T,OUL), se puede quedar sin inventario en cualquier momento durante T y L.

Observando la figura 3-12 cuando se pide q2, vemos que las ventas aumentaron drásticamente, causando un agotamiento muy rápido del inventario. Luego, al final de L, recibimos el pedido de q2. En ese momento nos hubiera gustado haber pedido mucho más, pero es demasiado tarde. Nos volvemos a quedar sin inventario rápidamente después de recibir q2 porque la demanda sigue alta. Nos quedamos sin inventario hasta la próxima revisión, al final del siguiente plazo de entrega. Esto demuestra que el periodo de protección para el proceso (T,OUL) es T + L. Por lo tanto, cuando tenemos inventario de seguridad debemos tenerlo considerando todo el periodo de protección.

Luego, para estimar la desviación estándar de la demanda durante el plazo de entrega más el intervalo de revisión podríamos usar la siguiente fórmula:

$$\sigma_{DDL T} = \sqrt{(\bar{L} + \bar{T}) \cdot \sigma_{FE}^2 + \bar{d}^2 \cdot (\sigma_L^2 + \sigma_T^2)}$$

Donde

$\sigma_{DDL T}$ = desviación estándar de la demanda durante el plazo de entrega

\bar{T} = intervalo de revisión promedio

\bar{L} = plazo de entrega promedio

σ_{FE}^2 = desviación estándar del error de pronóstico

\bar{d} = demanda pronosticada por periodo

σ_T = desviación estándar del intervalo de revisión

σ_L = desviación estándar del plazo de entrega

Podríamos utilizar la función de Excel de Microsoft =NORMINV(PPIS, MEAN de T+L, STANDARD DEVIATION sobre T+L) para obtener el OUL.

Hemos estado suponiendo una distribución normal; sin embargo, también se podría suponer una distribución gamma. La ventaja de la distribución gamma es que comienza en cero, en tanto que la distribución normal va del infinito negativo al infinito positivo.

Hay dos parámetros que se necesitan para la distribución gamma: alfa (α) y beta (β).

$$\alpha = \frac{\mu^2}{\sigma^2}$$

$$\beta = \frac{\sigma^2}{\mu}$$

Si está calculando el ROP, las estimaciones de alfa y beta deberían basarse en L. Si está calculando el OUL, las estimaciones de alfa y beta tendrían que basarse en T + L. A continuación, puede utilizar la función de Excel =GAMMAINV(PPIS,ALPHA,BETA) para obtener el ROP o el OUL. Para las SKU de movimiento más lento, la distribución gamma es probablemente mejor que la distribución normal por motivos técnicos que no exploraremos aquí.

Volviendo al ejemplo anterior del proceso (Q,ROP), si usamos la distribución gamma tenemos lo siguiente:

$$= \text{GAMMAINV}\left(0.95, \frac{49^2}{12^2}, \frac{12^2}{49}\right)$$

Esto da 70 unidades. Recuerde que la normal dio 69 unidades. Sin embargo, ahora consideremos una media de 1 y una desviación estándar de 5. En este caso, la distribución normal da un ROP de 5 y la gamma da un ROP de 9. Peor aún, esta distribución normal tendría más de 40 por ciento de las observaciones debajo de cero, mientras que la gamma no tiene observaciones debajo de cero.

También es posible que desee utilizar una distribución de probabilidad discreta como la de Poisson. El problema es que, en Excel, no hay una función inversa, por lo que tiene que crear una tabla. Suponga que tiene una distribución de Poisson con una demanda media durante el plazo de entrega de 0.5 unidades. A continuación, para calcular su PPIS en Excel para determinado nivel de demanda durante el plazo de entrega (DDLT), se utiliza =POISSON(DDLT,mean,1). Por lo tanto, en este ejemplo, si quisiera conocer el PPIS de un DDLT de 2, entonces =POISSON(DDLT,0.5,1) devolvería 0.986. Puede crear una tabla como la tabla 3-5.

Tabla 3-5 Distribución acumulada de Poisson

Demanda	Acumulada de Poisson
0	0.60653066
1	0.90979599
2	0.98561232
3	0.99824838
4	0.99982788
5	0.99998584

En la tabla se puede determinar el PPIS de la columna “acumulada de Poisson” y, luego, encontrar la demanda correspondiente durante el plazo de entrega en la columna de demanda para determinar el ROP.

Probablemente haya notado que =POISSON(DDLT,mean,1) no requiere desviación estándar. La razón de ello es que la distribución de Poisson tiene una varianza que es igual a la media. Además, en =POISSON(DDLT,mean,1), el último argumento, “1”, indica a Excel que estamos buscando la distribución acumulada de Poisson. Si ponemos un cero en su lugar, se devolverá la probabilidad de la observación, no la probabilidad acumulada. Esto se muestra en la tabla 3-6.



Tabla 3-6 Masa de probabilidad

Demanda	Acumulada de Poisson	Probabilidad
0	0.60653066	0.60653066
1	0.90979599	0.30326533
2	0.98561232	0.07581633
3	0.99824838	0.01263606
4	0.99982788	0.00157951
5	0.99998584	0.00015795

Por consiguiente, si hacemos el ROP igual a 2, tendremos un PPIS de 0.986. La probabilidad de vender 2 durante el plazo de entrega se encuentra en la última columna, 0.076.

En realidad, existen muchos procesos de reabastecimiento híbridos. Consideremos primero un híbrido para el proceso de reabastecimiento (T,OUL). Suponga que tomamos un proceso existente (T,OUL) y le agregamos un punto de pedido. Por lo tanto, la idea sería que cuando llegamos a un punto de pedido, sólo ordenaríamos la diferencia entre la posición del inventario y el OUL, si la posición del inventario estaba debajo del ROP. ¿Tendría el nuevo proceso (T,OUL,ROP) más, menos o el mismo nivel promedio de inventario? Sin el ROP, volveríamos a pedir en cada tiempo de revisión, pero con el ROP no podíamos pedir en algunos de los tiempos de revisión. En consecuencia, esperaríamos menos inventario en promedio, si un ROP se agregara a un proceso existente (T,OUL). Hay también muchos otros procesos híbridos. Muchos de ellos son difíciles de modelar, por lo que es bueno entender estos dos procesos de reabastecimiento del ejemplo (T,OUL) y (Q,ROP), y pensar en cómo las variaciones afectan los niveles de inventario y los periodos de protección específicos. Cuando se crea un nuevo proceso, siempre es bueno pensar cuidadosamente en cómo los nuevos pasos afectan el riesgo de fracaso y el periodo de protección en general.

Como ya hemos mencionado, lograr representar sus ideas en una gráfica de inventario facilita el pensamiento cuidadoso y riguroso acerca de cómo el proceso se llevará a cabo y donde tendría fallas potenciales. Cuando traza esas gráficas, puede utilizarlas para hacer una lluvia de ideas sobre los diversos escenarios que podrían ocurrir. Esto puede ayudarle a pensar a través de cómo varios pasos afectan el periodo de protección. Sería más útil si usted tuviera un colega que también sea competente en la administración del inventario, y que también pueda utilizar gráficas de inventario para analizar nuevos sistemas de inventario o cambios en los sistemas existentes. Además de dibujar gráficas de inventario, también es útil tener a alguien que pueda construir un modelo de simulación de eventos discretos del proceso.

La simulación de eventos discretos se puede realizar en Excel o en un paquete de software de simulación de eventos discretos, lo cual le permite modelar procesos empresariales tales como los procesos de reabastecimiento y hacer que la incertidumbre se introduzca en cuestiones como la demanda y el plazo de entrega. Después de una gran cantidad de práctica con las gráficas de inventario, se pueden crear diagramas de flujo cuidadosamente diseñados. Éstos entonces se utilizan para crear la simulación

de eventos discretos. En el proceso de desarrollo de la simulación de eventos discretos del proceso de inventario, surgen preguntas acerca de cómo funciona el proceso. El desarrollo real de la simulación de eventos discretos requiere una gran especificidad. Por lo general, las primeras veces que se ejecutan estos modelos, surgen problemas porque algo no se ha especificado. Esto conduce a un refinamiento adicional del pensamiento respecto del proceso que se está creando o modificando. En la discusión anterior sobre los procesos (T,OUL) y (Q,ROP), dimos fórmulas específicas para estimar el OUL o el ROP. Incluso para estos procesos, para muchas distribuciones, no podemos escribir una fórmula específica para el OUL o el ROP. En tales casos, se necesita simulación de eventos discretos. Se vuelve aún más complejo para muchos procesos híbridos y, por ende, la simulación de eventos discretos es la única alternativa. Hay muchos niveles diferentes de habilidad en la simulación de eventos discretos. Sin embargo, es útil para alguien que participa en la administración del inventario que, al menos, pueda hacer modelos de simulación de eventos discretos aproximados en Excel.

Unidades que se espera salgan por el ciclo de reabastecimiento

Ahora regresamos al proceso (Q,ROP) y consideramos la cantidad de pedido óptima, pero primero debemos considerar el costo total de una cantidad de pedido dada, para la cual el costo esperado de mantener el inventario de ciclo es $(Q/2)hc$.⁹ Asimismo, el costo previsto de mantener el inventario de seguridad es $(ROP - EDDLt)hc$. El número de pedidos realizados por año es (D/Q) , por lo que, si el costo de cada pedido es S , entonces el costo de pedido anual es $(D/Q)S$. Durante cada plazo de entrega hay una posibilidad de quedarse sin inventario y perder las ventas. El número esperado de unidades pendientes de surtir por ciclo de reabastecimiento es:

$$U(ROP) = \int_{x=ROP}^{\infty} (x - ROP)f(x)dx$$

A esto se llama la integral de pérdida.¹⁰ Le mostramos cómo calcularla con una distribución normal en Excel.

$$U(ROP) = \int_{x=ROP}^{\infty} (x - ROP)f(x)dx$$

$$= \sigma_{DDLt} \text{NORMDIST}(Z, 0, 1, 0) - (ROP - EDDLt)(1 - \text{NORMDIST}(Z, 0, 1, 1))$$

En esta fórmula, Z es el número de desviaciones estándar arriba de la demanda media durante el plazo de entrega representado por el ROP. Si utiliza $=\text{NORMDIST}(ROP, EDDLt, \sigma_{DDLt}, 1)$ para encontrar el PPIS, entonces puede usar $=\text{NORMSINV}(\text{PPIS})$ para encontrar Z y, después, aplicar la fórmula de integral de pérdida.



Utilizando el ejemplo de la tabla 3-1, suponga que hacemos el ROP igual a 52 unidades.

$$=NORMDIST(ROP,EDDLT, \sigma_{DDL},1)$$

=NORMDIST(52,49,12,1) da un valor de 0.5987. Posteriormente, se usa =NORMSINV(PPIS)=NORMSINV(0.5987) y obtenemos 0.25, que es el valor de Z.

Ahora, para obtener el número esperado de unidades de inventario pendientes de surtir por ciclo de reabastecimiento, tenemos

$$\begin{aligned} U(ROP) &= \int_{x=ROP}^{\infty} (x - ROP) f(x) dx \\ &= \sigma_{DDL} NORMDIST(Z,0,1,0) - (ROP - EDDL) (1 - NORMDIST(Z,0,1,1)) \\ &= 12 * NORMDIST(0.25,0,1,0) - (52 - 49) (1 - NORMDIST(0.25,0,1,1)) \end{aligned}$$

Esto da un valor de 3.4 unidades por ciclo de reabastecimiento. Ahora, suponga que el costo esperado de una unidad de inventario pendiente de surtir es de \$10 cada una. Entonces, cada vez que colocamos un pedido nuestro costo esperado de ventas perdidas es aproximadamente de \$34, que es un costo adicional relacionado con el pedido. Suponga que sólo usa camión¹¹ para el transporte y que cada camión cuesta \$150. Otros costos relacionados con el pedido son \$20, que incluyen los costos variables de cuentas por pagar, la recepción, etcétera. Entonces, el costo total relacionado con colocar un pedido es \$150 + \$34 + \$20 = \$204 por pedido.

Costo anual total en función de la cantidad pedida

Como hay (D/Q) reabastecimientos por año,¹² el número esperado de unidades pendientes de surtir por año es (D/Q)U(ROP). Suponga que el costo por unidad es m, entonces, el costo esperado de las unidades pendientes de surtir por año es m (D/Q)U(ROP). El costo de mantenimiento en tránsito es (L/365)*D*hc. Si el plazo de entrega está en días, entonces, se usan 365 días para el denominador; si el plazo de entrega está en semanas, entonces, se usan 52 semanas para el denominador, y así sucesivamente. Por lo que el costo esperado es

$$C(Q) = Dc + \left(\frac{D}{Q}\right)(S + mU(ROP)) + \left(\left(\frac{Q}{2}\right) + (ROP - EDDL) + \left(\frac{LD}{365}\right)\right)hc$$

Ahora veremos dónde encajan los costos de transporte en este análisis. Los costos de carga en camión (TL, por las siglas de *truckload*) se basan en el servicio de punto a punto, es decir, el monto que

se cobra por el transporte se basa en la tarifa que cobra un transportista por llevar del punto A al punto B. Si se usa la TL, se incurre el mismo costo independientemente de cuánto se envíe, siempre y cuando sea menor que la capacidad TL. En este caso, el costo de una TL se agrega al costo de pedido porque cada vez que se realiza un pedido, se debe pagar el costo de transporte de una TL. Por otro lado, si se utiliza menos que la carga de un camión (LTL, por las siglas de *less than truckload*), entonces, el costo se basa en el peso. Las tarifas de LTL¹³ se basan primero en la clase de producto de la National Motor Freight Classification (NMFC) publicada por la National Motor Freight Traffic Association (NMFTA). Luego, se utiliza el arancel del transportista con base en el origen y el destino. Después, las tarifas son descontadas por el transportista. Finalmente, el costo se basa en el peso enviado. En consecuencia, el transporte se basa en el peso enviado, que se puede traducir en un costo por unidad. Como resultado, el costo de transporte se agrega al valor del artículo, c . Por lo tanto, si se utiliza la TL, los costos de transporte son una parte del costo del pedido, en tanto que si se utiliza LTL, los costos de transporte son una parte del costo unitario. En general, si el costo de transporte se basa en el pedido y no en la cantidad, el costo de transporte va en el costo del pedido; mientras que, si se basa en la cantidad enviada, va en el costo unitario.

Tomando la derivada de la función del costo total anterior respecto de Q , y haciéndola igual a cero,

$$\frac{\partial C}{\partial Q} = \frac{hc}{2} - \left(\frac{D}{Q^2} \right) (S + mU(ROP)) = 0$$

Si se despeja Q , tenemos la EOQ.¹⁴

$$Q = \sqrt{\frac{2D(S + mU(ROP))}{hc}}$$

Tomando la segunda derivada, encontramos

$$\frac{\partial^2 C}{\partial Q^2} = 2 \left(\frac{D}{Q^3} \right) (S + mU(ROP)) > 0$$

lo cual significa que la función es convexa, por lo que hemos encontrado un mínimo global único.

Todo esto se puede hacer también con distribuciones empíricas discretas.

La solución óptima puede dar como resultado el uso de la TL, pero no llenar el camión todo el camino; es decir, sería menos costoso usar TL que LTL y, al mismo tiempo, no es óptimo utilizar el transporte al 100 por ciento. Normalmente, sin embargo, se envía más de un artículo en el camión.

Cuando se evalúan las decisiones del pedido y las decisiones del transporte, hay una compensación entre los costos de mantenimiento del inventario y los costos del transporte que debe tomarse en cuenta.

Sea

$$I = \left(\frac{Q}{2}\right) + (ROP - EDDLT) + \left(\frac{LD}{365}\right)$$

y

$$B = S + mU(ROP) \text{ entonces}$$

$$C(Q) = Dc + \left(\frac{D}{Q}\right)B + Ihc$$

Por lo que B es el costo fijo del pedido, e I es la cantidad de inventario.

La figura 3-13 ilustra las compensaciones de costos asociadas con varios niveles de Q en un proceso de reabastecimiento de revisión continua (Q, ROP).

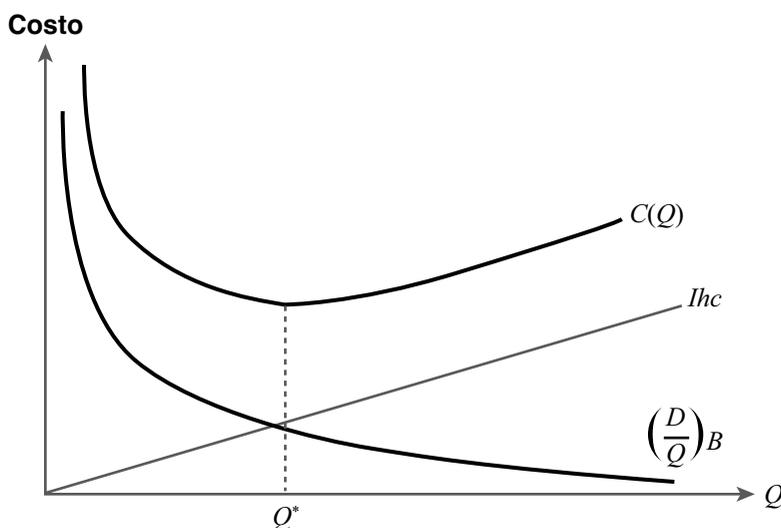


Figura 3-13 Compensaciones de costos.

Por lo general, la curva de costo $C(Q)$ es relativamente plana en el fondo. Por lo tanto, estar fuera del objetivo no tiene un gran impacto en el costo total. Estar fuera de la cantidad de pedido óptima en términos de pedir demasiado tiene una tasa de crecimiento lenta en el costo, mientras que pedir muy poco aumentaría el costo total drásticamente en algún momento. A medida que Q se incrementa, el componente de Ihc que está aumentando es sólo el inventario de ciclo, no el inventario de seguridad

ni el inventario en tránsito. Asimismo, Ihc aumenta linealmente. Sin embargo, conforme Q disminuye, $\left(\frac{D}{Q}\right)$ aumenta con una tasa de crecimiento.

El siguiente ejemplo es importante porque ilustra mucho de lo que se ha hablado en este capítulo, pero también muestra una advertencia importante cuando se utiliza el modelo EOQ u otros modelos de optimización. También se incluyen los costos de transporte en el análisis. Por lo tanto, el siguiente ejemplo no es sólo una ilustración de cómo utilizar lo que hemos aprendido, en realidad contiene material nuevo que es más fácil de explicar en el contexto de un ejemplo.

Un minorista regional, Value Dime and Five tiene un centro de distribución que atiende a 500 tiendas. Sólo vende una SKU de papel higiénico, de su marca propia (Hunter TP) de 2 capas de papel higiénico extra grueso con 543 hojas por rollo (blanco con grabado profundo áspero). Se reabastece en los almacenes en cantidades de cajas de paquetes, y cada caja contiene 80 rollos. Value Dime and Five sólo la compra por camión, que tiene 560 cajas, y paga \$40 por caja. La demanda durante el plazo de entrega se distribuye de forma aproximadamente normal con una media de 80 cajas y una desviación estándar (σ_{DDL}) de 30 cajas. Dado que el plazo de entrega suele ser de un día y la demanda diaria promedio frente al centro de distribución es de 80, Value Dime and Five pide cuando la posición del inventario es de 100. Esto parecería extraño, pero la empresa tiene una buena razón. Las tiendas suelen tener abundancia de inventario, por lo que aunque Value Dime and Five tarde en surtir el pedido de una tienda, por lo general las tiendas no se quedan sin inventario. Los pedidos que no se pueden surtir cuando se reciben de una tienda se surten más tarde, tan pronto como el inventario está disponible en el centro de distribución. El costo de transporte por camión es de \$400. El propietario de Value Dime and Five reconoce que los costos de transporte son altos así que, desde una perspectiva de eficiencia, quiere maximizar la utilización de los camiones y sólo compra camiones completos. Con base en su costo promedio ponderado de capital y el análisis de daños, estima que su factor de costo de almacenar inventario es alrededor de 0.25 del valor del inventario por año. Él estima que todos los demás costos de pedidos relacionados con compra, cuentas por pagar, recepción, etcétera, son de aproximadamente \$50 por pedido. Por cada caso de pedido retrasado de una tienda porque el centro de distribución no lo tiene en inventario, el costo es de cerca de \$5 por pedido y es el resultado de soluciones administrativas alternativas. Los términos de la venta son FOB, flete prepago en el origen, porque Value Dime and Five tiene un gasto de transporte mucho mayor, lo que le permite obtener mejores ofertas en tarifas de transporte. Dado que usa el flete prepago en el origen, Value Dime and Five tiene inventario en tránsito. Value Dime and Five estima que su inventario en tránsito tiene un factor de costo de aproximadamente 0.23 del valor anual del inventario. Value Dime and Five contrató a un nuevo analista que está impulsando la idea de que la empresa no debería centrarse en la maximización de la utilización del transporte, sino que tiene que enfocarse en la minimización del costo total. El analista propone que la empresa utilice el modelo de cantidad económica del pedido para determinar cuánto pedir en un momento en vez de simplemente pedir un camión. Value Dime and Five está abierto todos los días del año.

La demanda diaria promedio para el centro de distribución es de 80 casos por día, por lo que la demanda anual es de $80 \times 365 = 29,200$. Como $Q = 560$ casos y $D = 29,200$ casos por año, el número esperado de pedidos por año es $D/Q = 52$. Empezamos observando los costos asociados con el pedido. Dado el número esperado de pedidos por año, el costo del pedido anual será de $52 \times \$50 = \$2,600$ por año, y el costo de transporte anual será de $52 \times \$400$ por camión = $\$20,800$ por año. El siguiente componente que necesitamos considerar que ocurre cada vez que se coloca un pedido es el costo del retraso. Para calcular el número esperado de casos pedidos atrasados por ciclo de reabastecimiento, primero debemos asegurarnos de que podemos usar la distribución normal. Existen muchas pruebas para comprobarlo, pero simplemente estamos buscando asegurarnos de que no más del 1 por ciento de la densidad de probabilidad sea inferior a cero. Para hacer esto, usamos lo siguiente en Excel.

$$=\text{NORMDIST}(0, \text{EDDLT}, \sigma_{\text{DDLT}}, 1)$$

$$=\text{NORMDIST}(0, 80, 30, 1)$$

$$=0.004$$

Así se muestra que menos de 1 por ciento de la densidad de probabilidad es inferior a cero; de hecho, menos de la mitad de 1 por ciento está por debajo de cero en este caso.

Ahora calculamos el número esperado de casos de pedidos atrasados por ciclo de reabastecimiento. Primero debemos calcular la métrica del PPIS.

$$=\text{NORMDIST}(\text{ROP}, \text{EDDLT}, \sigma_{\text{DDLT}}, 1)$$

$=\text{NORMDIST}(100, 80, 30, 1)$ da un valor de 0.75, lo cual significa que se deberían quedar sin inventario durante el plazo de entrega alrededor del 25 por ciento de las veces. Desde luego, con base en el ejemplo, el plazo de entrega es de sólo un día y las tiendas suelen tener abundante inventario. Entonces, usando el PPIS podemos encontrar Z , que necesitamos en el cálculo de la integral de pérdida.

$=\text{NORMSINV}(\text{PPIS}) = \text{NORMSINV}(0.75)$ da $2/3$ (0.66), que es el valor de Z .

Ahora, para obtener el número esperado de unidades pendientes de surtir por ciclo de reabastecimiento, tenemos

$$\begin{aligned} U(\text{ROP}) &= \int_{x=\text{ROP}}^{\infty} (x - \text{ROP})f(x)dx \\ &= \sigma_{\text{DDLT}} \text{NORMDIST}(Z, 0, 1, 0) - (\text{ROP} - \text{EDDLT})(1 - \text{NORMDIST}(Z, 0, 1, 1)) \\ &= 30 * \text{NORMDIST}(0.66, 0, 1, 0) - (100 - 80)(1 - \text{NORMDIST}(0.66, 0, 1, 1)) \end{aligned}$$

Esto da 4.5 casos por ciclo de reabastecimiento. Para cada caso de atraso, hay un costo de \$5, por lo que el costo del atraso por ciclo de reabastecimiento es $4.5 \times \$5 = \23 por ciclo. Como hay 52 pedidos por año, el costo anual es de $52 \times \$23 = \$1,179$.

Por lo que el total de los costos relacionados con el pedido, los costos de pedido más los costos de transporte, más los costos del pedido atrasado son $\$2,600 + \$20,800 + \$1,179 = \$24,579$ por año. Claramente, la preponderancia de los costos relacionados con el pedido son los costos de transporte en este ejemplo, pero hay muchas situaciones en las que, sobre todo cuando hay ventas perdidas en lugar de órdenes atrasadas, los costos de ventas perdidas podrían ser el más alto de los costos. Dependerá de las características del producto y del proceso y los parámetros de reabastecimiento, pero al menos en este ejemplo, los costos de transporte son visiblemente dominantes.

Ahora veamos los costos relacionados con el inventario, comenzando con el inventario de ciclo.

Puesto que cada carga de camión es de 560 cajas, $Q = 560$ cajas y el inventario de ciclo esperado es $Q/2 = 280$ cajas. El costo de cada caja es de \$40, por lo que la inversión esperada en inventario de ciclo es de $280 \text{ cajas} \times \$40 \text{ por caja} = \$11,200$, y el costo anual esperado de mantener el inventario de ciclo es de $\$11,200 \times 0.25 = \$2,800$.

El inventario de seguridad es $(ROP - EDDLT) = 100 \text{ cajas} - 80 \text{ cajas} = 20 \text{ cajas}$. Por lo tanto, la inversión en inventario de seguridad es de $20 \text{ cajas} \times \$40 \text{ por caja} = \$800$, y el costo esperado de mantenimiento de inventario de seguridad es de $0.25 \times \$800 = \200 .

El inventario en tránsito es $(1 \text{ día}/365 \text{ días}) \times 29,200 \text{ casos por año} = 80 \text{ unidades}$. Por lo que la inversión en inventario en tránsito es de $80 \text{ unidades} \times \$40/\text{caja} = \$320$ por año, y el inventario en tránsito esperado es $\$320 \text{ por año} \times 0.23 = \736 por año. Por lo que los costos de mantenimiento totales son $\$2,800 + \$200 + \$736 = \$3,736$.

El costo total relacionado con el inventario correspondiente es = costos relacionados con el pedido + costos de mantenimiento del inventario = $\$24,579 \text{ por año} + \$3,736 \text{ por año} = \$28,315 \text{ por año}$.

Regresando a la figura 3-13, vemos que ya que el costo del inventario de ciclo es de \$2,800 y el costo relacionado con el pedido es \$24,579, claramente no estamos ordenando lo suficiente a la vez. Como se observa, se está pidiendo por debajo de la cantidad económica de pedido, si los costos del pedido son mayores que los costos de mantener el inventario del inventario de ciclo. Pero aquí hay una precaución importante. Si pedimos dos camiones a la vez, nuestros costos de pedido aumentarían en la cantidad de una TL. Como se ilustra en la figura 3-14, esto no sería suficiente para marcar la diferencia. De hecho, resulta que una TL totalmente utilizada es la cantidad óptima en este ejemplo. Ahora bien, si los otros costos relacionados con el pedido dominaban los costos de transporte, éste no sería el caso.

Si usamos el modelo EOQ y no somos cuidadosos, recomendamos una cantidad de pedido que no era factible con los insumos del costo. Vamos a calcular la EOQ:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2DB}{hc}}$$

$$EOQ = \sqrt{2 * 29,200 * \frac{400 + 23 + 50}{0.25 * 40}}$$

$$EOQ = 1,661 \text{ cajas}$$

Por lo que la EOQ recomienda solicitar 1,661 cajas por pedido. Pero esto es 1,661 cajas por pedido/560 cajas por TL = 3 camiones. Sin embargo, el costo total en tres camiones es más alto que en un camión. La figura 3-14 muestra que como los costos de transporte dominan tanto, una carga de camión completa realmente es la mejor solución. En la figura 3-14 observe que hasta que la cantidad del pedido sea igual a un camión, la curva anual de costos de pedido disminuye como se esperaría, pero luego aumenta \$400, el costo de un camión. La EOQ recomendada es de tres camiones, pero eso no es factible a \$400, más bien, tres camiones son \$1,200.

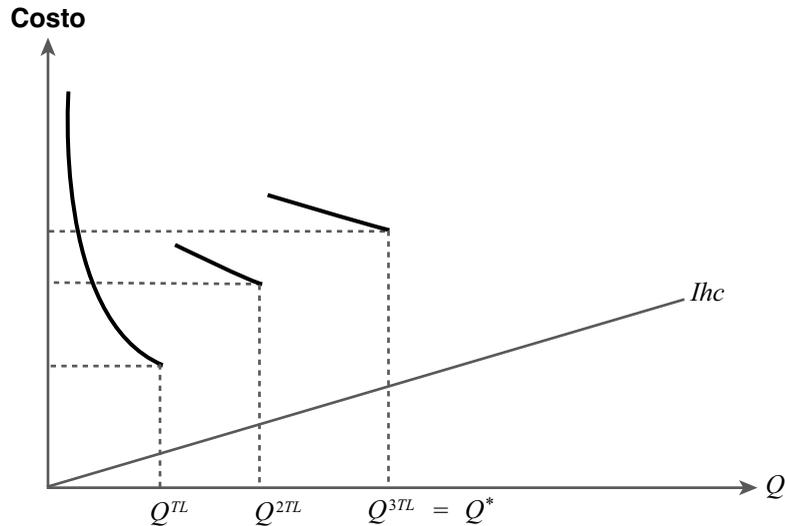


Figura 3-14 Cargas de camiones y costo total.

Continuando con este ejemplo, estamos diciendo que un camión es óptimo. Sin embargo, esto es cierto si no permitimos la posibilidad del uso de otras modalidades. Si el ferrocarril es una posibilidad, entonces caben varias cargas de camión en un vagón. Para que sea una opción, el origen y el destino tienen que estar cerca de una vía de carga. Usar el ferrocarril sin duda aumentaría el plazo de entrega pero, en este caso, no parece ser un problema grande. En la actualidad no tienen mucho inventario de seguridad en el centro de distribución, por lo que podrían fácilmente duplicar o triplicar su inventario de seguridad, sin hacer una gran diferencia en el costo total. De hecho, podrían y probablemente deberían considerar el uso del transporte intermodal, lo cual aumentaría el plazo de entrega, pero disminuiría el costo de transporte, aunque no aumentaría la capacidad de la unidad de transporte. El objetivo evidente aquí es reducir los costos de transporte.

Ahora, mantenga todo lo demás igual en este ejemplo, excepto por el aumento del costo por unidad a \$1,000. Claramente no estamos hablando de papel higiénico ahora, pero esto cambiaría la EOQ a 332 cajas, que es menos que la carga de un camión completo (60 por ciento de

utilización = 332 cajas por pedido/560 cajas por camión). En este caso, resulta óptimo subutilizar la capacidad de transporte.

Tasa de cumplimiento

Volvamos a la figura 3-13. Ahora, si usted disminuye Q , está reabasteciendo con mayor frecuencia y está más expuesto a quedarse sin inventario durante el plazo de entrega, por lo que aumenta el número esperado de unidades pendientes de surtir. Por consiguiente, se incrementan las ventas perdidas. En consecuencia, una empresa podría querer aumentar el inventario de seguridad para alcanzar la misma tasa de cumplimiento. Considere que, si Value Dime and Five reduce Q , el inventario de ciclo disminuirá. Por lo tanto, si Value Dime and Five tiene que aumentar el inventario de seguridad, la pregunta es si ¿tendrá que aumentar más que disminuir el inventario de ciclo? Asimismo, cuando el inventario de seguridad aumenta, el ROP se incrementa, por lo que el $U(\text{ROP})$ disminuye. Así que hagamos un seguimiento de lo que está pasando aquí. Q se reduce, lo que resulta en una menor tasa de cumplimiento (más ventas perdidas) y menor inventario de ciclo. Para enfrentar la menor tasa de cumplimiento, el inventario de seguridad se incrementa aumentando el ROP, que a su vez reduce el $U(\text{ROP})$. La curva inferior indica que debido a que el aumento del inventario de seguridad está reduciendo el $U(\text{ROP})$, el incremento en el inventario de seguridad necesario para compensar el aumento en el costo de las ventas perdidas no es tanto como sería de otra manera.

La figura 3-15 muestra que Q^* se reduce a Q' (que se designa como “1” en el eje horizontal), disminuyendo así la cantidad del pedido desde su nivel óptimo.

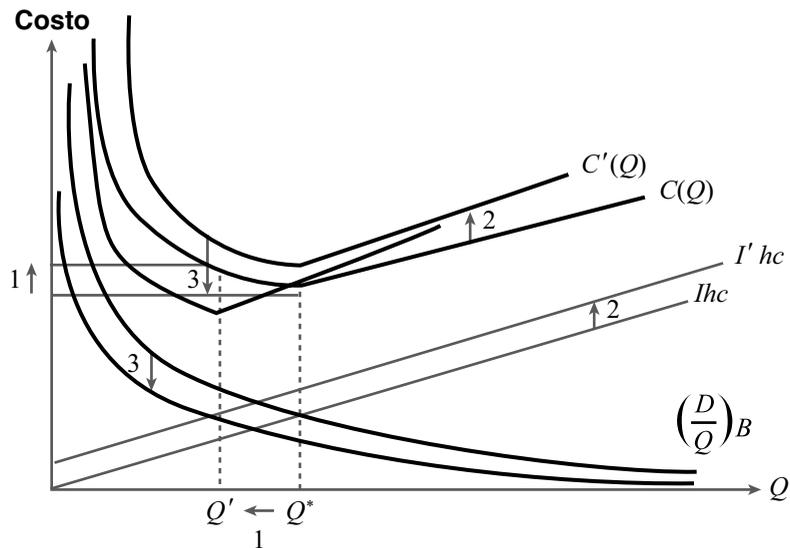


Figura 3-15 Se reduce la cantidad de pedido óptima.

Esto aumenta el costo cuando se rotula como “1” en el eje vertical. Ahora, como resultado de la reducción en la tasa de cumplimiento, el inventario de seguridad se incrementa (designado como “2”). Observe que la línea de costo del inventario se desplaza hacia arriba. Esto se debe a que, para cualquier nivel del inventario de ciclo, tenemos más inventario de seguridad. Pero la ecuación $(D/Q)B$ se desplaza hacia abajo porque B se reduce, lo cual resulta en una nueva cantidad de pedido óptima. Como está dibujado el costo total, parece menor que para la EOQ original, Q^* . Sin embargo, podría ser mayor o podría ser menor, dependiendo de la interacción entre el inventario de seguridad y la tasa de cumplimiento. El punto es que la EOQ toma todos los otros costos como dados y luego optimiza. Hay dos problemas con esto: (1) los otros costos quizá no estén en sus niveles óptimos, y (2) se ignora el hecho de que, con el tiempo, los competidores podrían aumentar los niveles de servicio, incrementando así el nivel óptimo de servicio para la empresa focal.

Análisis de compensación

La teoría económica neoclásica aplicada a las cuestiones de inventario propondría que existiera un equilibrio entre los diferentes costos; es decir, cuando aumenta uno de los costos, las empresas responden incrementando otros costos que se compensan contra ellos. Por ejemplo, si aumentan los costos del inventario, se incrementaría el gasto en transporte para minimizar la cantidad de inventario mantenido; si los costos de transporte aumentan, gastan más en inventario para minimizar los costos de transporte. Sin embargo, hay mucha evidencia que sugiere que la competencia realmente induce al desequilibrio. Entonces, el proceso de competencia en sí mismo es desequilibrante, porque las empresas buscan una ventaja comparativa en su administración del inventario para lograr una ventaja competitiva en su posición en el mercado. La competencia en la que participan enseña a las empresas que métodos de inventario funcionan mejor, ya que los competidores que eligen métodos eficaces o eficientes de administración del inventario logran un desempeño superior.

Cuando sufren un desempeño financiero inferior, las empresas reconocen su inferioridad en términos de eficiencia, valor o ambos, lo que luego resalta sus recursos inferiores. Si reconocen que su desventaja proviene de la administración del inventario, las empresas probablemente (1) intentarán comprar o construir el mismo sistema de transacciones de administración del inventario que utilizan sus competidores, (2) tratarán de comprar o construir el mismo sistema de apoyo a la toma de decisiones de administración del inventario que usan sus competidores, (3) comprarán o construirán sistemas de transacciones de administración del inventario o sistemas de apoyo a la toma de decisiones más innovadores, (4) copiarán o crearán procesos de negocios más innovadores, (5) copiarán o crearán capacidades de administración superiores, (6) contratarán a gerentes que trabajaban con la competencia, (7) crearán una cultura organizacional similar a la de sus competidores, y/o (8) copiarán o innovarán su posicionamiento del inventario. En este proceso de trabajar para igualar o superar a la competencia, las empresas enfrentan constantemente la amenaza de un desempeño inferior, por lo que todos tratan de igualar o superar a la competencia. Esto da como resultado lo que parece ser un lanzamiento constante de versiones nuevas de sistemas de administración del inventario, reclutamiento continuo de ejecutivos de logística de otras organizaciones líderes, publicación persistente de nuevas ideas de

administración del inventario en publicaciones comerciales y académicas, y contratación perpetua de firmas consultoras que se centran en la administración del inventario. Por otro lado, a corto plazo, es probable que existan niveles de inventario óptimos, pero hay que revisar continuamente las políticas de inventario a la luz de la competencia y del comportamiento del consumidor.

La figura 3-16 muestra el equilibrio entre los costos de mantenimiento del inventario y los costos de pedido cuando se utiliza LTL.

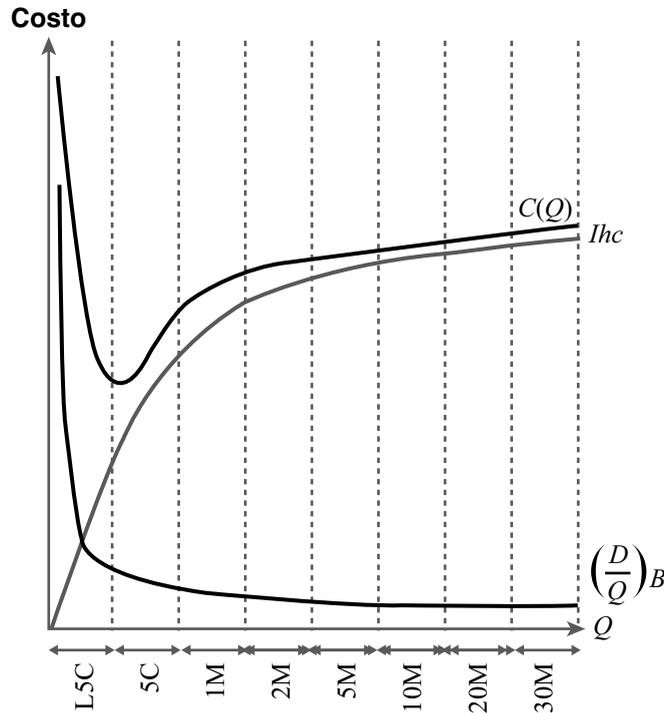


Figura 3-16 Equilibrio entre los costos de mantenimiento del inventario y los costos de pedido cuando se utiliza LTL.

En el eje horizontal, vemos los intervalos basados en diferenciales de peso de LTL. Para LTL, entre un origen y un destino, la tarifa de transporte aumenta a una tasa decreciente. En consecuencia, el costo unitario del artículo sigue los mismos patrones y también lo hace el costo de mantenimiento del inventario por unidad de inventario. L5 C significa “menos de 500 libras”, 5 C significa “arriba de 500 libras”, 1 M significa “mayor que 1,000 libras”, y así sucesivamente. Éstos son diferenciales de peso comunes en LTL, lo cual hace que la curva del costo de mantenimiento del inventario sea cóncava en el origen. En las figuras 3-15 y 3-16, que no implicaban LTL, los costos del inventario fueron lineales en Q. Este efecto que tiene LTL hace que la cantidad de pedido óptima sea mayor que el punto donde los costos de mantenimiento de inventario son iguales a los costos de pedido, como en las figuras 3-15 y 3-16.

En la figura 3-17, la línea vertical punteada es donde cambiamos de LTL a TL. Ahora nuestro costo de transporte no es una parte del costo del producto unitario c porque no importa cuánto pone en el camión, todavía paga la carga completa del camión. Así que cuando esto sucede, el costo de la TL se convierte en un costo de pedido porque, cada vez que usted ordena, debe pagar por una TL. Por consiguiente, el Ihc se desplaza hacia abajo al Ihc en negrita, y el $(D/Q)B$ cambia hacia arriba al $(D/Q)B$ en negrita. Si éste es el lugar óptimo para cambiar a TL, el costo total no debería subir tan rápido después de esta cantidad.

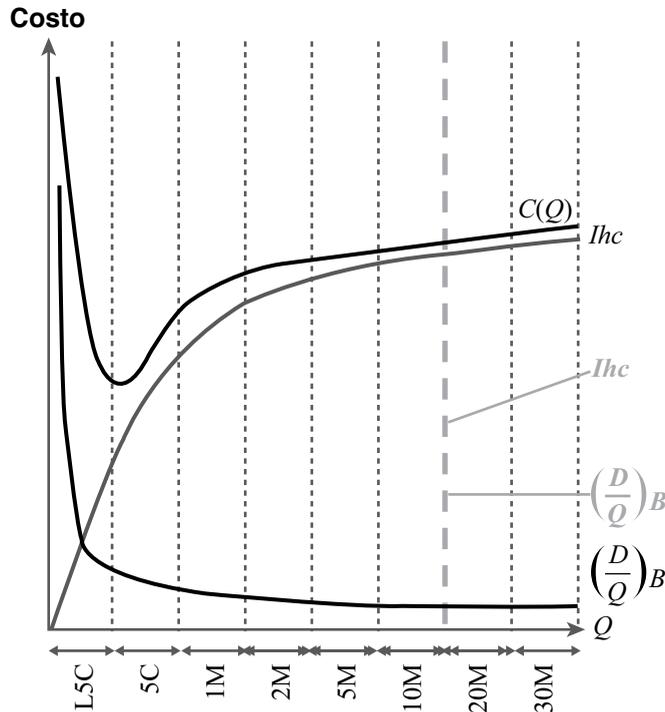


Figura 3-17 De LTL a TL.

En la figura 3-18 vemos el resultado de reducir el costo de pedido por pedido de B a B' ; es decir, se reduce la cantidad de pedido óptima.

Observe que toda la curva de costos del pedido se desplaza hacia abajo. Si las empresas están intentando reducir los costos de instalación, hacer que las compras sean más eficientes, disminuir los errores en las tasas de coincidencia de las facturas,¹⁵ mejorar la eficiencia de la recepción, las cuentas por pagar y otros procesos relacionados, deberíamos esperar que B se reduzca. Mejorar los procesos de transporte para la reducción de los costos de TL, como el intermodal, también puede reducir B . La ejecución mejorada que resulta en un menor número esperado de unidades pendientes de surtir por ciclo de reabastecimiento para un nivel dado de ROP reducirá B . B también se puede reducir si disminuye el costo de que el inventario quede en cero por unidad pendiente de surtir. Esto puede

ocurrir si se dispone de sustitutos que no estaban disponibles, el margen de los artículos disminuye, la competencia entre las firmas que venden el producto se reduce y otros eventos afectan el costo esperado de la pérdida de ventas por unidad pendiente de surtir.

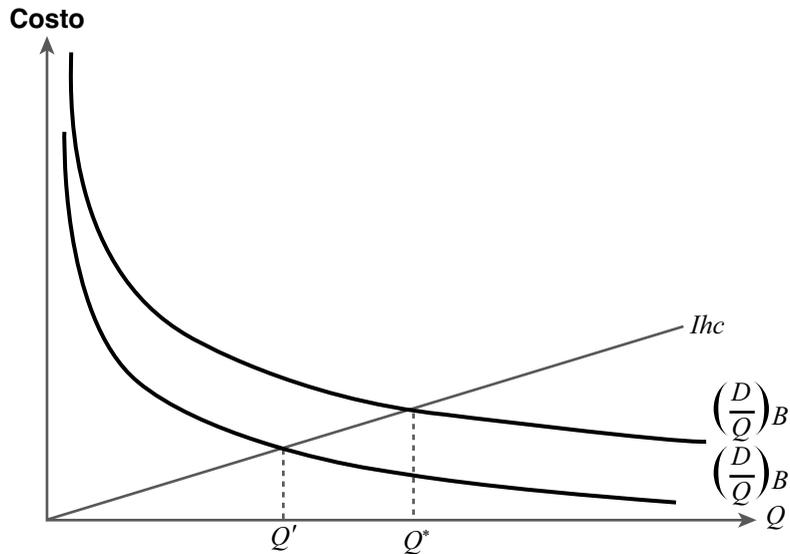


Figura 3-18 Reducción de la cantidad de pedido óptima.

La figura 3-19 muestra una empresa cuyo costo de mantenimiento del inventario se está reduciendo; es decir, disminuye el costo por unidad o se reduce el costo de mantenimiento del inventario.

El costo por unidad se podría reducir mediante una adquisición más eficiente, una mejor negociación, mejores procesos de producción, mayor competencia en el mercado que proporciona el producto y otros. El factor del costo de mantener un inventario se podría reducir como resultado de un mayor acceso al capital, disminuyendo así el costo del capital, del uso más eficiente del espacio de almacenamiento, de menos daño al producto mientras se almacena, de menos hurto y deterioro, etcétera. En las figuras 3-18 y 3-19, tenemos una mejora del proceso que conduce a cambios en la cantidad del pedido óptima. En la figura 3-18 vemos una mejora del proceso que conduce a una reducción en la cantidad de pedido óptima, mientras que en la figura 3-19 vemos una mejora del proceso que conduce a un aumento en la cantidad de pedido óptima. Por lo tanto, no podemos proporcionar un resultado inequívoco de que las empresas que están mejorando sus procesos también deberían reducir el inventario. Es evidente que esto no es necesariamente cierto sobre la base de nuestro análisis hasta ahora. Si los efectos de la mejora del proceso en los costos de pedido son lo suficientemente fuertes, pueden superar los efectos de la mejora del proceso en los costos de mantenimiento del inventario y dar como resultado la reducción de la cantidad de pedido óptima. Pero eso no es generalmente cierto.

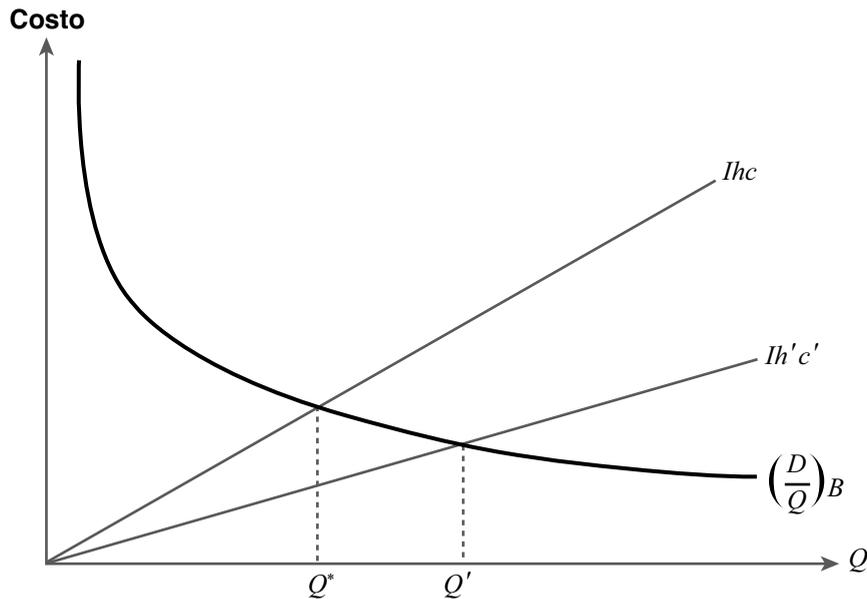


Figura 3-19 Costo de mantener el inventario reducido.

Descuentos por cantidad

Anteriormente, cuando despejamos la función del costo total de la cantidad de pedido óptima, la cantidad económica del pedido, el término que representa el costo de compra anual, Dc (que es la demanda anual D veces el costo por unidad c), cae cuando tomamos la primera derivada respecto de la cantidad del pedido, Q , porque c no era una función de Q . No obstante, si hay descuentos por cantidad, entonces c es una función de Q . Muchas veces, el costo unitario se refiere como un costo de pedido variable en oposición a un costo de pedido fijo por pedido, S . Los descuentos por cantidad se pueden aplicar de varias maneras, analizamos dos de ellos: (1) descuento por cantidad de todas las unidades y (2) descuento por cantidad de unidades crecientes. Con un descuento por cantidad de todas las unidades, el precio de todas las unidades disminuye si la cantidad del pedido es mayor que alguna cantidad designada, haciendo que la función del costo total sea discontinua. Con el descuento por cantidad de unidades crecientes, sólo las unidades arriba de cierta cantidad tienen el precio más bajo aplicado a ellas, por lo que la función del costo se tuerce, pero no es discontinua.

Para simplificar nuestro análisis del descuento por cantidad, considere el costo variable de pedir, el costo de pedido fijo y el costo de mantenimiento del inventario de ciclo. Además, sólo consideramos un diferencial de precio para el descuento por cantidad, pero el análisis de los múltiples diferenciales de precio en el descuento por cantidad es esencialmente una simple extensión de este análisis. Por consiguiente, nuestra función de costo total es la siguiente:

$$C(Q) = Dc + \left(\frac{D}{Q}\right)s + \left(\frac{Q}{2}\right)hc$$

Hay tres casos clave que queremos considerar, como se ilustra en las figuras 3-20, 3-21 y 3-22.

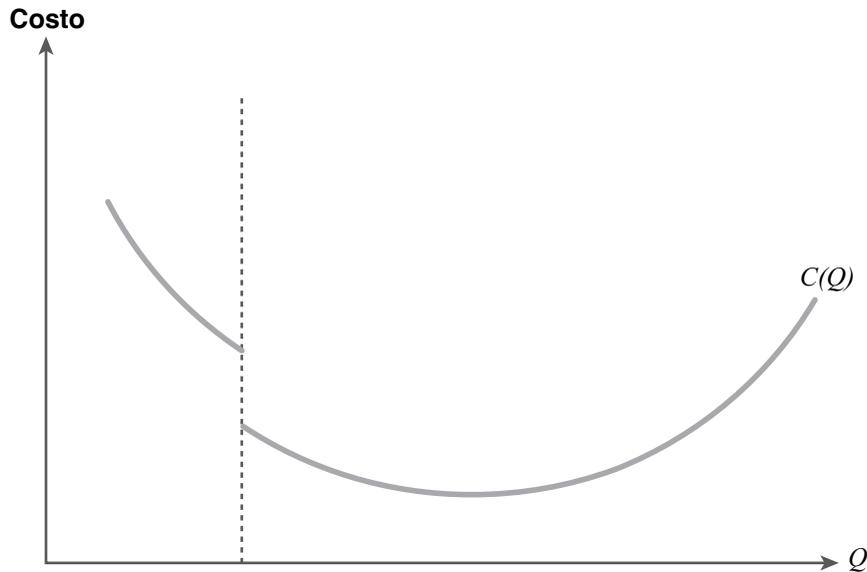


Figura 3-20 Descuento por cantidad debajo de la EOQ.

La recta vertical en la figura 3-20 es el punto de discontinuidad de la función del costo total y es donde ocurre el diferencial de precio. En la figura 3-20 es claro que tomar el descuento por cantidad tiene sentido. Usted puede ver en la gráfica que incluso sin el descuento por cantidad, habría sido óptimo pedir una cantidad arriba del diferencial de precio. Este diferencial de precio no es efectivo en términos de estimular a esta empresa a comportarse de manera diferente. La empresa simplemente puede pedir a un menor precio.

En la figura 3-21, el diferencial de precio es efectivo porque el diferencial de precio motiva a la empresa a pedir más de lo que haría de otra forma. Como se observa en la gráfica, el costo total al diferencial de precio es menor que el costo total al nivel de la EOQ sin el diferencial de precio.

Por último, el diferencial de precio de la figura 3-22 no es efectivo en el sentido de que no incita a la empresa a pedir más. Es menos costoso para la empresa pedir la EOQ sin el descuento, que pedir una cantidad lo suficientemente alta para recibir el diferencial de precio.

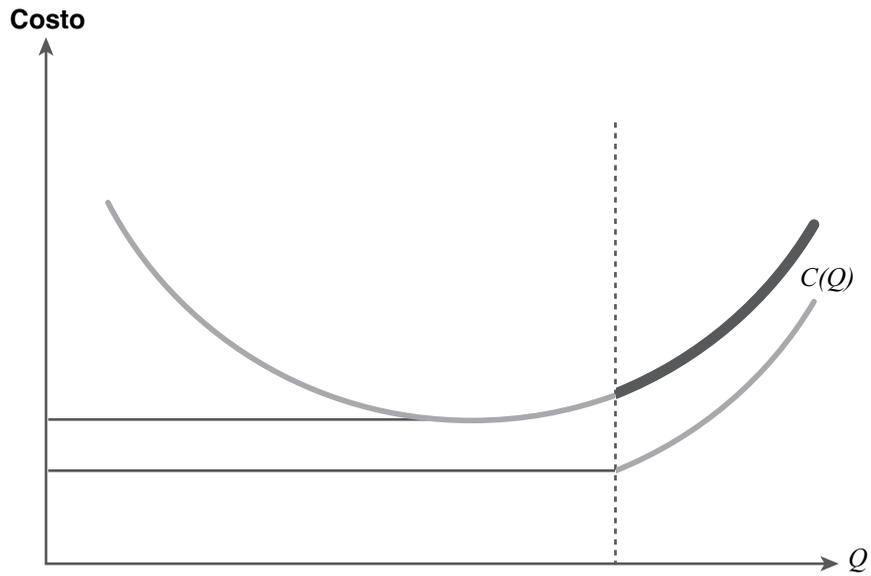


Figura 3-21 Descuento por cantidad sobre la EOQ.

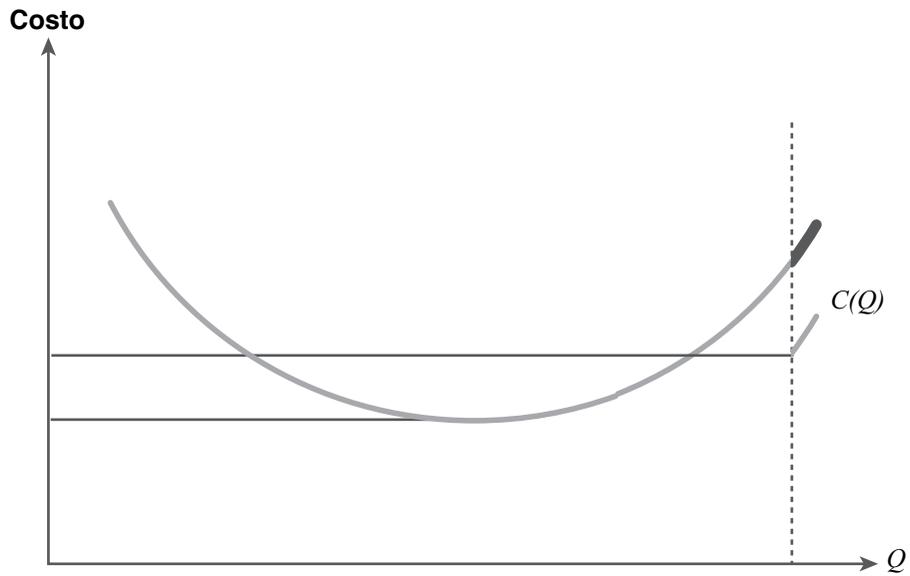


Figura 3-22 EOQ menor que el descuento por cantidad.

Notas

1. A lo largo de los años uno de los autores ha estudiado y enseñado a partir de una serie de libros de texto sobre la teoría del inventario. Algunos de sus favoritos, de los cuales ha aprendido la mayoría, incluyen los siguientes: Hadley, George y Thomson M. Whitin. *Analysis of Inventory Systems*. Nueva York: Prentice Hall, 1963. Zipkin, P. *Foundations of Inventory Management*. Irwin, Nueva York: McGraw-Hill, 2000. Silver, Edward Allen, David F. Pyke y Rein Peterson. *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. Vol. 3. Nueva York: Wiley, 1998. Nahmias, Steven. *Production and Operations Analysis*. Nueva York: McGraw-Hill, 2005. Porteus, Evan L. *Foundations of Stochastic Inventory Theory*. Palo Alto, CA: Stanford University Press, 2002. Este libro es diferente de cada uno de estos libros porque tiene una orientación mucho más aplicada; sin embargo, estamos en deuda con estas grandes obras.
 2. Usamos los términos *sin inventario* y *unidades pendientes de surtir* de manera indistinta.
 3. La idea aquí es que la diferencia en la demanda durante el plazo de entrega entre todas estas observaciones es resultado de la aleatoriedad, es decir, suponemos que no hay variación estacional, tendencia ni otros factores causales tales como cambios en los precios o las respuestas de la competencia. Sin embargo, más adelante en este capítulo veremos los efectos de competencia en la administración del inventario.
 4. Hasta este momento, y en momentos futuros, estamos hablando de la demanda durante el plazo de entrega. Sin embargo, también consideramos situaciones donde estimamos la demanda y el plazo de entrega por separado.
 5. Se llama *revisión continua*, pero probablemente debería llamarse *revisión continua y respuesta continua*.
 6. Más adelante en este capítulo, veremos que la posición del inventario puede estar arriba del inventario disponible incluso antes de que se haga el pedido. Esto ocurre cuando el plazo de entrega es más largo que el tiempo entre pedidos.
 7. Esta fórmula proviene de tomar la varianza de una suma aleatoria de variables aleatorias. La suma aleatoria de las variables aleatorias está dada por $\sum_{i=1}^L X_i$, donde L es la variable aleatoria que representa el plazo de entrega, y X_i es la variable aleatoria que representa la demanda por unidad de plazo de entrega. Luego, calcule $\left(\sum_{i=1}^L X_i \right)$.
 8. Recuerde que en el proceso (Q,ROP) usted sólo pudo tener inventario pendiente de surtir durante L .
 9. El costo de mantenimiento del inventario es h , por lo que hc es el costo de almacenar una unidad de inventario por un año. Si el inventario promedio para el año se multiplica por c , entonces usted tiene la inversión promedio en inventario.
-

10. Hadley, George y Thomson M. Whitin. *Analysis of Inventory Systems*. Nueva York: Prentice Hall, 1963.
11. Supondremos que usa los contenedores de camión incluso si el camión no se utiliza al 100 por ciento de la capacidad.
12. D es la demanda anual esperada.
13. Defee, C. Clifford, Joe B. Hanna y Robert Overstreet. "LTL Pricing: Looking Back to the Future". *Journal of Transportation Management* 22.2 (2011): 45-58.
14. Wilson, R. H. "A Scientific Routine for Stock Control". *Harvard Business Review* 13.1 (1934): 116-129.
15. Los errores de la tasa de coincidencia de facturas ocurren cuando al menos dos de los siguientes documentos no coinciden: factura, documento de recepción y orden de compra. Cuando éstos no coinciden, deben conciliarse, y esto suele ser laborioso. Cierta porcentage de pedidos tiene errores de tasa de coincidencia de factura. Si se pueden mejorar los procesos empresariales para reducir el porcentaje de errores que se producen, se reduce el costo de las cuentas por pagar por pedido.

La relación entre la administración del inventario y los pronósticos

Como analizamos en el capítulo 3, “Control del inventario”, existe la necesidad de pronosticar la demanda durante el periodo de protección. Para fines de la administración del inventario, la demanda se pronostica con una frecuencia diaria o semanalmente, y se combina con el plazo de entrega y/o el intervalo de revisión, para formular el pronóstico de demanda durante el periodo de protección. El resultado del proceso del inventario es impactado en parte por la precisión del pronóstico, porque el tiempo óptimo y la cantidad del inventario que tiene que ser ordenado depende de la magnitud y de la incertidumbre de la demanda, y ambas dependen a la vez del método y la exactitud del pronóstico.

El pronóstico es un gran campo¹ que va desde el pronóstico macroeconómico del PIB, las tasas de interés y la inflación, hasta el pronóstico a largo plazo de las tendencias demográficas, del clima y de los resultados en las elecciones políticas. Sin embargo, en este capítulo nos centramos básicamente en el pronóstico a corto plazo, ya que resulta esencial en la mayoría de los desafíos de desempeño en la administración del inventario, sobre todo para los artículos reabastecidos. Para los artículos no reabastecidos, como ropa de moda, los pronósticos deben hacerse para muchos meses en el futuro con una temporada de ventas que podría durar unas cuantas semanas. En ese caso, lo fundamental en la administración del inventario es un pronóstico a largo plazo. En este libro no trataremos el pronóstico a largo plazo.

Aunque en este capítulo nos propusimos analizar varios métodos de pronóstico utilizados en la administración del inventario, también nos planteamos ayudarlo a entender lo que realmente está pasando con el pronóstico. Queremos eliminar parte del misterio detrás de los pronósticos. Elaborar un pronóstico parece científico debido a las matemáticas, a la teoría de la probabilidad, a la estadística, etcétera, implicadas en él. Sin embargo, un pronóstico exitoso requiere el conocimiento

y la comprensión de los métodos, cuáles funcionan bien bajo diversas condiciones, cuáles no, y por qué no funcionan bien. La tecnología, las bases de datos, los datos y el software suelen mejorar el pronóstico y son necesarios, pero no son suficientes para realizar pronósticos precisos. La tecnología en manos de un analista de pronósticos habilidoso y conocedor del dominio para el que se está utilizando el pronóstico puede avanzar hacia mejores pronósticos. Entender el dominio requiere experiencia en el negocio, conocimiento de la industria y comprensión de las variables tanto de la empresa como de los competidores que impulsan las ventas. Uno de los desafíos en la predicción consiste en encontrar a personas que entienden la tecnología y los métodos de los pronósticos, así como las bases de datos y los datos en sí mismos, y que también tienen suficiente conocimiento del ámbito empresarial. En realidad, se necesita un equipo de individuos, cada uno de los cuales tiene al menos una de esas habilidades, que colabore para desarrollar el método del pronóstico y resolver los problemas de éste.

Incertidumbre en la demanda y el pronóstico

Comenzamos con un ejemplo muy estilizado para destacar un punto importante. Imagine que una y sólo una persona, Julie, compra en una tienda minorista específica cierto tipo de caramelo, un caramelo macizo efervescente de menta con arándano, llamado Pepfiz. Todos los días antes de que Julie vaya a esa tienda, lanza un dado de seis lados con los números 1 a 6 en cada uno de sus lados. El número que aparece en el dado es el número de piezas de caramelo que compra cuando va a la tienda, pero, desde luego, el gerente de reabastecimiento de la tienda no sabe lo que está sucediendo. Si el gerente de reabastecimiento de la tienda supiera cómo se estaba generando la demanda, sabría que el mejor pronóstico es 3.5, es decir, el valor esperado del lanzamiento de un dado. Sea X una variable aleatoria que represente la demanda;² entonces, el valor esperado es $E(X) = \sum_{i=1}^6 x_i p_i$ donde x_i es el i -ésimo resultado de la variable aleatoria y p_i es la probabilidad de ese resultado.

$$E(X) = \sum_{i=1}^6 x_i p_i = 1x(1/6) + 2x(1/6) + 3x(1/6) + 4x(1/6) + 5x(1/6) + 6x(1/6) = 3.5$$

Un pronóstico de 3.5 unidades es el mejor. A largo plazo, ningún otro pronóstico sería mejor. Por desgracia, el gerente de reabastecimiento no sabe cómo se está generando la demanda.

La figura 4-1 muestra las compras realizadas durante el último mes.³

Las líneas continuas en la figura 4-1 son las compras reales, y las líneas discontinuas representan el promedio. En este caso, un promedio simple es el mejor pronóstico. Un promedio simple es sólo el promedio de todas las compras reales, empezando desde el principio, y terminando con la observación más reciente. Sea x_i la i -ésima observación de un total de n observaciones; entonces, el promedio simple es

$$\text{promedio simple} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

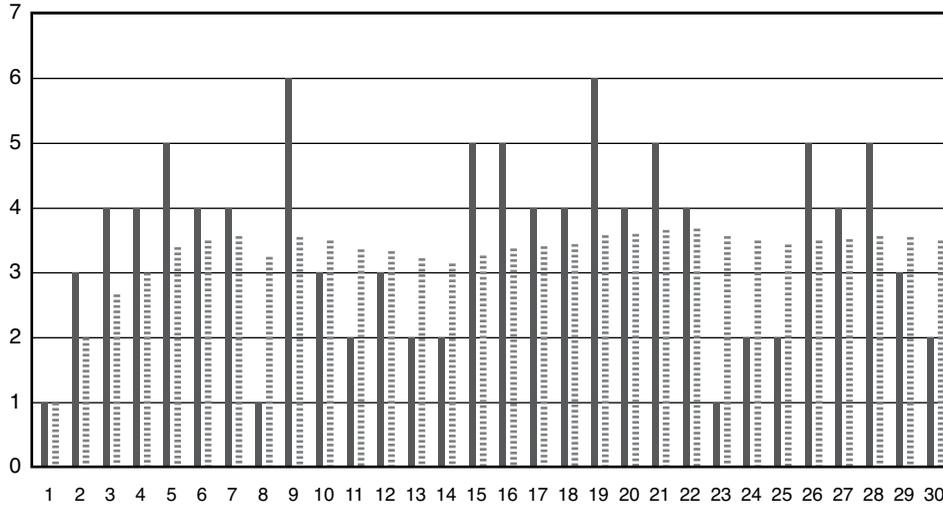


Figura 4-1 Promedio de compras reales.

En aproximadamente diez días, en este caso, el promedio simple es cercano a la media de la distribución de probabilidad. Sin embargo, si usted ve los primeros nueve días, puede pensar que hay una tendencia positiva, aunque no la haya. De hecho, una serie de métodos de pronóstico en realidad sugiere una tendencia utilizando los primeros nueve días de estos datos.

La figura 4-2 también proviene de la misma distribución. Pero, en este caso, durante los primeros días parece que hay una tendencia negativa. Sin embargo, no toma mucho tiempo para que el promedio simple se acerque a la media de la distribución.

Ahora supongamos que el gerente de reabastecimiento sabe cómo se está generando la demanda. Por sencillez, también suponemos que el plazo de entrega es por las noches y certero. Es decir, al final de cada día las piezas de caramelo vendidas durante el día se reemplazan a la mañana siguiente.⁴ La tabla 4-1 muestra la distribución de probabilidad acumulada de la demanda. La probabilidad acumulada hasta una demanda durante el plazo de entrega de tres unidades es $1/6 + 1/6 + 1/6 = 0.5$. Por lo que, si el gerente almacenó hasta tres piezas de caramelo cada día, tendría inventario la mitad de las veces, es decir, $PPIS = 0.5$.

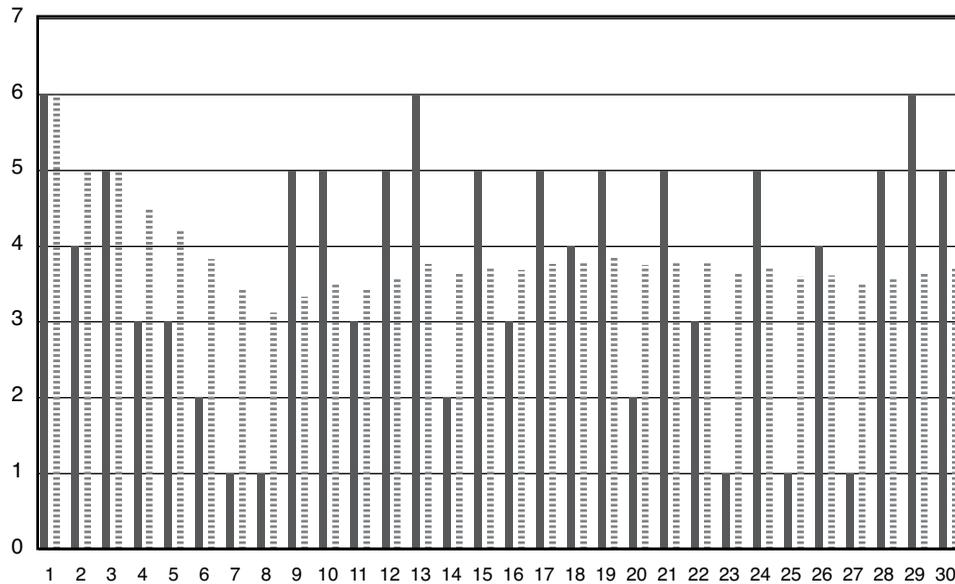


Figura 4-2 Al principio parece una tendencia negativa.

Tabla 4-1 Probabilidad acumulativa de la demanda durante el plazo de entrega

DDLT	Probabilidad acumulada
1	0.17
2	0.33
3	0.50
4	0.67
5	0.83
6	1.00

Usando la tabla 4-1, el gerente de reabastecimiento podría determinar su PPIS seleccionando su OUL, lo cual es realmente un proceso de reabastecimiento (T,OUL), donde $T = 1$ día y $L = 0$. Es decir, antes de que la tienda se abra, el gerente revisa y abastece de la bodega.⁵ Supongamos que él elige un $PPIS = 0.83$ y, entonces, hace el $OUL = 5$. ¿Cuál es el inventario de seguridad? Recuerde que el inventario de seguridad es el número esperado de unidades disponibles cuando el reabastecimiento llega y está disponible para su uso. La demanda esperada es 3.5, así que, si tenemos 5 unidades al comienzo del intervalo de reabastecimiento, el número esperado de unidades disponibles al principio del día siguiente, cuando llega el reabastecimiento y está disponible para su uso, es $5 - 3.5 = 1.5$ unidades.

Aunque tenemos mucho más por decir acerca de este tema, la conclusión es que la relación entre la administración del inventario y el pronóstico es que intentemos comprender la distribución de la demanda para establecer los parámetros de la política de reabastecimiento y así lograr varios objetivos métricos, tales como el PPIS y el ILFR.⁶

Métodos de series de tiempo

Como hemos mencionado, en estas circunstancias, el uso de un promedio simple es la mejor forma de pronosticar. El problema es que cuando empezaremos a pronosticar no sabemos cuál método es mejor.

Ahora, imagine que después de 30 días, Julie comienza a lanzar dos dados, suma los resultados y compra el número correspondiente de piezas de caramelo.

La figura 4-3 es una simulación de evento discreto de este proceso de demanda, donde desde el día 1 al día 30 la demanda es el lanzamiento de un dado y del día 31 al día 60 la demanda es la suma de los lanzamientos de dos dados. Como ya se mencionó, el valor esperado para los primeros 30 días es de 3.5; para los segundos 30 días, el valor esperado de la demanda es de 7 unidades.

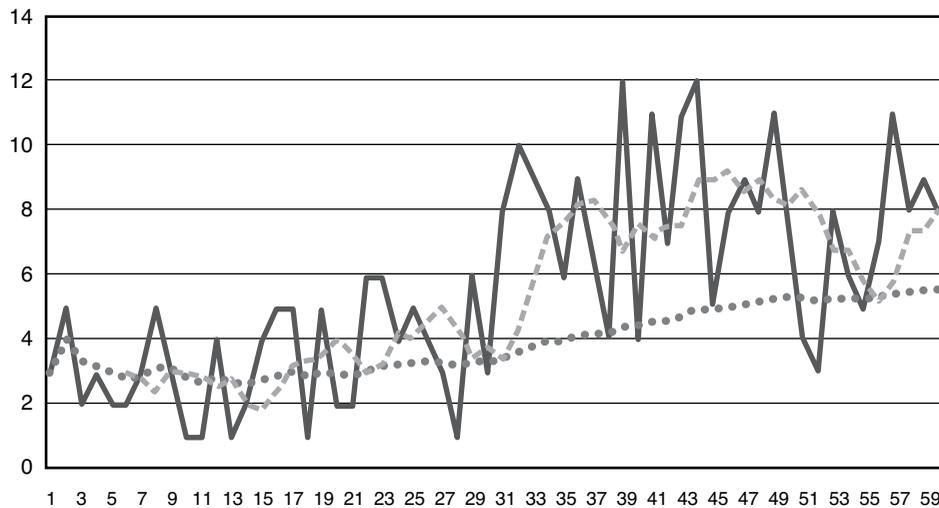


Figura 4-3 Lanzar dos dados y sumar.

Media móvil

La línea continua es la compra real y la línea punteada es el promedio simple. Observe que para el día 60, el promedio simple es de aproximadamente 5 unidades, muy por debajo del valor esperado de

7 unidades. La línea discontinua es una media móvil de diez días.⁷ La media móvil de diez semanas está dada por la siguiente expresión:

$$\text{Media móvil de diez días} = \frac{\sum_{i=n-9}^n x_i}{10}$$

Observe en la figura 4-4 que la media móvil de diez días se adapta más rápidamente que el promedio simple. Sin embargo, vemos sólo los primeros 30 días.

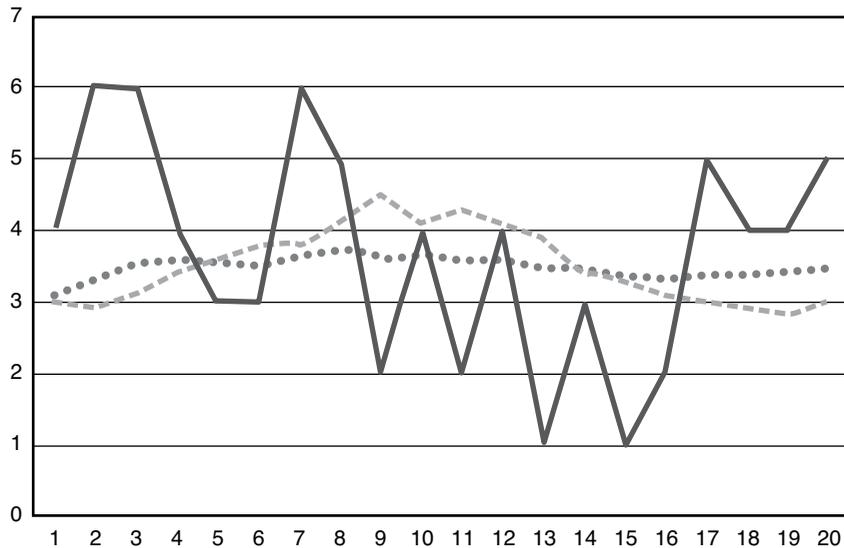


Figura 4-4 Media móvil, promedio simple y compras reales de diez días.

La figura 4-4 es del día 11 al día 30. La línea continua es la compra real, la línea punteada es el promedio simple y la línea discontinua es la media móvil de diez días. Al comparar las figuras 4-2 y 4-3 vemos la compensación entre los dos métodos de pronóstico; aunque una media móvil de diez días se adapta más rápidamente al cambio en la demanda subyacente, reacciona drásticamente ante cambios aleatorios, en comparación con el promedio simple. En la figura 4-4 observamos que la media móvil de diez días es más errático que el promedio simple. Si no se modifica el proceso de demanda subyacente, la media móvil simple lo hace muy bien, pero si hay un cambio en el proceso subyacente, la media móvil simple se adapta más lentamente que la media móvil.

La figura 4-5 ilustra aún más el punto. De nuevo, se trata de una simulación de eventos discretos de los días 11 a 30. La línea continua es la compra real, la línea punteada es el promedio simple, la línea punteada y discontinua es la media móvil de cinco semanas, y la discontinua es la media móvil de diez días. En la figura 4-4 vimos que la media móvil de diez días era más errática que el

promedio simple; en la figura 4-5 observamos que la media móvil de cinco días era más errática que la de diez días.

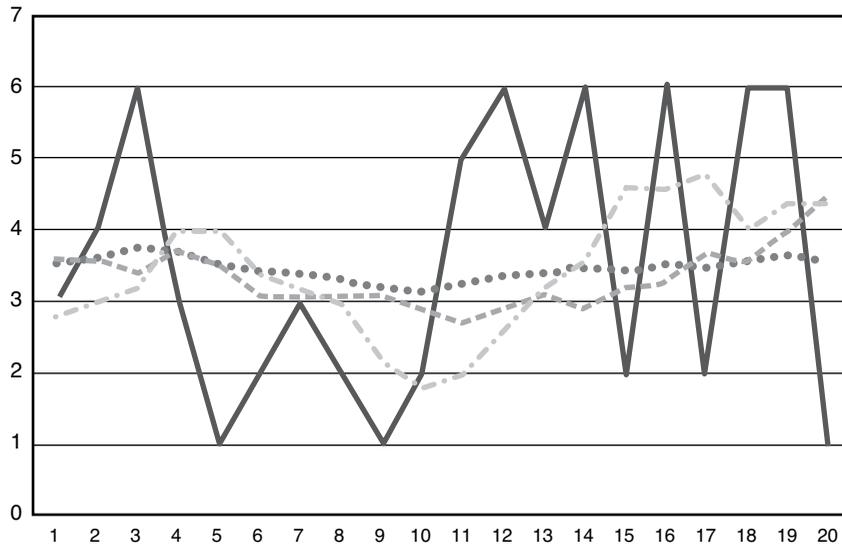


Figura 4-5 Comparación con la media móvil de cinco semanas.

Pronóstico ingenuo

Si tenemos una media móvil de un día, realmente no se trata de una media móvil, sólo es tomar lo que pasó el día anterior como el pronóstico. Esto se conoce como un *pronóstico ingenuo* (*naïve forecast*) (vea la figura 4-6).

En la figura 4-6, la línea continua es la compra real y la línea punteada es el pronóstico ingenuo. Como se observa, el pronóstico ingenuo simplemente desplaza un día las compras reales. El desempeño del pronóstico ingenuo es un buen punto de referencia para comparar con otros pronósticos, ya que si un método de pronóstico no puede ser mejor que el pronóstico ingenuo, no debe ser muy bueno.

Promedio simple

Un problema con un promedio simple es que un gran valor atípico tendrá un efecto en el pronóstico durante mucho tiempo. En la figura 4-6, no hay valores atípicos.

La figura 4-7 es un ejemplo de donde hay un aumento de la demanda en el primer día. Esto podría ser simplemente un error de datos. También se incluye en la media móvil de cinco días, pero está fuera

del cálculo de la media móvil de cinco días por el día 7. Sin embargo, éste siempre permanece en el cálculo del promedio simple. Con el tiempo su efecto resulta insignificante, pero a lo largo del rango en la figura 4-7, sí tiene un impacto. Usted puede observar que el promedio simple está arriba de la media móvil de cinco días y de las ventas desde el día 7 hasta el día 16. Esto ilustra un problema con el promedio simple: los valores atípicos tienen una influencia duradera que suele sesgar el pronóstico durante muchos periodos en el futuro.

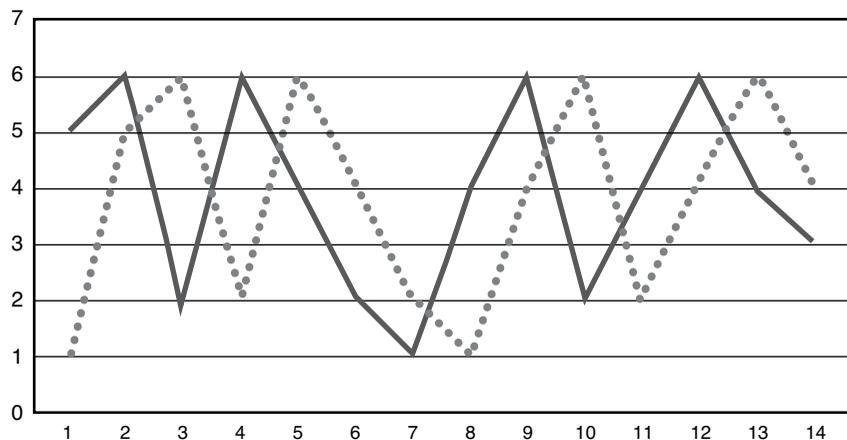


Figura 4-6 Pronóstico ingenuo.

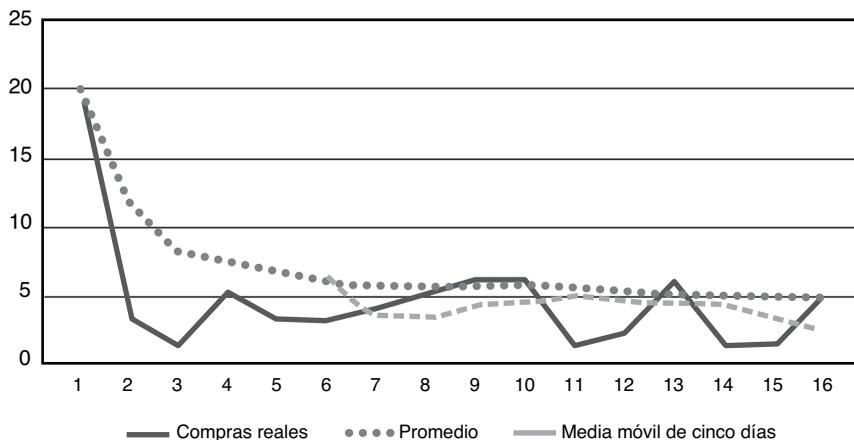


Figura 4-7 Valores atípicos.

Observaciones del sobreajuste

Éstos son los métodos que hemos considerado hasta ahora: ingenuo, media móvil de n días y media móvil simple. Ahora veamos los demás. Algunos métodos de pronóstico son matemáticamente complejos. Algunos desinformados pueden sentirse atraídos por estos métodos, ya que son impresionantes. Sin embargo, la investigación ha demostrado que, en muchas situaciones, los modelos simples funcionan mejor,⁸ lo cual se debe en parte al concepto de *sobreajuste de los datos*. Una serie de tiempo de los datos de ventas tiene dos componentes, uno de los cuales se puede explicar, y el otro es aleatorio. El problema es que es posible ajustar las fluctuaciones aleatorias y, luego, proyectarlas hacia el futuro, lo cual hace que en realidad el pronóstico se realice más deficientemente.

En la figura 4-8 se compara los datos de ventas generados al lanzar un dado con un promedio simple y con un polinomio de sexto grado, que está escrito en la parte superior de la gráfica.⁹

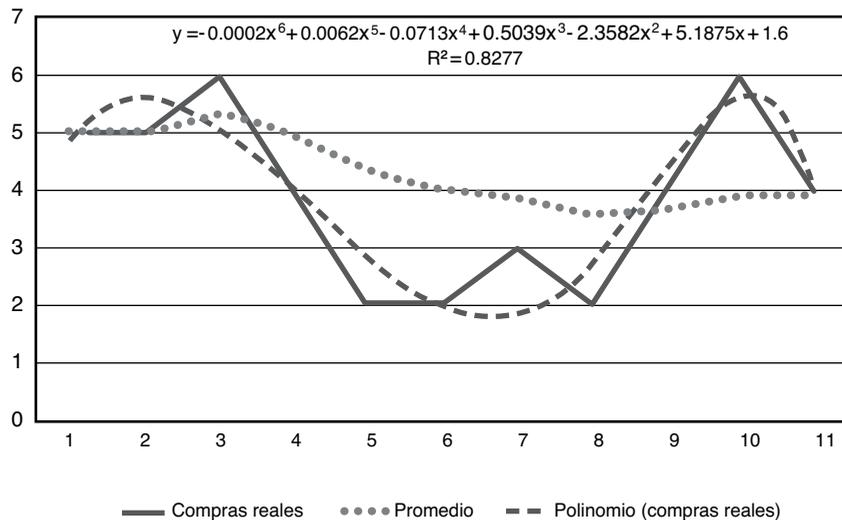


Figura 4-8 Sobreajuste.

Las x en el polinomio de sexto grado son para el día. Por ejemplo, si usted pusiera un 1 en todas las x y evaluara la ecuación, obtendría un pronóstico de dos piezas de caramelo. El polinomio de sexto grado es mucho más impresionante que el promedio simple, y es un mejor ajuste de los datos de ventas; sin embargo, ya sabemos que el mejor pronóstico es 3.5 piezas de caramelo. La pregunta es ¿cómo se pronostica esto en el futuro? Con el promedio simple, el pronóstico más reciente es el pronóstico de cada periodo en el futuro. En este ejemplo, el pronóstico más reciente del modelo promedio simple es 3.2 piezas de caramelo; por lo tanto, el pronóstico del día 30 es de 3.2 piezas como el del día 60.¹⁰

Ahora, si quiere pronosticar el día 30 con el polinomio de sexto grado, al colocar un 60 en la variable x , se obtiene un número que está alrededor de seis millones negativo. De hecho, este polinomio de sexto grado rápidamente se vuelve negativo cuando está fuera de los datos a los que se ajustó. Por lo tanto, esto parece una paradoja: el polinomio de sexto grado se ajusta a los datos mucho mejor que el promedio simple, pero cuando el polinomio de sexto grado se proyecta al futuro, se separa con rapidez de una manera desagradable. Se comporta terriblemente porque se ajustó de manera aleatoria. No se puede pronosticar la aleatoriedad.

Datos en espera

Esto también ayuda a aclarar un punto importante: los modelos de pronósticos se deben juzgar con base en lo bien que pronostican los datos, no en lo bien que se ajustan los datos. En este caso, vemos que el polinomio de sexto grado se ajusta bien a los datos, pero no se debe juzgar con base en ello. Por el contrario, los modelos se deberían juzgar con base en lo bien que funcionan los datos de ventas futuras, también denominados *datos en espera*. Éste es un concepto importante para recordar. El otro concepto importante para recordar es que también deberíamos comparar el desempeño de los modelos de pronósticos con el modelo ingenuo.

Siempre hay una compensación con los datos en espera. Por ejemplo, si tiene un año de datos, es posible que desee utilizar todo para crear un modelo de pronóstico, y esto suena bien; no obstante, con el propósito de comparar el modelo con otros modelos, necesitamos tener datos en espera. Suponga que ajusta los datos en 364 días y utiliza un día de datos de ventas como datos en espera. Esto parece insuficiente. Por otro lado, suponga que utiliza la primera mitad del año para ajustar el modelo y la segunda mitad del año como datos en espera. Si no hay tendencia ni estacionalidad, eso podría funcionar bien. Si hay tendencia, esto también funcionaría bien. Si hay estacionalidad, podríamos necesitar todos los datos, y más. Por lo tanto, desafortunadamente, no hay una respuesta inequívoca, pero una buena solución es comparar los modelos variando los grados de los datos en espera. Si un modelo siempre hace lo mejor con diferentes grados de datos en espera, entonces podemos tener más confianza de que el modelo realmente funciona mejor.

Desde una perspectiva de administración del inventario, si puede pronosticar con precisión, no necesitará mucho inventario de seguridad. Por consiguiente, en este caso, el sobreajuste con el polinomio de sexto grado puede hacer que parezca que se necesita muy poco inventario de seguridad. En consecuencia, el sobreajuste puede resultar en un PPIS menor que el deseado. El promedio simple, por otro lado, en este ejemplo, tendrá una evaluación más exacta del nivel de demanda, así como del nivel de aleatoriedad. De hecho, en este ejemplo, el nivel de demanda es 3.5 piezas de caramelo por día. No hay tendencia ni estacionalidad, sólo nivel de demanda. La varianza de 3.5 piezas es aleatoria. Ésta es otra razón por la que quiere asegurarse de que no se sobreajuste, ya que el sobreajuste produce tanto un nivel de demanda errónea, así como una evaluación errónea del nivel de aleatoriedad. La cantidad de inventario de seguridad debe estar en función de la cantidad de aleatoriedad, así como de la tasa de cumplimiento deseada.

Medición de la incertidumbre

Más adelante en este capítulo analizaremos otros métodos de pronóstico y cómo se relacionan con la administración del inventario, pero primero debemos hablar acerca de evaluar el nivel de aleatoriedad, que está en función de qué tan bien se pronostica la demanda a partir de los datos de ventas históricos. Necesitamos hacer esto porque hay una relación entre cuánto inventario de seguridad necesitamos y cuánta aleatoriedad hay.

Antes de continuar, es importante distinguir entre variabilidad y aleatoriedad. Suponga, por ejemplo, que cierto tipo de canela en vara en un supermercado vende el 90 por ciento de su volumen el sábado. Por lo tanto, suponga que usted vende 0 unidades el domingo, 2 unidades por día de lunes a viernes y 90 unidades el sábado. Además, suponga que esto se mantiene día tras día durante todo el año. Bueno, hay mucha variabilidad a lo largo de la semana, pero hay una previsibilidad perfecta, por lo que no hay necesidad de inventario de seguridad.¹¹ Por consiguiente, necesitamos saber cuánta incertidumbre hay en los datos de ventas. En otras palabras, necesitamos saber qué tan predecibles son las ventas que se basan en los datos de ventas. Con ese fin, ahora examinamos las medidas de incertidumbre con base en los pronósticos de ventas.

Hay muchas medidas del error de pronóstico, pero vamos a ver el sesgo, la desviación media absoluta (MAD, por las siglas de *mean absolute deviation*), el error porcentual absoluto medio (MAPE, por las siglas de *mean absolute percent error*) y la desviación estándar del error de pronóstico (σ_{FE}). Antes de hablar de la medición del error de pronóstico (FE, por las siglas de *forecast error*), necesitamos definir el error de pronóstico para una predicción. El error de pronóstico para el periodo i se define como $FE_i = a_i - f_i$ donde a_i son las ventas reales realizadas en el periodo i y f_i es el pronóstico para el periodo i .

$$sesgo = \frac{\sum_{i=1}^n FE_i}{n}$$

En promedio, si el sesgo es positivo, significa que estamos subpronosticando; mientras que si es negativo, estamos sobrepronosticando. Si el sesgo es positivo, es posible que haya una tendencia positiva que no se está contabilizando en el modelo de pronóstico; en tanto que si el sesgo es negativo, es posible que haya una tendencia negativa. Si oscila en intervalos regulares, puede haber estacionalidad que no se esté considerando en el modelo del pronóstico. No es una buena medida de la precisión general porque los errores de pronóstico positivos se cancelan con errores de pronóstico negativos. La MAD supera esto porque el valor absoluto se toma de cada error de pronóstico. La MAD es la magnitud promedio del error, independientemente de la dirección del error.

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |FE_i|}{n}$$

Por lo tanto, suponga que el sesgo = 2 y la MAD = 4, lo cual significa que, en promedio, la técnica de pronóstico está dos unidades abajo del pronóstico pero, en general, el pronóstico difiere por cuatro



unidades. El problema con esto es que no podemos comparar SKU diferentes. Por ejemplo, suponga que una SKU tiene una MAD de 10 pero vende en promedio 100 unidades por día y otra SKU tiene una MAD de 10 pero vende 1,000,000 de unidades por día. Es evidente que este último pronóstico es más exacto que el anterior. Así que la MAD no es buena para comparar diferentes SKU. El MAPE supera el problema.

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{FE_i}{(a_i + f_i) / 2} \right|}{n}$$

La mayoría de los libros de texto utilizan a_i en vez de $\frac{a_i + f_i}{2}$, pero si hay días con demanda cero, esto hace que el MAPE quede indefinido. Lo bueno del MAPE es que se pueden comparar SKU diferentes. Además, el MAPE es intuitivo.

Por último, consideramos la desviación estándar del error de pronóstico (σ_{FE}), que es útil para determinar el inventario de seguridad. Aunque esto es posiblemente la menos intuitiva de las métricas del error de pronóstico, es muy útil para medir la cantidad de incertidumbre en un pronóstico, tal que la medida puede utilizarse para determinar el inventario de seguridad y estimar las unidades faltantes por ciclo de reabastecimiento.

La figura 4-9 muestra cuatro simulaciones de eventos discretos de la demanda basadas en el lanzamiento de un dado durante 60 días, usando un pronóstico promedio simple y error de medición con MAPE y sesgo. Observe la rapidez con la que el MAPE se mueve cerca de 10 por ciento en cada simulación de eventos discretos, mientras que el sesgo es mucho más inestable. En la esquina superior izquierda, el sesgo es negativo para todo el horizonte de 60 días; mientras que, en la esquina inferior izquierda, el sesgo es positivo para todo el horizonte de 60 días.

En la figura 4-10 se muestran cuatro simulaciones de eventos discretos de demanda basadas en el lanzamiento del dado durante 60 días, usando un pronóstico de media móvil de cinco días y un error de medición con MAPE y sesgo. Esto es similar a la figura 4-9, pero con una técnica de pronóstico diferente. El MAPE es un poco más alto que la media móvil de cinco días, pero está menos sesgado, y el sesgo converge más rápidamente a un nivel de estado estacionario.

El dilema es que puede haber compensaciones entre estas medidas de error del pronóstico. Como todas contienen información única o caracterizaciones de la información, es importante entender cada una de ellas y evitar utilizarlas de manera que puedan resultar engañosas, como comparar dos SKU con la MAD cuando las SKU tienen niveles de demanda diferentes.

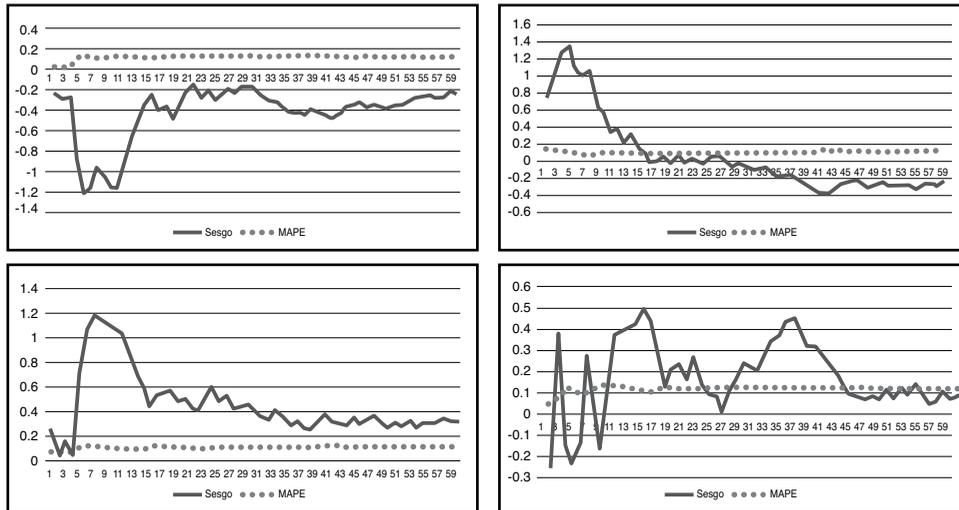


Figura 4-9 Sesgo, MAPE y promedio simple.

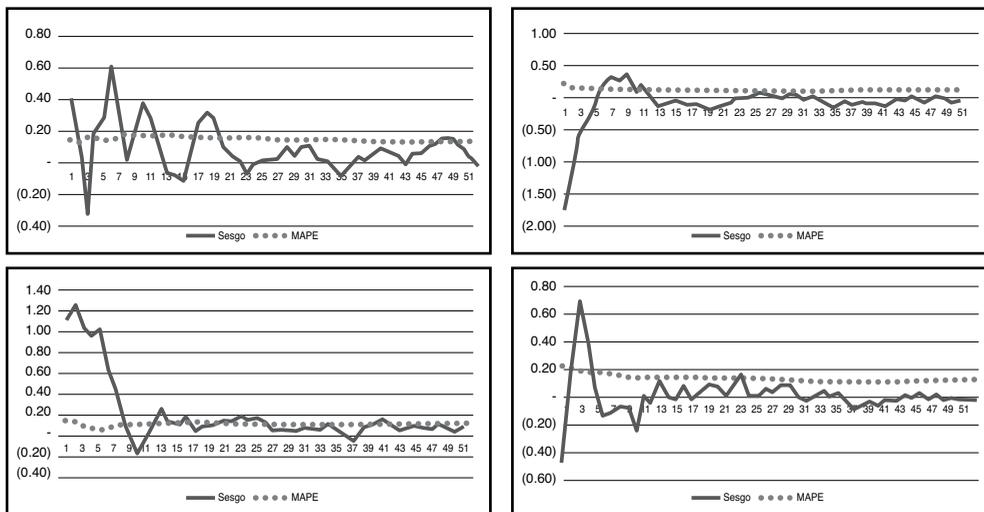


Figura 4-10 Sesgo, MAPE y media móvil.

Suavizamiento exponencial

Ahora exploramos otra clase de modelos de pronóstico que son integrales con la administración del inventario, es decir, los modelos de suavizamiento exponencial.¹² Comenzamos con el más sencillo en este género, el *suavizamiento exponencial de primer orden*.

El suavizamiento exponencial de primer orden pondera los últimos pronósticos contra al error de pronóstico del último periodo. Por ejemplo, si el último pronóstico era 15 y el error de ese periodo fue 5, se ajustaría 15 por alguna fracción del error 5. Es decir, el suavizamiento exponencial de primer orden toma el pronóstico y lo ajusta por una fracción de qué tanto estaba alejado de las ventas reales. Esa fracción se denomina *constante de suavizamiento* y generalmente se denota mediante la letra minúscula griega alfa, α , que varía entre cero y uno, $\alpha \in (0, 1)$. Por consiguiente, si α es pequeña, el ajuste es pequeño, pero si α es grande, el ajuste es grande. Si f_t es el pronóstico para el periodo t , y a_t es la venta real para el periodo t , entonces la predicción suavizada exponencialmente para el periodo $t + 1$ es

$$f_{t+1} = f_t + \alpha(a_t - f_t) \quad \alpha \in (0,1)$$

Si hay una gran cantidad de aleatoriedad en los datos, alfa debería ser menor. Si el nivel de demanda está cambiando, alfa debería ser mayor, al menos por un tiempo. Por ejemplo, suponga que tiene un producto con bastante nivel de demanda, pero se está introduciendo un nuevo artículo competitivo. Entonces, alfa tiene que ser mayor por un tiempo, hasta que los efectos competitivos hagan que la demanda para el artículo esté en un nuevo nivel. Alfa normalmente debe estar entre 0.1 y 0.3 pero, en realidad, depende de los datos y de la situación. Consideremos los extremos. Suponga que alfa es cero; entonces, siempre utilice el primer pronóstico.

$$f_{t+1} = f_t + 0(a_t - f_t)$$

$$f_{t+1} = f_t$$

$$f_{t+n} = f_t$$

Por otro lado, suponga que alfa es igual a uno; entonces usted tiene el pronóstico ingenuo.

$$f_{t+1} = f_t + 1(a_t - f_t)$$

$$f_{t+1} = f_t + a_t - f_t$$

$$f_{t+1} = a_t$$

Un desafío asociado con el uso del suavizamiento exponencial de primer orden es que debe comenzar con un pronóstico anterior. Por lo tanto, para el primer pronóstico se necesita un pronóstico previo. Si tiene datos, puede usar un promedio. Si no tiene datos, podría hacer una estimación a su juicio, o bien, conseguir un panel de expertos y usar un promedio de sus estimaciones. Con lo que usted comience, tendrá un impacto significativo durante bastante tiempo, especialmente si usted utiliza una alfa baja. Por ejemplo, suponga que está pronosticando las compras reales generadas a partir del lanzamiento

de un dado pero, como antes, no sabe cómo se está generando la demanda. Suponga que empieza con una estimación de una pieza y usa una alfa de 0.1.

La figura 4-11 es una gráfica del error de pronóstico durante 60 días. Se observa que, para el primer tercio, el sesgo es positivo; es decir, estamos pronosticando de más. Esto se debe al hecho de que empezamos con una estimación que era demasiado baja y dado que el alfa es bajo, tomó unos 20 días, en este ejemplo, superar esa estimación inicial baja. Ahora, cambiemos alfa a 0.5.

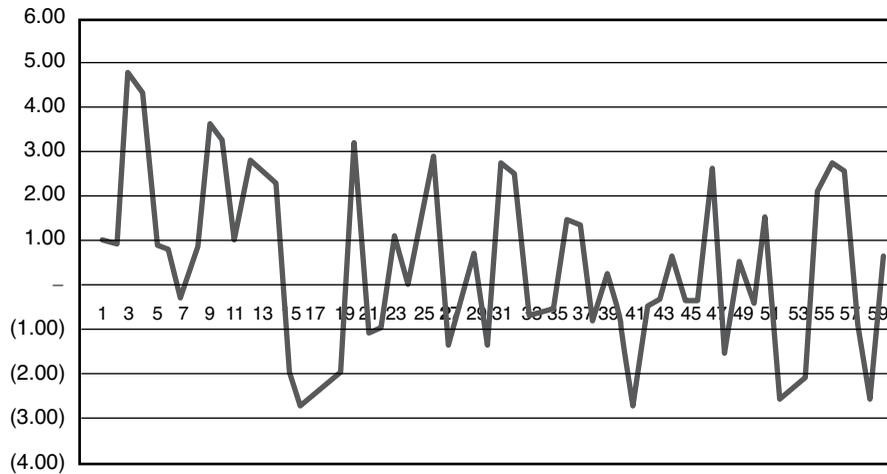


Figura 4-11 Error de pronóstico con suavizamiento exponencial.

En la figura 4-12, no hay sesgo claro en los primeros 20 días, que es resultado de tener una alfa mayor, lo cual permite que el pronóstico se ajuste más rápidamente.

La figura 4-13 muestra la corrida de la simulación de eventos discretos, si comenzamos con un pronóstico de 6 y hemos puesto una alfa de 0.1. Se observa que, de nuevo, tenemos un sesgo claro en el primer tercio de los pronósticos, ya que los errores de pronóstico están, en promedio, debajo de cero.

Así pues, con respecto al problema de no tener ningún dato para el primer pronóstico, una solución es comenzar con una estimación, pero hay que mantener a alfa en el extremo superior del rango y ajustarla lentamente de nuevo a un nivel menor.

Hasta ahora, sólo hemos visto un pronóstico de un periodo hacia delante. ¿Cuál es el pronóstico si está utilizando suavizamiento exponencial de primer orden y necesita un pronóstico de diez periodos en el futuro? Resulta que el pronóstico más reciente es el pronóstico para todos los periodos futuros. Por lo tanto, si el pronóstico con suavizamiento exponencial de primer orden para el siguiente periodo es 34, entonces, en este momento, el primer orden con suavizamiento exponencial para el periodo 20 es de 34 unidades. Desde luego, a medida que avanzamos en el tiempo, esto cambiará. En el momento en que llegamos al periodo 19, el pronóstico para el periodo 20 podría

ser diferente de 34 unidades, pero es lo que sería en el periodo actual dado que el pronóstico para el siguiente periodo es de 34 unidades.

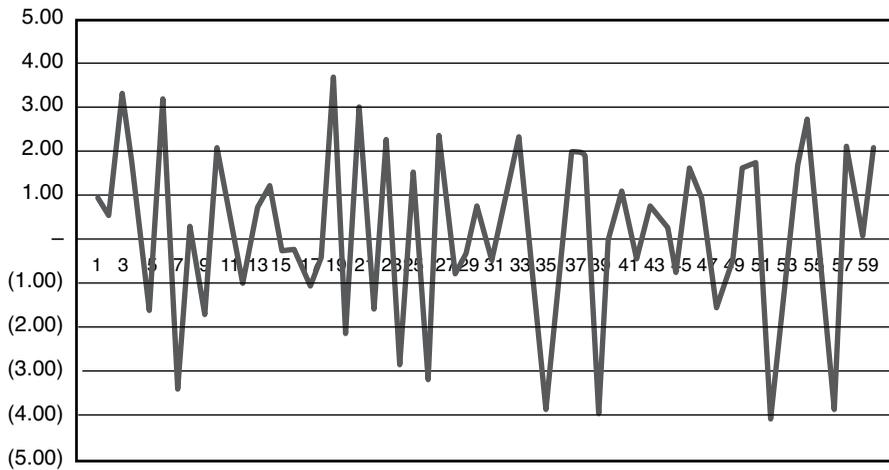


Figura 4-12 Error de pronóstico con una alfa superior.

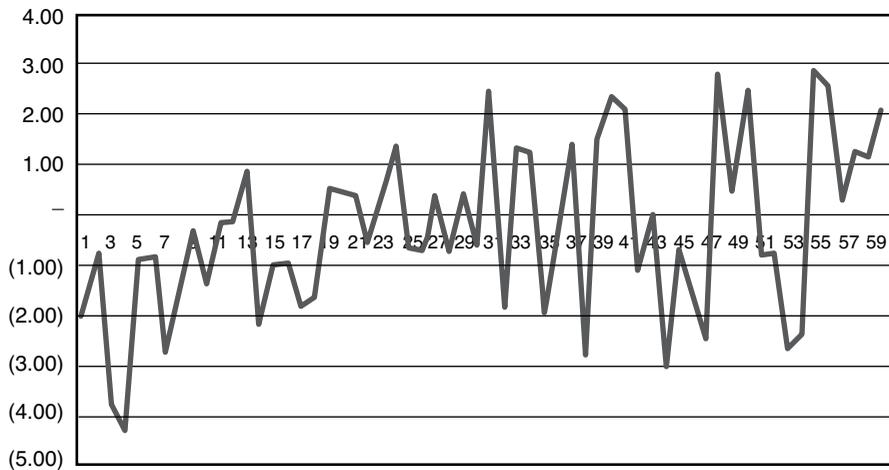


Figura 4-13 Alfa baja e impacto del pronóstico inicial.

Veamos esto con un ejemplo. Suponga que el pronóstico para el periodo actual es de 20, pero las ventas reales fueron de 30 y que el valor alfa es 0.1. Entonces, el pronóstico para el siguiente periodo es

$$f_{\text{periodo2}} = f_{\text{periodo1}} + 0.1 * (a_{\text{periodo1}} - f_{\text{periodo1}})$$

$$f_{\text{periodo2}} = 20 + 0.1*(30 - 20)$$

$$f_{\text{periodo2}} = 20 + 1 = 21$$

Que es también el pronóstico para el periodo posterior:

$$f_{\text{periodo3}} = 21$$

Sin embargo, suponga ahora que llegamos al final del siguiente periodo y las ventas reales fueron 11.

$$f_{\text{periodo3}} = f_{\text{periodo2}} + 0.1*(a_{\text{periodo2}} - f_{\text{periodo2}})$$

$$f_{\text{periodo3}} = 21 + 0.1*(11 - 21) = 21 - 1 = 20$$

Por lo que el pronóstico del periodo 3 al final del periodo 1 es de 21, pero el pronóstico del periodo 3 al final del periodo 2 es de 20. Además de tomar una decisión acerca del pronóstico inicial y del nivel de alfa, otra pregunta que tiene que hacerse, en el suavizamiento exponencial de primer orden, es la siguiente: ¿Con qué frecuencia se debería actualizar el pronóstico? En el ejemplo que acabamos de examinar, se estaba actualizando cada periodo, pero eso tal vez no sea práctico ni óptimo. Quizá no sea práctico porque, por ejemplo, no puede cambiar su orden cada periodo. Tal vez no sea óptimo porque crea demasiado comportamiento errático en el sistema. Una vez más, se trata de un problema que se puede analizar con la simulación de eventos discretos.

El alfa que produce un sesgo más cercano a cero puede no ser el mismo que el que minimiza la desviación estándar del error de pronóstico durante un periodo de tiempo dado. Un sesgo alto, lo cual significa que se está pronosticando bajo, puede resultar en una demanda esperada durante el periodo de protección que sea demasiado baja, lo que resulta en más probabilidades de tener falta de inventario. Una alfa que es demasiado alta hará que la desviación estándar del error de pronóstico sea alta, resultando así en mayor inventario de seguridad. El punto aquí es que su estimación inicial y su selección de alfa tienen un impacto duradero en el desempeño de su administración del inventario. La simulación de eventos discretos es una gran herramienta para evaluar tales decisiones, su impacto en la precisión del pronóstico y el impacto resultante en el desempeño de la administración del inventario.

El suavizamiento exponencial de primer orden supone que no hay tendencia ni estacionalidad en la demanda. Si hay una tendencia al alza y se utiliza el suavizamiento exponencial de primer orden, habrá un sesgo negativo. Aumentar el alfa reducirá el sesgo porque el pronóstico se ajustará hacia arriba más rápidamente, pero seguirá habiendo un sesgo. Del mismo modo, si hay una tendencia a la baja, siempre habrá un sesgo positivo, ya que, en promedio, estará pronosticando demasiado alto.

Suavizamiento exponencial ajustado por tendencia

Consideramos ahora el *suavizamiento exponencial ajustado por tendencia*¹³ (*suavizamiento exponencial de segundo orden*) para determinar la posibilidad de tendencia en la demanda.

Si hay tendencia en la demanda, es importante estimarla para fines de administración del inventario, ya sea una tendencia al alza o una tendencia a la baja.

En esencia, el suavizamiento exponencial de segundo orden calcula una ecuación con una intercepción y una pendiente. La intercepción se conoce como el nivel de demanda, y la pendiente como el componente de tendencia de la demanda. Una vez que éstos se estimen, para pronosticar un periodo en el futuro, usted simplemente toma el nivel y le suma la tendencia. Para pronosticar dos periodos en el futuro, toma el nivel y suma dos veces el componente de tendencia. Para pronosticar n periodos en el futuro, toma el nivel y le suma n veces el componente de tendencia. Con base en esto, es fácil ver un problema potencial con el suavizamiento exponencial de segundo orden, es decir, supone que la tendencia es lineal y que no hay fin en el futuro. Hay una manera de tratar esto que analizaremos más adelante en este capítulo. La fórmula del pronóstico para el suavizamiento exponencial de segundo orden es

$$f_{t+n} = L_t + nT_t$$

Donde L_t es la intercepción o el componente de nivel del pronóstico, T_t es el componente de pendiente o tendencia, n es el número de periodos en el futuro del pronóstico. Por lo tanto, si el nivel es 20 y la tendencia es 5, el pronóstico para el siguiente periodo es

$$f_{t+1} = L_t + 1 * T_t$$

$$f_{t+1} = 20 + 1 * 5 = 25$$

Sin embargo, si éste es 30 días en el futuro, entonces

$$f_{t+30} = L_t + 30 * T_t$$

$$f_{t+1} = 20 + 30 * 5 = 170$$

que muy bien podría ser demasiado optimista. Una vez más, abordaremos este problema posteriormente en este capítulo.

La fórmula que proporcionamos antes para el suavizamiento exponencial de segundo orden es insuficiente porque no se refiere a la forma como estimamos L_t , el componente de nivel del pronóstico y T_t el componente de tendencia. Para estimar el componente de nivel, hay una constante de suavizamiento



asociada, a la que llamaremos de nuevo alfa $\alpha \in (0,1)$. Para estimar el componente de tendencia, hay de nuevo otra constante de suavizamiento, a la que llamaremos beta $\beta \in (0,1)$. Al igual que con el suavizamiento exponencial de primer orden, se debe tener una estimación inicial no sólo del nivel, sino también de la tendencia. Y, como con el suavizamiento exponencial de primer orden, los niveles más altos de alfa resultan en el ajuste más dramático de la estimación del nivel de un periodo a otro. Del mismo modo, los niveles más altos de beta resultan en un ajuste más rápido del componente de tendencia.

Para estimar el nivel en el suavizamiento exponencial de segundo orden, tenemos lo siguiente:

$$L_t = (a_{t-1} + T_{t-1}) + \alpha[a_t - (a_{t-1} + T_{t-1})]$$

Vea de nuevo la fórmula de suavizamiento exponencial de primer orden y observe la similitud. En este caso $(a_{t-1} + T_{t-1})$ es el “pronóstico” anterior del componente de nivel actual, y $[a_t - (a_{t-1} + T_{t-1})]$ se puede considerar como el error en el pronóstico del nivel. Es decir, a_t es el nivel real y $(a_{t-1} + T_{t-1})$ fue la predicción del nivel y la diferencia es el error. Por lo tanto, en esencia, estamos tomando la predicción anterior del nivel y ajustando por una fracción del error, similar a lo que hicimos con la fórmula de suavizamiento exponencial de primer orden.

El componente de tendencia se puede considerar como un pronóstico en el cambio del nivel de demanda. Por lo tanto, actualizar el pronóstico del cambio en el nivel de demanda es un ajuste a la tendencia anterior estimada con base en una fracción del error.

$$T_t = T_{t-1} + \beta[(L_t - L_{t-1}) - T_{t-1}]$$

Una vez más, resulta instructivo repasar la fórmula de suavizamiento exponencial de primer orden, así como la fórmula para la estimación del nivel en el suavizamiento exponencial de segundo orden. Observará el patrón de la estimación anterior más una fracción del error. Podemos pensar en $[L_t - L_{t-1}]$ como el cambio real en el nivel y T_{t-1} como el pronóstico previo del cambio en el nivel. Por lo tanto, la diferencia es el error en la estimación anterior.

Veamos un ejemplo. Suponga que el nivel anterior fue de 100 y la estimación de tendencia anterior fue de 1. Suponga que las ventas reales fueron de 110, y que este periodo fue de 120 y que el nivel anterior fue de 111; y también que alfa y beta son 0.1.

$$L_t = (a_{t-1} + T_{t-1}) + \alpha[a_t - (a_{t-1} + T_{t-1})]$$

$$L_t = (110 + 1) + 0.1[120 - (110 + 1)]$$

$$= (111) + 0.1[9] \approx 112$$

$$T_t = T_{t-1} + \beta([L_t - L_{t-1}] - T_{t-1})$$

$$T_t = 1 + 0.1([112 - 111] - 1) = 1$$

Ahora, vamos a pronosticar 10 periodos en el futuro.

$$f_{t+n} = L_t + nT_t$$

$$f_{t+10} = 112 + 10*1 = 122$$

Suponga que queríamos pronosticar 365 periodos, entonces

$$f_{t+365} = 112 + 365*1 = 477$$

Esto no es razonable. Parece que hay un punto donde la cantidad de tendencia aumenta a una tasa decreciente.

Tendencia amortiguada

La forma de lidiar con esto es mediante la *tendencia amortiguada*¹⁴ ajustada con suavizamiento exponencial. Ésta utiliza un factor de amortiguamiento, $\phi \in (0, 1)$.

$$f_{t+n} = L_t + \left(\sum_{i=1}^n \phi^i \right) T_t$$

Utilizamos los números del ejemplo anterior, pero aplicamos la tendencia amortiguada con suavizamiento exponencial al pronóstico de 10 periodos y sea $\phi = 0.9$.

$$f_{t+10} = 112 + \left(\sum_{i=1}^{10} 0.9^i \right) * 1$$

$$f_{t+10} \approx 112 + 5.9 * 1 \approx 118$$

Observe que $\sum_{i=1}^{10} 0.9^i \approx 5.9$, por lo que en lugar de multiplicar por 10, multiplicamos por 5.9. Ahora vamos a pronosticar 365 periodos.

$$f_{t+365} = 112 + \left(\sum_{i=1}^{365} 0.9^i \right) * 1$$

$$f_{t+365} = 112 + 9 * 1 = 121$$

Recuerde que antes multiplicábamos por 365. Ahora, el factor de amortiguamiento seleccionado tiene un gran impacto en la rapidez con la que esta suma converge. Si hubiéramos puesto $\varphi = 0.98$, entonces habríamos multiplicado por 49 en vez de por 9, pero es aun significativamente menor que 365.

El eje vertical de la figura 4-14 es $\left(\sum_{i=1}^n \varphi^i \right)$, el eje horizontal es n , y las líneas comienzan con la línea más baja que representa $\varphi = 0.9, 0.91, 0.92, 0.93, 0.94$ y 0.98 , respectivamente. Se observa que para $\varphi = 0.9, 0.91, 0.92, 0.93$ y 0.94 comienzan a converger con bastante rapidez, alrededor de 30 a 45 periodos. Aunque para $\varphi = 0.9$ es alrededor de 37, en $n = 365$ es de 49. Se trata de un método que es importante para la prevención de pronósticos ridículamente altos hacia el futuro.

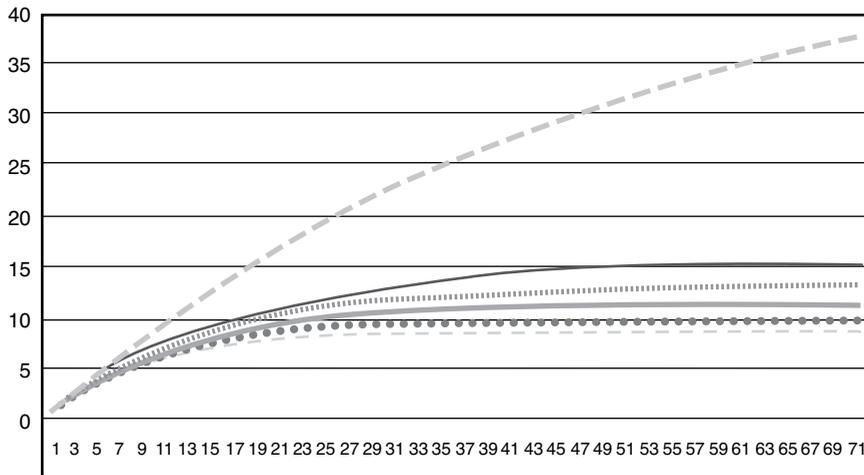


Figura 4-14 Factor de amortiguamiento.

Pronósticos ajustados estacionalmente

Ahora vemos la estacionalidad.¹⁵ La estacionalidad existe cuando la demanda aumenta significativamente en intervalos de tiempo específicos cada año. La estacionalidad puede ser un fenómeno complejo porque a veces es causada por fechas, tales como la Navidad; y otras veces es el resultado de variables causales, como el aumento en las temperaturas; y en ocasiones depende tanto de fechas como de variables causales. Veamos algunos ejemplos concretos. La demanda de caramelos aumenta

en Halloween porque las golosinas forman parte de la celebración. La demanda de agua embotellada se incrementa cuando la temperatura aumenta porque las personas beben más agua cuando sube la temperatura. Sin embargo, la gente también consume más agua embotellada en el Día de la Independencia debido a la compra para tener disponible para las fiestas del Cuatro de Julio, pero aún se consume más si la temperatura exterior es particularmente más elevada. Si usted pronostica la estacionalidad de las ventas de agua embotellada de manera estricta con fechas (por ejemplo, verano) y, luego, resulta ser un verano inusualmente fresco, es probable que pronostique en exceso la demanda de agua embotellada. Por lo tanto, para el agua embotellada, es probable que quiera tener tiempo y temperatura en la ecuación.

El pronóstico de la estacionalidad con el tiempo requiere un método de pronóstico de series temporales que se ocupe directamente de la estacionalidad. El pronóstico de la estacionalidad con una variable causal como la temperatura requiere un método como la regresión, la cual analizaremos más adelante en este capítulo. El uso de un método de pronóstico de series temporales combinado con un método causal como la regresión se puede hacer usando una combinación lineal de los dos, que también analizaremos más adelante en este capítulo.

Una forma sencilla de pronosticar la demanda trimestral con estacionalidad es usando los factores estacionales aplicados a los pronósticos anuales. Por ejemplo, usted podría pronosticar la demanda anual y no tener que preocuparse por la estacionalidad, ya que la estacionalidad ocurre dentro del año. Por lo tanto, con este enfoque puede ver hacia atrás durante varios años y saber qué porcentaje de la demanda se produce en cada trimestre. Suponga que usted hizo esto y encontró que la demanda anual se divide entre el primer, segundo, tercero y cuarto trimestres, en un 10 por ciento, un 40 por ciento, un 30 por ciento y un 20 por ciento, respectivamente. Entonces, podría pronosticar la demanda anual con suavizamiento exponencial de segundo orden si hay tendencia y, luego, aplicar los factores estacionales. Suponga que usted pronostica una demanda anual de \$100 millones, entonces asignaría \$10 millones al primer trimestre ($10\% \times \$100$ millones), \$40 millones al segundo trimestre ($40\% \times \$100$ millones), \$30 millones al tercer trimestre ($30\% \times \$100$ millones) y \$20 millones al cuarto trimestre ($20\% \times \$100$ millones). Desde luego, este método sólo funciona cuando los factores estacionales son estables de un año a otro.

También puede tener un tipo de estacionalidad que está dentro de la semana. Por ejemplo, muchos artículos de comestibles venden más el fin de semana que durante la semana regular, lo cual se debe, en parte, al hecho de que más gente compra durante el fin de semana. Sin embargo, algunos artículos de comestibles se venden más uniformemente durante toda la semana; depende del producto, la ubicación y el minorista. Considere un producto como bolsas de hielo. La gente tiende a comprarlas en fin de semana para sus fiestas, eventos especiales, etcétera. Tal vez hasta 80 por ciento del producto se vende en algunas tiendas los fines de semana en el verano. Entonces, podría utilizar un enfoque de factores estacionales para el pronóstico de la demanda a lo largo de la semana. Ahora, podría ser que usted vendería más bolsas de hielo en verano que en el invierno. En ese caso, es posible que desee pronosticar a un nivel semanal, incluyendo la estacionalidad anual y, luego, asignar la demanda semanal por día utilizando un tipo de factor estacional dentro

de la semana. La exactitud de esto dependerá de (1) la estabilidad del factor estacional dentro de la semana, y (2) la exactitud del pronóstico semanal.

Ahora veamos un método de suavizamiento exponencial llamado *suavizamiento exponencial por estacionalidad aditiva sin tendencia*. Con este método, en vez de tener una estimación estática de los factores estacionales y la estimación estática del nivel de demanda, éstos se actualizan. Este método actualiza la estimación del nivel y las estimaciones estacionales de manera similar a la forma como se calcularon las estimaciones de los niveles en los métodos de suavizamiento exponencial de primero y segundo orden y, también, de manera similar a como los estimados de tendencia fueron actualizados con el método de suavizamiento exponencial de segundo orden. Sea $p = \text{número de periodos entre estaciones}$, $L_t = \text{nivel estimado para el periodo } t$, $S_t = \text{demanda estacional incremental para el periodo } t$; entonces, la estimación de nivel está dada por

$$L_t = L_{t-1} + \alpha[(a_t - S_{t-p}) - L_{t-1}]$$

Por lo que tomamos la estimación anterior del nivel de demanda y la ajustamos por una fracción del error. Podemos pensar en $a_t - S_{t-p}$ como el nivel real basado en la demanda real y la demanda estacional incremental de la temporada anterior, y L_{t-1} como la estimación anterior del nivel.

Ahora veamos la demanda estacional incremental actualizada.

$$S_t = S_{t-p} + \beta[(a_t - L_t) - S_{t-p}]$$

Por lo tanto, la estimación anterior de la demanda estacional incremental hace que p periodos se actualice por una fracción del error en la estimación. Podemos pensar en $a_t - L_t$ como la demanda estacional incremental real y en S_{t-p} como la estimación, por lo que $(a_t - L_t) - S_{t-p}$ es el error.

Por último, para estimar la demanda para los próximos periodos, utilizamos la siguiente fórmula:

$$F_{t+n} = L_t + S_{t+n-p}$$

Suponga que $L_t = 300$ y que quiere pronosticar hacia el siguiente periodo, por lo que $n = 1$, y que el número de periodos entre las estaciones es de 12 meses ($p = 12$), y $S_{t+1-12} = 100$; entonces,

$$F_{t+1} = 300 + 100 = 400$$

Ahora, veamos nuevamente el ejemplo anterior: pronostica que la demanda anual será de \$100 millones, luego asignaría \$10 millones al primer trimestre ($10\% \times \$100$ millones), \$40 millones al segundo trimestre ($40\% \times \$100$ millones), \$30 millones al tercer trimestre ($30\% \times \$100$ millones) y \$20 millones al cuarto trimestre ($20\% \times \$100$ millones). El nivel actual de la demanda es de



\$100 millones por año/4 trimestres = \$25 millones/trimestre. Por lo que, $L_t = 25$. Entonces, tenemos $S_{t+1-4} = 10 - 25 = -15$, $S_{t+2-4} = 40 - 25 = 15$, $S_{t+3-4} = 30 - 25 = 5$ y $S_{t+4-4} = 20 - 25 = -5$.

Ahora, suponga que la demanda real para el primer trimestre resultó ser de \$15 millones y $\alpha = 0.1$ y $\beta = 0.1$.

$$L_{Q1} = 25 + 0.1[(15 + 15 - 25)] = 25 + 0.5 = 25.5$$

y

$$S_{Q1} = -15 + 0.1[(15 - 25.5) + 15] = -15 + 0.45 \approx -14.5$$

Por lo que vemos que como la demanda real resultó ser de \$5 millones más que el año anterior, esto redujo la magnitud del factor estacional negativo y aumentó la estimación del nivel en cerca de medio millón cada uno en la dirección positiva. Así que si queremos pronosticar Q2,

$$F_{Q2} = 25.5 + 15 = 40.5$$

Esto es medio millón mayor que Q2 del año anterior. Considere que este aumento es el resultado del hecho de que el primer trimestre de este año fue de \$5 millones más que el primer trimestre del año pasado.

Ahora veamos el suavizamiento exponencial de tercer orden con tendencia amortiguada, una variación en el modelo de Winter. Definimos $\sum_{i=1}^p S_i = p$. Por ejemplo, suponga que $p = 4$, y la única posibilidad es $S_1 = 0.5$, $S_2 = 1.5$, $S_3 = 0.3$ y $S_4 = 1.7$. Observe que éstos suman 4.

$$L_t = (L_{t-1} + T_{t-1}) + \alpha \left[\left(\frac{a_t}{S_{t-p}} \right) - (L_{t-1} + T_{t-1}) \right]$$

$$T_t = T_{t-1} + \beta([L_t - L_{t-1}] - T_{t-1})$$

$$S_t = S_{t-p} + \gamma \left[\left(\frac{a_t}{L_t} \right) - S_{t-p} \right]$$

Éste es el modelo para pronosticar con una tendencia lineal (aplicación tradicional del modelo de Winter):

$$f_{t+n} = (L_t + nT_t)S_{t+n-p}$$

Éste es el modelo a pronosticar con una tendencia amortiguada:

$$f_{t+n} = \left(L_t + \left(\sum_{i=1}^n \phi^i \right) T_t \right) S_{t+n-p}$$

La figura 4-15 es un ejemplo de la diferencia entre el modelo estacional multiplicativo con tendencia y el modelo estacional multiplicativo con tendencia amortiguada. El eje horizontal es el tiempo en trimestres, de tres años, y el eje vertical es el pronóstico en unidades de ventas. La línea continua es el modelo estacional multiplicativo con tendencia, y la línea punteada es el modelo estacional multiplicativo con tendencia amortiguada. Como se observa, el amortiguamiento de la tendencia también disminuye el grado de oscilaciones en la estacionalidad.

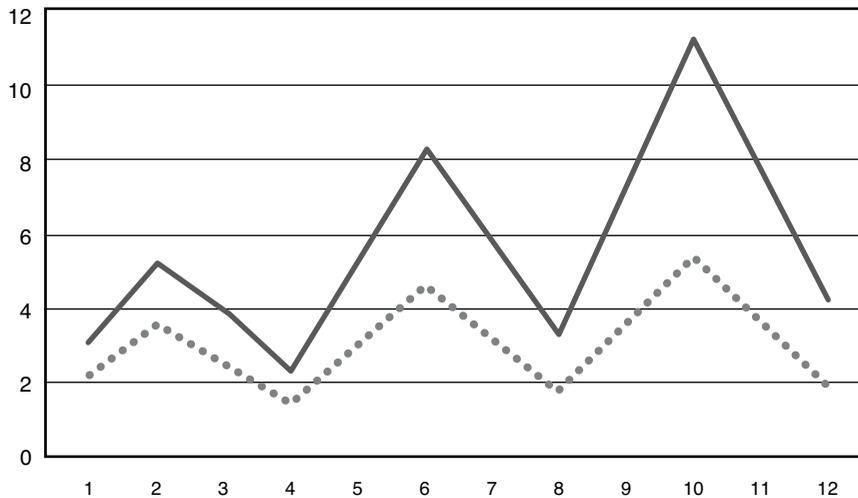


Figura 4-15 Diferencia entre el modelo estacional multiplicativo con tendencia y el modelo estacional multiplicativo con tendencia amortiguada.

En la figura 4-16 tenemos una tendencia a la baja, y vemos nuevamente que la tendencia descendente del modelo estacional multiplicativo con tendencia (línea continua) es más significativa que en el modelo estacional multiplicativo con tendencia amortiguada (línea punteada). De hecho, a medida

que avanzamos hacia el futuro, vemos cambios menos drásticos en el modelo no amortiguado, lo contrario de lo que observamos con la tendencia ascendente.

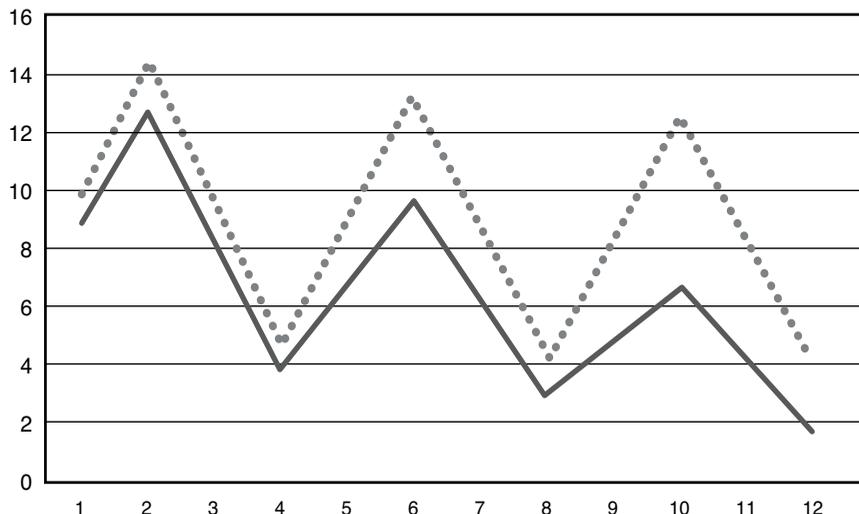


Figura 4-16 Tendencia a la baja.

Observe que las tres ecuaciones para estimar el nivel, la tendencia y los componentes estacionales de las series temporales son similares a los otros modelos de suavizamiento que hemos examinado, en el sentido de que empiezan con la estimación anterior y ajustan ésta por alguna fracción (constante de suavizamiento) del error en la estimación anterior. Por ejemplo, en la ecuación de

nivel, $(L_{t-1} + T_{t-1})$ es la estimación del nivel en el periodo t , pero $\left(\frac{a_t}{S_{t-p}}\right)$ es el nivel real. Verá que a_t son las ventas reales para el periodo t , por lo que dividir entre S_{t-p} toma el componente estacional de las ventas, dando así el nuevo nivel real. Por ejemplo, si $a_t = 10$ y $S_{t-p} = 0.5$, esto significa que las ventas para el periodo t fueron 10 unidades y que, como resultado de la estacionalidad, este periodo es la mitad del nivel de demanda, por lo que dividir 10 entre 0.5 lo infla al nivel real de 20 para este periodo. Por consiguiente, $\left[\left(\frac{a_t}{S_{t-p}}\right) - (L_{t-1} + T_{t-1})\right]$ es el error, y la diferencia entre

el nivel real de este periodo y la estimación de lo que el nivel sería este periodo es $t - 1$.

Veamos ahora la estimación estacional.

$$S_t = S_{t-p} + \gamma \left[\left(\frac{a_t}{L_t} \right) - S_{t-p} \right]$$

Ahora, de nuevo, estamos tomando la estimación anterior del factor estacional S_{t-p} y ajustándola por una fracción, γ , del error $\left[\left(\frac{a_t}{L_t} \right) - S_{t-p} \right]$. Las ventas reales para el periodo t son a_t , y se dividen entre el nivel para obtener el componente estacional real para este periodo. Por ejemplo, suponga que las ventas reales para este periodo fueron 75 unidades, pero el nivel para este periodo fue de 100 unidades, entonces el componente estacional real para este periodo es $\left(\frac{a_t}{L_t} \right) = \left(\frac{75}{100} \right) = 0.75$. Suponga que la constante de suavizamiento para el componente estacional es $\gamma = 0.1$ y que $S_{t-p} = 0.80$.

$$S_t = S_{t-p} + \gamma \left[\left(\frac{a_t}{L_t} \right) - S_{t-p} \right]$$

$$S_t = 0.80 + 0.1 \left[\left(\frac{75}{100} \right) - 0.80 \right]$$

$$S_t = 0.80 + 0.1 \left[(0.75) - 0.80 \right]$$

$$S_t = 0.80 + 0.1 \left[-0.05 \right]$$

$$S_t = 0.80 - 0.005$$

$$S_t = 0.795$$

Hasta el momento, hemos examinado cuatro tipos de modelos de suavizamiento exponencial: (1) suavizamiento exponencial de primer orden, que sólo pronostica el nivel; (2) suavizamiento exponencial con tendencia; (3) estacionalidad aditiva sin tendencia; y (4) estacionalidad multiplicativa con tendencia. Vamos a compararlos, primero, desde la perspectiva de la estimación del componente de nivel de la serie temporal. Éstas son:

Primer orden: $f_{t+1} = f_t + \alpha(a_t - f_t)$

Tendencia: $L_t = (a_{t-1} + T_{t-1}) + \alpha[a_t - (a_{t-1} + T_{t-1})]$

Estacionalidad aditiva, sin tendencia: $L_t = L_{t-1} + \alpha[(a_t - S_{t-p}) - L_{t-1}]$

Estacionalidad multiplicativa, con tendencia: $L_t = (L_{t-1} + T_{t-1}) + \alpha \left[\frac{a_t}{S_{t-p}} - (L_{t-1} + T_{t-1}) \right]$

Observe que para el suavizamiento exponencial de primer orden y la estacionalidad aditiva sin tendencia, la última estimación es sólo el nivel, pero con el suavizamiento exponencial con tendencia amortiguada y la estacionalidad multiplicativa con tendencia se encuentra el último nivel más la tendencia. La razón de ello es que el nivel anterior más la tendencia anterior es la estimación de cuál sería el nivel del próximo periodo, y eso es precisamente lo que se debe ajustar con base en el error. Ahora bien, el modelo de estacionalidad aditiva y el modelo de estacionalidad multiplicativa pueden incluir tendencia o no. En nuestra exposición, no incluimos tendencia en el modelo de estacionalidad aditiva, pero lo hicimos con el modelo multiplicativo, aunque fue arbitrario.

Ahora, la ecuación de tendencia tanto para el suavizamiento exponencial con tendencia amortiguada como para el modelo de estacionalidad multiplicativa con tendencia es la misma: $T_t = T_{t-1} + \beta[(L_t - L_{t-1}) - T_{t-1}]$. Además, si hubiéramos tenido un componente de tendencia en el modelo de estacionalidad aditiva, también sería esta misma ecuación.

Los componentes estacionales son similares, excepto en el caso de la estacionalidad aditiva; el componente estacional está en términos de la demanda de unidades, mientras que, en el caso de la estacionalidad multiplicativa, el componente estacional está en términos de una razón. Las otras son las mismas:

$$S_t = S_{t-p} + \beta[(a_t - L_t) - S_{t-p}]$$

$$S_t = S_{t-p} + \gamma \left[\left(\frac{a_t}{L_t} \right) - S_{t-p} \right]$$

Recuerde que el pronóstico para n periodos adelante del pronóstico estacional era

$$F_{t+n} = L_t + S_{t+n-p}$$

Si hubiera tenido tendencia lineal, entonces habría sido

$$F_{t+n} = L_t + nT_t + S_{t+n-p}$$

Mientras que, para la estacionalidad multiplicativa con tendencia, es

$$f_{t+n} = (L_t + nT_t)S_{t+n-p}$$

Una cosa a notar es que, con el modelo aditivo con tendencia, independientemente del tamaño de la tendencia, las cantidades estacionales permanecen iguales. Eso no parece razonable. Imagine que usted está en 100 unidades por mes y el factor estacional es 10. Ahora imagine que en 24 meses está pronosticando 1,000 unidades por mes. Todavía tendrá ese factor estacional de 10. Por otro lado, con el modelo multiplicativo encontramos que los factores estacionales se magnifican a medida que n crece. Eso sería razonable hasta cierto punto, pero finalmente se podría sobrevalorar. Una solución a esto es usar la tendencia amortiguada. Ya hemos mostrado cómo se incorpora la tendencia amortiguada en el modelo multiplicativo, pero aquí se incorpora en el modelo aditivo.

$$F_{t+n} = L_t + \left(\sum_{i=1}^n \phi^i \right) T_t + S_{t+n-p}$$

Los índices estacionales usualmente se basan en muy pocos datos. Suponga que $p = 12$ meses para S_{t+n-p} . No es usual tener dos años de datos representativos. Hay situaciones donde hay muchos años de datos representativos, pero a menudo es la excepción. Si sólo tiene dos años de información, estará basada en pocas observaciones de esas estaciones específicas. Es posible que la incertidumbre introducida por el uso de factores estacionales que esté llena de errores estocásticos podría ser peor que el beneficio que conlleva. Por lo tanto, en su lugar se podría usar el pronóstico ajustado por tendencia con una beta alta para que se ajustara rápidamente a la estacionalidad, pero usar una beta alta hará que incorpore más ruido estocástico en la estimación del factor estacional. O bien, puede usar un método de nivel como el suavizamiento exponencial de primer orden. Si tiene estacionalidad y utiliza un modelo de nivel, puede tener (1) demasiado¹⁶ inventario de seguridad durante todo el año, (2) poco inventario de ciclo durante la temporada alta y (3) demasiado inventario de ciclo durante la temporada baja.

La línea continua en la figura 4-17 es un modelo estacional aditivo determinista con un nivel de 100. La línea punteada es el mismo modelo determinístico, pero con un término estocástico agregado a éste, que es simulado a partir de una distribución normal con una media cero y una desviación estándar de 20. La única diferencia entre la gráfica en la parte superior y la gráfica en la parte inferior es que son

dos simulaciones de eventos discretos diferentes de la misma distribución; el modelo determinista es el mismo en ambas gráficas. Estas gráficas muestran el desafío asociado con la determinación de los componentes estacionales de tan sólo dos años de datos, es decir, incluso con un poco de perturbación estocástica, las estimaciones quedarán fuera.

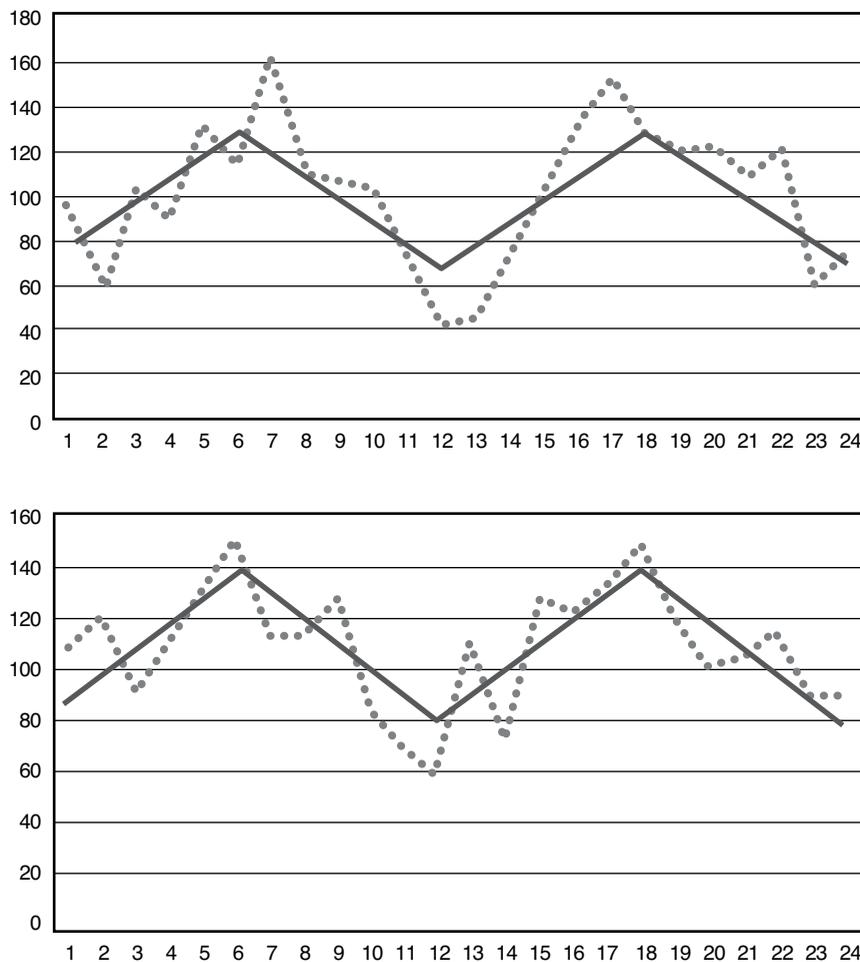


Figura 4-17 Estacionalidad con desviación estándar igual a 20.

La figura 4-18 es idéntica a la figura 4-17, excepto que el término estocástico tiene una desviación estándar de 50 en vez de 20.

Podemos ver de esto que las estimaciones de los componentes estacionales serían completamente irrazonables. El punto clave al respecto es que se debe tener mucho cuidado en la aplicación de modelos estacionales. De hecho, en la figura 4-18, un modelo de suavizamiento exponencial de primer orden

superaría a un modelo estacional cuando se pronostique el próximo año. Los componentes estacionales de los modelos estacionales agregarían más ruido al modelo de pronóstico, lo cual disminuiría la exactitud del pronóstico. La figura 4-18 podría ser el nivel de incertidumbre que vería para un artículo en una tienda, donde se venden alrededor de 100 unidades en promedio por mes. Sin embargo, si usted tuviera las ventas promedio de 200 tiendas con la misma estacionalidad, podría estimar el componente estacional de la serie temporal con mayor precisión.

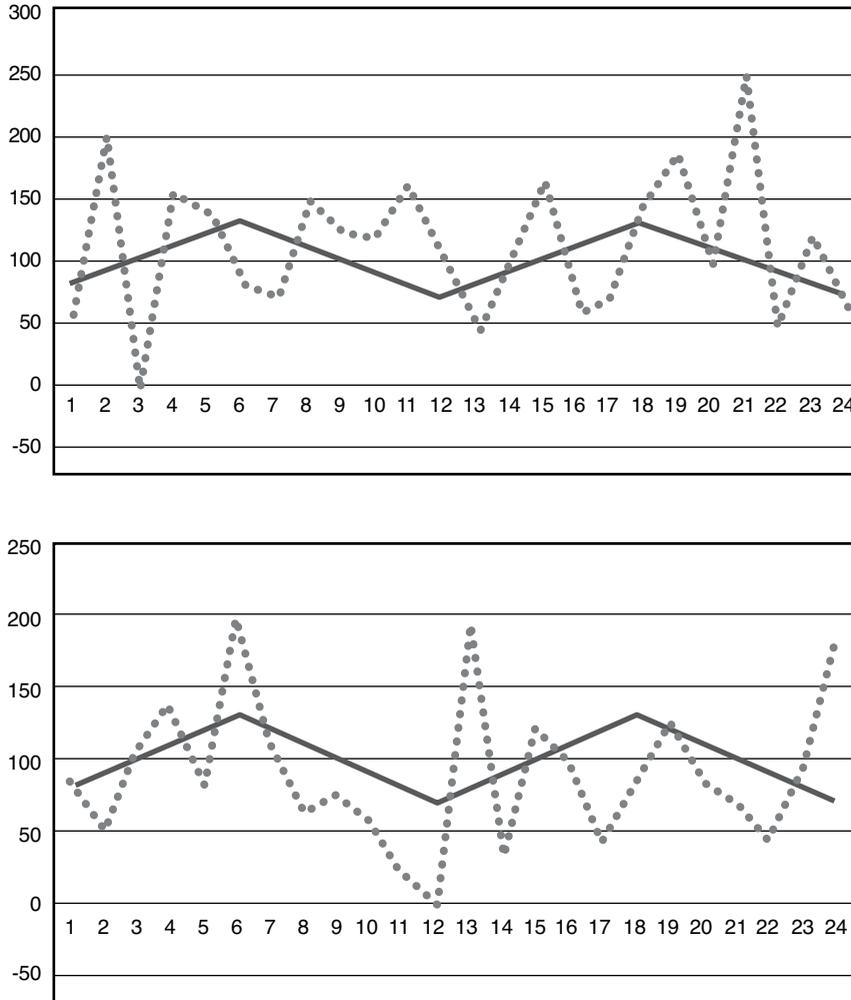


Figura 4-18 Estacionalidad con desviación estándar igual a 50.

Esta idea es aún más exagerada cuando se trata de estimar los componentes de tendencia y estacionales, como se ilustra en la figura 4-19.



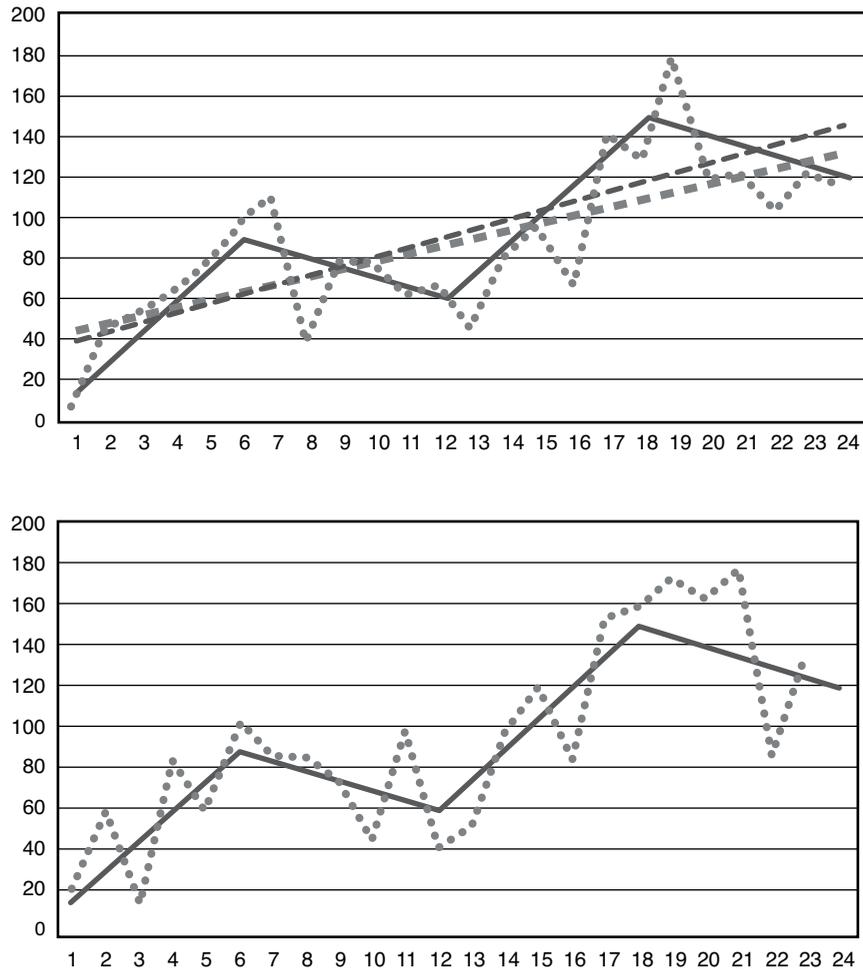


Figura 4-19 Estacionalidad y tendencia con desviación estándar igual a 50.

En la figura 4-19, la línea continua es el mismo modelo determinístico, pero con un término estocástico agregado a éste, lo cual se simula a partir de una distribución normal con una media de cero y una desviación estándar de 50. Como se puede ver de nuevo, la estacionalidad sería difícil de detectar en ambas gráficas. Las líneas discontinuas son las líneas de regresión para las líneas correspondientes. (La línea discontinua clara corresponde a la línea continua; y la línea discontinua oscura, a la línea punteada). El modelo de regresión utiliza el número del mes como variable independiente y el nivel de línea como la variable dependiente. Por lo tanto, la línea discontinua clara es el componente de tendencia real y la línea discontinua oscura es el componente de tendencia estimada. En general, es más

fácil estimar el componente de tendencia que los componentes estacionales de las series temporales. En consecuencia, en estos dos ejemplos, el uso de suavizamiento exponencial ajustado a la tendencia con una tendencia amortiguada, que queda fuera de la estimación inicial de la tendencia, no tendría un efecto tan perjudicial como si la tendencia no fuese amortiguada.

Como se mencionó anteriormente, la figura 4-18 es idéntica a la figura 4-17, excepto que el término estocástico tiene una desviación estándar de 50 en lugar de 20. En la figura 4-20, aún es difícil estimar los factores estacionales, pero las estimaciones con la tendencia están muy cercanas a los componentes reales de la tendencia.

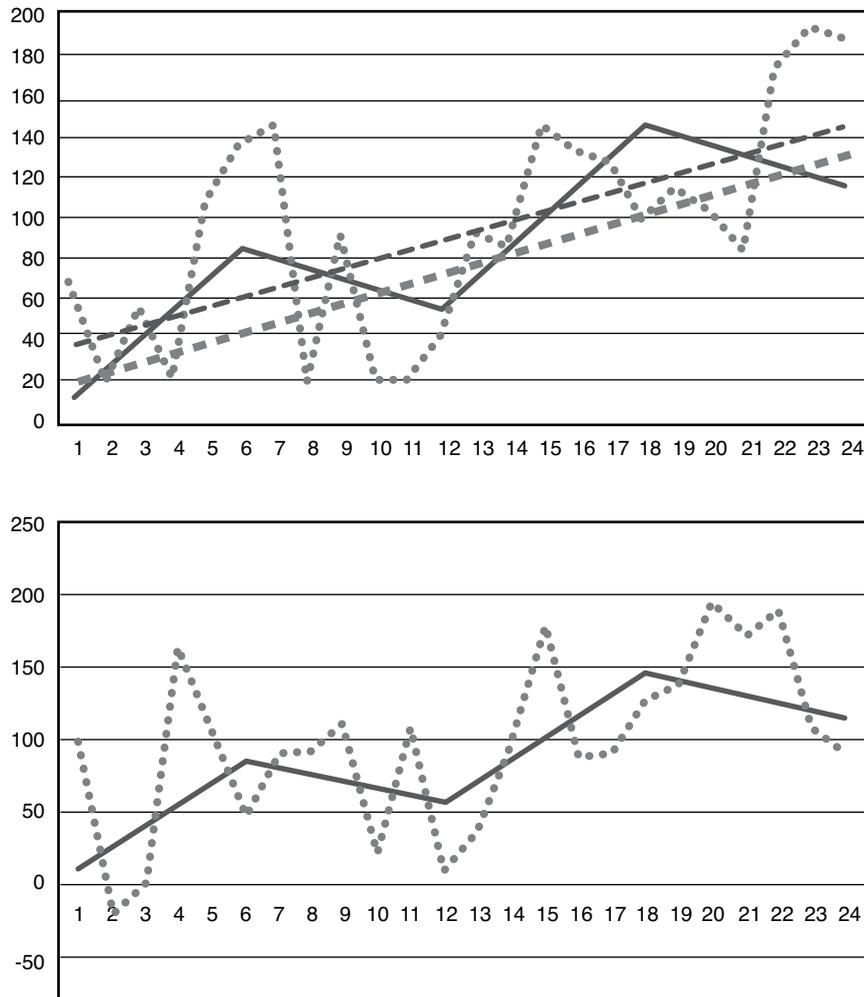


Figura 4-20 Estacionalidad y tendencia con desviación estándar igual a 20.

Si la tendencia es suficientemente pronunciada, incluso si la demanda tiene mucho ruido, el componente de tendencia con frecuencia se puede estimar con relativa exactitud. Sin embargo, usted debe asegurarse de tener suficientes datos para estimar una tendencia. La figura 4-21 es un ejemplo de ello.

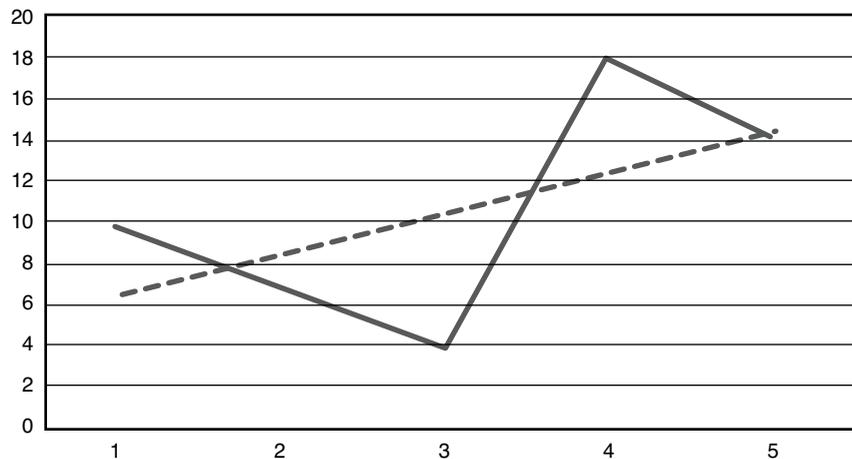


Figura 4-21 Una ilusión de la tendencia.

La figura 4-21 es la demanda simulada de la demanda que sólo tiene un componente de nivel. El componente de nivel es 10, y el término estocástico es de una distribución normal con una media de cero y una desviación estándar de 5. En este ejemplo, parece haber una tendencia, pero evidentemente, con base en el modelo subyacente, no hay tendencia.

La figura 4-22 tiene datos simulados de la misma distribución de demanda que la figura 4-21, excepto que se simula durante 40 periodos. Por supuesto, esto es sólo una simulación de eventos discretos, pero ilustra el punto de que, incluso en 40 periodos, se podría detectar una tendencia que no existe.

Suena como si le hubiéramos mostrado modelos de tendencia y estacionales, y ahora le estuviéramos diciendo que probablemente no debería usarlos, pero éste no es el caso. Tan sólo estamos exponiendo una advertencia importante en el uso de tendencias y modelos estacionales. En la figura 4-22, si tuviéramos que utilizar la tendencia amortiguada, el efecto de la tendencia pequeña que parecía detectarse (que realmente no existía) se reduciría al mínimo. Sin embargo, es una buena idea ir más allá de usar la tendencia amortiguada. Para pronosticar, es bueno usar la lógica y otros datos empíricos antes de desarrollar modelos de pronóstico. ¿Existe alguna razón para creer que existen tendencia y estacionalidad? ¿Por qué? ¿Cuál es la lógica? Responder a estas preguntas puede requerir involucrar a otros, posiblemente a ventas y marketing. Además, quizás haya una tendencia al alza si está ganando participación de mercado. Dicha información se obtiene de las empresas que comercializan información sindicada de ventas como AC Nielsen.

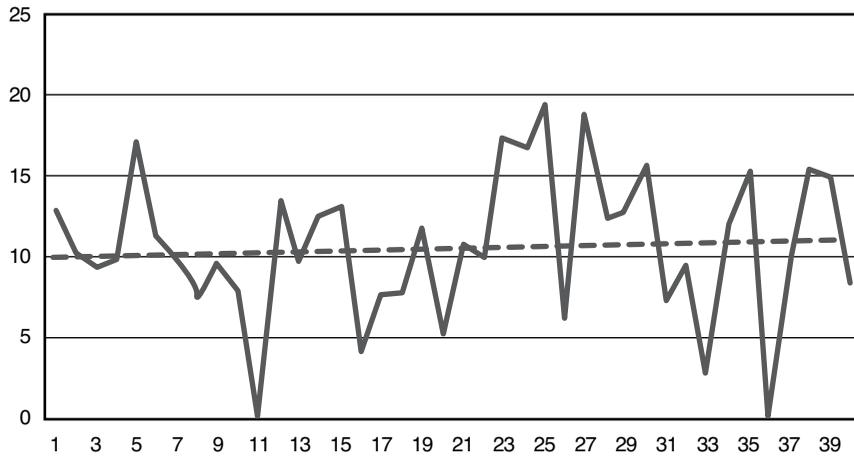


Figura 4-22 Otra ilusión de tendencia.

Modelos causales

Existen otros tipos de modelos de pronósticos de series temporales, pero ahora vamos a hablar sobre modelos causales y, en particular, modelos de regresión. La construcción de modelos de regresión eficaces requiere más habilidad que la construcción de modelos de suavizamiento de series temporales. En el libro usaremos la regresión más adelante para otros propósitos, de manera que vale la pena aprenderla aquí por múltiples razones. La regresión es un tema complejo, y sólo lo tocaremos brevemente y lo analizaremos desde una perspectiva aplicada.

Regresión

Para construir un modelo de regresión debes definir las variables dependientes e independientes. Ya que estamos pronosticando ventas, la variable dependiente son las ventas. La regresión encuentra una línea que se ajusta a los datos al minimizar la suma de los errores al cuadrado. Los errores son errores de pronóstico. Como vimos, el error de pronóstico para el periodo i se define como $FE_i = a_i - f_i$, donde a_i son las ventas efectuadas reales para el periodo i y f_i es el pronóstico para el periodo i . En la regresión, no se llaman errores de pronóstico, sino que se denominan residuos, porque la mayor parte de las veces la regresión no se utiliza para pronosticar sino para probar hipótesis. En específico, la regresión minimiza la suma del cuadrado de los residuos para n observaciones.

$$\min \sum_{i=1}^n (a_i - f_i)^2$$

La regresión selecciona los coeficientes de regresión para minimizar esta suma. En general, la ecuación de regresión del pronóstico es

$$f(\{X_i\}_{i=1}^m) = b_0 + \sum_{i=1}^m b_i X_i$$

Así, la regresión elige b_0 , la intercepción, y b_p , los valores de la pendiente (denominados *coeficientes de regresión*) para cada una de las m variables independientes, para minimizar la suma de los cuadrados de los residuos. Muchos paquetes de software, incluyendo Microsoft Excel, se pueden utilizar para estimar ecuaciones de regresión.

Comenzamos con uno de los métodos de pronóstico más sencillos basados en la regresión: el pronóstico de tendencias. La figura 4-23 es el dato que usamos para desarrollar un modelo de pronóstico basado en la regresión.

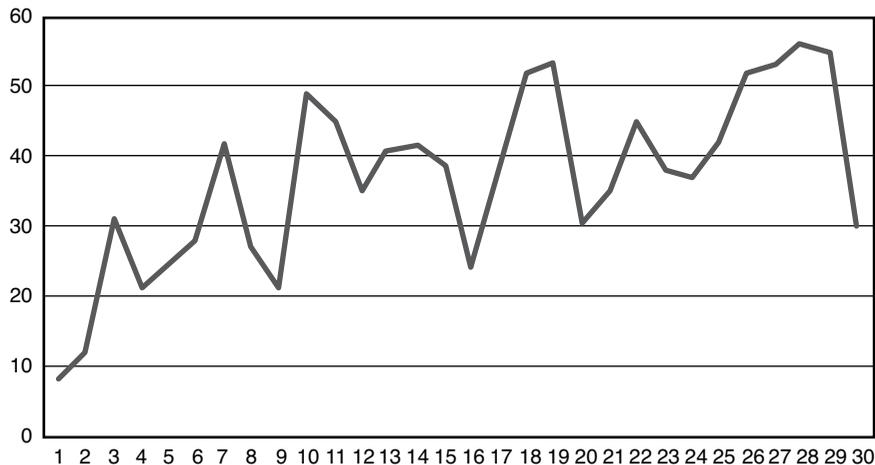


Figura 4-23 Tendencia de la demanda.

La tabla 4-2 tiene el número representado en la figura 4-23.

Tabla 4-2 Demanda semanal con tendencia

Semana	Ventas
1	8
2	12
3	31

Semana	Ventas
4	21
5	24
6	28
7	42
8	27
9	21
10	49
11	45
12	35
13	41
14	42
15	39
16	24
17	39
18	52
19	54
20	30
21	35
22	45
23	38
24	37
25	42
26	52
27	53
28	56
29	55
30	30

Usando regresión, obtenemos el siguiente modelo de pronóstico:

$$F_t = 22 + 0.95t$$



Es decir, la regresión estima que la intercepción es 22 y la pendiente es 0.95. Por lo tanto, si se pronosticara para la semana 31, obtendríamos

$$F_{31} = 22 + 0.95(31) = 51$$

Y un pronóstico para la semana 50 sería

$$F_{50} = 22 + 0.95(50) = 70$$

La regresión muestra que el modelo es estadísticamente significativo y tiene una R-cuadrada de 0.43, lo cual significa que 43 por ciento de la varianza en el pronóstico se explica por el número de la semana.

Hay maneras con la regresión para estimar algo similar a una tendencia amortiguada. Podemos estimar un modelo de la forma

$$F_t = at^b$$

Para estimar esto con regresión, primero debemos tomar el logaritmo natural de ambos lados de la ecuación.

$$\ln F_t = \ln(at^b)$$

$$\ln F_t = \ln a + \ln(t^b)$$

$$\ln F_t = \ln a + b \ln t$$

En este caso, la R-cuadrada ha pasado de 0.43 a 0.64, lo cual significa que la forma “potencial” de la regresión explica realmente más de la varianza en las ventas. El modelo real que estimamos a partir de la regresión es

$$F_t = 12t^{0.42}$$

Después de ejecutar la regresión, la estimación de la pendiente fue de 0.42, pero para obtener 12, debe subir primero la intercepción a una potencia de e . La intercepción se estimó de 2.48, así $e^{2.48} \approx 12$.

Ahora, vamos a pronosticar para 31 y 50 semanas como hicimos antes con el modelo de regresión lineal.

$$F_{31} = 12(31)^{0.42} = 51$$

Éste es el mismo pronóstico que con el modelo lineal. Ahora veamos el pronóstico para la semana 50.

$$F_t = 12(50)^{0.42} = 62$$

Por lo que el pronóstico de la semana 50 con el modelo de potencia es de 62, en tanto que con el modelo lineal fue de 70. En este sentido, la potencia del modelo es como una tendencia amortiguada. Sin embargo, es sólo como una tendencia amortiguada cuando la estimación de b está entre cero y uno. Si es mayor que uno, habrá pronósticos que se disparen a la estratosfera cuando los pronósticos sean muy a futuro.

Modelos aditivos y multiplicativos

Ahora, a veces es necesario hacer pronósticos basados en el precio, el gasto promocional, la publicidad, el precio de los sustitutos y otras variables. En tales casos, es posible que no sólo esté interesado en pronósticos, sino que también esté interesado en probar hipótesis, como un mayor gasto promocional que conduzca a ventas más altas. Cuando estamos probando hipótesis, tenemos que ser más cuidadosos con el uso del modelo de regresión, que cuando sólo estamos pronosticando.

Suponga que queremos pronosticar con un modelo que considere la tendencia, el gasto publicitario, el gasto promocional y el precio del producto. Podemos estimar un modelo de pronóstico con regresión usando un modelo multiplicativo de potencia, como el siguiente:

$$F_t = a * t^{b_1} * Publicidad^{b_2} * Promoción^{b_3} * Precio^{b_4}$$

Como alternativa, podríamos estimar un modelo lineal, como el siguiente:

$$F_t = a + b_1 t + b_2 Publicidad + b_3 Promoción + b_4 Precio$$

Hay varios beneficios del modelo multiplicativo de potencia sobre el modelo lineal. El primer beneficio es que el modelo multiplicativo de potencia considera que puede haber interacciones entre las variables independientes. Es decir, el efecto del gasto en publicidad puede depender del precio. El segundo beneficio del modelo multiplicativo de potencia es que muchas de las relaciones entre la variable independiente y las ventas no se esperaría que fueran lineales, sino más bien no lineales. Ya hemos examinado esto respecto del tiempo, pero también lo esperamos respecto de otras variables independientes, como la publicidad. Es decir, esperaríamos que mientras gastamos más en publicidad, obtendríamos más ventas, pero el aumento en algún momento tendría una tasa decreciente.¹⁷ El tercer beneficio del modelo multiplicativo de potencia es que los coeficientes de regresión se pueden interpretar como valores de elasticidad. Suponga, por ejemplo, que ejecuta el modelo de

regresión y encuentra $b_2 = 0.3$; podemos interpretar que esto significa que, si aumentamos el gasto en publicidad en un 1 por ciento, habrá un incremento de 0.3 por ciento en las ventas.¹⁸ De manera similar, si $b_4 = -2$, entonces, para una reducción de 1 por ciento en el precio, las ventas aumentarán 2 por ciento —algo altamente elástico—, considerando que los supuestos de regresión se mantienen y no se transgreden. Ahora, para prepararse para la regresión, se debe tomar el logaritmo natural de las variables dependiente e independiente.

$$F_t = a * t^{b_1} * Publicidad^{b_2} * Promoción^{b_3} * Precio^{b_4}$$

$$\ln F_t = \ln(a * t^{b_1} * Publicidad^{b_2} * Promoción^{b_3} * Precio^{b_4})$$

$$\ln F_t = \ln a + \ln t^{b_1} + \ln Publicidad^{b_2} + \ln Promoción^{b_3} + \ln Precio^{b_4}$$

$$\ln F_t = \ln a + b_1 \ln t + b_2 \ln Publicidad + b_3 \ln Promoción + b_4 \ln Precio$$

Esto es similar a como estimamos la regresión para el modelo de potencia de la tendencia. Ahora, suponga que queremos considerar la temporada navideña. Para ello, podemos utilizar una variable ficticia:

$$D = \begin{cases} 1 & \text{si es temporada navideña} \\ 0 & \text{de otra manera} \end{cases}$$

Por consiguiente, podría incluirse en la ecuación como

$$\ln F_t = \ln a + b_1 \ln t + b_2 \ln Publicidad + b_3 \ln Promoción + b_4 \ln Precio + b_5 D$$

Observe que no tomamos el logaritmo natural de D . La razón de esto es que el logaritmo natural de cero no está definido. Desde luego, b_4 no se puede interpretar como una elasticidad como antes, pero los otros coeficientes de regresión aún se pueden interpretar de esa manera.

Suposiciones de la regresión

Si queremos hacer algo más que pronósticos con este modelo, como utilizar las estimaciones de elasticidad o probar hipótesis acerca de si una de estas variables es estadísticamente significativa, debemos asegurarnos de que se cumplan las suposiciones de la regresión. Ya que éste no es un libro sobre regresión, simplemente damos algunas suposiciones de alto nivel a considerar:

1. La regresión supone que los residuos se distribuyen normalmente con una media de cero. Por lo tanto, si usted fuera a hacer un histograma de los residuos, debería buscar algo en forma de campana.

2. La regresión supone que los residuos no están correlacionados con el tiempo. Si los residuos están correlacionados con el tiempo, se denomina *autocorrelación*.
3. La regresión supone que la varianza de los residuos es constante para varios niveles de las variables dependientes. Este supuesto se conoce como *homocedasticidad*. Si se quebranta la suposición, es decir, si la varianza de los residuos cambia para diferentes niveles de la variable dependiente, se conoce como *heterocedasticidad*.
4. La regresión supone que las variables independientes son estadísticamente independientes. Si no son estadísticamente independientes, se correlacionarán. Este problema se conoce como *multicolinealidad*.
5. Existen también otras suposiciones y, cuando muchas de éstas se transgreden, hay una serie de métodos para tratar las transgresiones, pero están fuera del alcance de este libro.

Notas

1. Uno de los mejores depósitos de información sobre pronósticos es <http://www.forecastingprinciples.com/>.
 2. El lanzamiento de un dado de seis caras es una distribución uniforme discreta, donde cada resultado es igualmente probable.
 3. Se puede simular el lanzamiento de un dado en Excel mediante la siguiente función: =RANDBETWEEN(1,6). En general, =RANDBETWEEN(a,b) genera números aleatorios entre a y b usando una distribución uniforme, lo cual significa que cada uno de los resultados es igualmente probable.
 4. Esto podría ocurrir si salieron de la bodega y se ponen en el estante por la mañana.
 5. Que tiene abundancia de caramelos, en nuestro ejemplo.
 6. Recuerde, el ILFR es el índice de reabastecimiento de nivel de artículo.
 7. La media móvil de diez semanas no empieza sino hasta la semana 11, ya que toma diez días de la demanda para empezar.
 8. Armstrong, Jon Scott, ed. *Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners*. Vol. 30. Nueva York: Springer, 2001.
 9. Observará la R cuadrada debajo de la ecuación. Algo que veremos más adelante en el capítulo.
 10. Otra vez estamos suponiendo que el gerente de reabastecimiento no sabe cómo se genera la demanda.
 11. Suponiendo que no hay incertidumbre en el plazo de entrega.
 12. Brown, Robert G. *Exponential Smoothing for Predicting Demand*. Cambridge, MA: Arthur D. Little, 1956.
-

13. Holt, Charles C. "Forecasting Seasonals and Trends by Exponentially Weighted Moving Averages". *International Journal of Forecasting* 20.1 (2004): 5-10.
14. Taylor, James W. "Exponential Smoothing with a Damped Multiplicative Trend". *International Journal of Forecasting* 19.4 (2003): 715-725.
15. Winters, Peter R. "Forecasting Sales by Exponentially Weighted Moving Averages". *Management Science* 6.3 (1960): 324-342.
16. Tiene mucho sentido que, si usted tomó en cuenta la estacionalidad de manera efectiva, habría menos error de pronóstico. El desafío consiste en que tener el componente estacional en sí podría introducir más error de pronóstico.
17. Finalmente, debería haber rendimientos decrecientes por la publicidad.
18. Alternativamente, podríamos decir que un aumento de 10 por ciento en el gasto de publicidad tendrá un incremento de 3 por ciento en ventas.

Simulación de eventos discretos de los procesos de inventario

Muchos procesos del inventario son difíciles o imposibles de modelar matemática y estadísticamente sin el uso de una computadora. La simulación de eventos discretos es una manera fácil de modelar los procesos del inventario. La simulación de eventos discretos es en sí una disciplina académica muy profunda y extensa, y se pueden utilizar muchos paquetes de software para implementar la simulación de eventos discretos. En este capítulo no profundizamos en la teoría ni en las complejidades de la simulación de eventos discretos, ni tampoco en los paquetes de software para implementarlas. Más bien, explicamos cómo configurar una simulación de eventos discretos de un proceso de inventario en Microsoft Excel,¹ y explicamos cómo modificar, analizar e interpretar los resultados. La simulación de eventos discretos no sólo permite el modelado de procesos complejos de reabastecimiento del inventario, sino también incorporar la incertidumbre en la demanda, el plazo de entrega y otras áreas donde haya incertidumbre. También puede modelar explícitamente los errores de ejecución del proceso. Por último, una simulación de eventos discretos permite estimar el desempeño del proceso de reabastecimiento del inventario si se cambian los parámetros, si se mejora la ejecución o si se cambia el proceso.

El propósito de este capítulo es capacitarlo para que pueda utilizar la simulación de eventos discretos en Excel para modelar los procesos de inventario. Es una herramienta poderosa y es fácilmente accesible en Excel. Aprenda a crear un modelo integral de simulación de eventos discretos o, al menos, un prototipo. Al trabajar con expertos en simulación de eventos discretos, podrá crear un prototipo y hacer que sea más probable que logre comunicar más completamente el proceso que desea modelar, los tipos de decisiones que quiere tomar, las métricas de desempeño y cómo se deberían calcular. Muchas veces hay una brecha entre lo que un gerente quiere modelar y lo que finalmente recibe de un experto en simulación de eventos discretos. Lo que aprenda en este capítulo debería ayudarle a cerrar

esa brecha. Un beneficio secundario es que usted estará mucho más consciente de las complejidades del proceso de inventario que intenta modelar.

Entender el proceso de reabastecimiento del inventario

Antes de comenzar el proceso de modelado de simulación de eventos discretos, asegúrese de entender claramente por qué está modelando el proceso. ¿Quiénes son los clientes del resultado del modelado y del análisis? ¿Qué ocurrirá si tiene éxito y obtiene un modelo claro con resultados decisivos? ¿Cómo se presentarán los resultados? ¿Cuánta comprensión tienen los clientes de los procesos de inventario, la teoría del inventario y la simulación de eventos discretos?

Dentro de las simulaciones de eventos discretos de procesos de inventario usted debe entender claramente cómo funciona en realidad el proceso para modelarlo. Por consiguiente, el primer paso consiste en la documentación del proceso de inventario. En seguida se presenta una lista de preguntas para responder:

- ¿Cuándo se pueden colocar los pedidos?
 - ¿En qué momento?
 - ¿Con qué frecuencia?
 - ¿A qué niveles del inventario?
 - ¿Cuánto se tiene que pedir?
 - ¿Hay una cantidad máxima que se puede pedir?
 - ¿Hay una cantidad mínima que se debe pedir?
 - ¿Hay una cantidad de pedido fija?
 - ¿Se permiten múltiplos de la cantidad de pedido fijo?
 - ¿Hay un pedido hasta el nivel deseado?
 - Si no es posible alcanzar el pedido hasta el nivel deseado en incrementos del pedido, ¿se ha redondeado la cantidad del pedido o qué regla se utiliza?
 - ¿Los pedidos se basan en una cantidad unitaria o en un volumen monetario?
 - ¿Cuáles son los incrementos de tiempo?
 - ¿Días? ¿Semanas? ¿Meses?
 - ¿Están todos los productos en los mismos periodos de tiempo?
 - ¿Cuáles son los periodos de tiempo usados?
-

- ¿Cuál es el plazo de entrega?
 - ¿Hay un proveedor?
 - Si hay varios proveedores, ¿los plazos de entrega son los mismos?
 - ¿Cuál es la variabilidad del plazo de entrega?
 - ¿Cuáles son el mínimo y máximo históricos del plazo de entrega?
 - ¿Existe una buena fuente de datos para el plazo de entrega?
 - ¿Los plazos de entrega son los mismos durante todo el año o varían a lo largo del año?
 - ¿Es posible acelerar los pedidos?
 - ¿Cuáles son los componentes del plazo de entrega?
 - ¿Cuál es la parte más larga del plazo de entrega?
 - ¿Qué elemento del plazo de entrega es más incierto?
 - ¿Cuál es el tiempo de tránsito?
 - ¿Cuál es la demanda?
 - ¿Hay datos sobre ventas anteriores?
 - ¿Hay información sobre cuándo hubo desabasto?
 - ¿Se limpian los datos de ventas o necesitan limpiarse?
 - ¿Cuál es la distribución empírica de la demanda?
 - ¿Qué distribución teórica de probabilidad representa mejor la distribución real de la demanda?
 - ¿Qué tipos de métodos de pronóstico se utilizan?
 - ¿Se utilizan métodos de series de tiempo?
 - ¿Cuál es el número de periodos en los modelos de promedio móvil?
 - ¿Cuáles son las constantes de suavizamiento?
 - ¿Cuáles han sido la MAD, el MAPE, el sesgo y la desviación estándar del error de pronóstico?
 - ¿Hay restricciones en el inventario?
 - ¿Hay limitaciones de espacio?
 - ¿Hay limitaciones en la inversión del inventario?
-

- ¿Cuáles son las métricas del desempeño?
 - ¿Cómo se mide la entrega puntual?
 - ¿Cómo se mide la tasa de cumplimiento?
 - ¿Cómo se mide el inventario?
 - ¿Cómo se pueden descartar los pedidos generados por el sistema?
 - ¿Quién puede anular los pedidos?
 - ¿Cómo se toman las decisiones para anular los pedidos?
 - ¿Cuáles son los costos del inventario?
 - ¿Cuáles son los elementos de los costos del inventario?
 - ¿Cómo se supervisan?
 - ¿Cuáles son los costos fijos del pedido?
 - ¿Cuáles son los costos variables del pedido?
 - ¿Hay descuentos por cantidad?
 - ¿Cómo se consiguen los descuentos por cantidad?
 - ¿Cuáles son los procesos para recibir los descuentos por cantidad?
 - ¿Cuál es la precisión del inventario?
 - ¿Cuándo la posición del inventario pierde precisión en el proceso de reabastecimiento?
 - ¿Con qué frecuencia las existencias teóricas del inventario son incorrectas?
 - ¿Con qué frecuencia se toman los inventarios físicos?
 - ¿Cuál es el costo unitario?
 - ¿Cuál es el costo de transporte?
 - ¿Qué tipo de transporte se utiliza y en qué vehículos?
 - ¿Cuál es la clasificación de la mercancía del producto?
 - ¿Cuáles son el peso y el volumen del producto?
 - ¿Dónde y cuándo ocurren los problemas de ejecución en el proceso de inventario?
 - ¿Siempre se guardan los productos cuando se reciben?
 - ¿Cuándo se generan problemas ocultos?
-

- ¿No se recogen los productos? ¿Qué porcentaje de las veces?
- ¿No se envían los productos? ¿Qué porcentaje de las veces?
- ¿Está dañado el producto?
 - ¿Con qué frecuencia se daña el producto?
 - ¿Cuándo se daña?
 - ¿En qué momento del proceso de reabastecimiento se dañó el inventario?

Éstas son en realidad sólo una pequeña muestra de las preguntas que deberían hacerse. Cada situación tiene peculiaridades que no podemos anticipar, pero intentar responderlas le ayudará a avanzar. Es importante documentar cuidadosamente el proceso y profundizar en las preguntas. Asegúrese de entender las respuestas y cuestionarlas. También es una buena idea documentar el proceso con un diagrama de flujo y, luego, revisar su documentación y el diagrama de flujo con expertos y con los entrevistados para entender el proceso. En este punto, usted probablemente descubrirá una serie de errores y malos entendidos. Quizá descubra nuevos procesos de decisión y limitaciones en el proceso de reabastecimiento del inventario. También es útil obtener perspectivas de muchas personas y de áreas funcionales múltiples. Llevar un diario de laboratorio facilita el proceso de documentación. Usted debería anotar el día y a quién entrevistó, y tomar muchas notas. Después de las reuniones con los informantes clave, se recomienda resumir el análisis con éstos. Esto también ayuda a identificar los malos entendidos de la entrevista. Después de salir de la reunión con el informante clave, tiene que resumir la reunión en sus notas. Escriba cualquier pregunta que surja.

Aleatoriedad en la demanda

Para simular aleatoriedad usamos un generador de números aleatorios y el inverso de una distribución de probabilidad acumulada. Suponga que tiene una ruleta con tres números sobre él, 0, 1 y 2, y que 90 por ciento de su área es para el número 0, 7 por ciento es para el número 1 y 3 por ciento es para el número 2. Entonces, la distribución de probabilidad acumulada para esta ruleta es 0 con una probabilidad 0.9, 0 a 1 tiene una probabilidad 0.97, y 0, 1 o 2 tienen una probabilidad 1.0. La inversa de esta distribución de probabilidad acumulada toma un número entre 0 y 1, y mapea a los resultados del evento. Por ejemplo, 0.99 se mapearía a 2; 0.92 se mapearía a 1; y 0.333 se mapearía a 0. En general, se mapearía cualquier número entre 0 y 0.9 a 0, cualquier número entre 0.90 y 0.97 a 1, y cualquier número entre 0.97 y 1 a 2. En Excel usted puede generar números aleatorios entre 0 y 1 utilizando la función =RAND(). Si pone =RAND() en una celda obtiene un número entre 0 y 1, y si presiona CONTROL + F9, le da un número aleatorio diferente. Por lo tanto, podríamos utilizar estos números aleatorios y la inversa de la distribución acumulada de

la ruleta que se acaba de describir, para simular la manecilla o flecha de la ruleta. Por ejemplo, suponga que usamos =RAND() y da 0.453. Entonces, la inversa de la distribución acumulada de la ruleta daría un 0.

Distribuciones empíricas de la demanda y el plazo de entrega

Una manera fácil de representar la distribución de probabilidad de la demanda dentro de la simulación de eventos discretos es con una distribución empírica. Suponga que está simulando la demanda por día y, con base en la historia, encuentra que 10 por ciento de las veces vende cero unidades, 30 por ciento de las veces vende una unidad, 40 por ciento dos unidades, y 20 por ciento tres unidades. Usted nunca ha vendido más de cuatro unidades, pero siempre hay abundante inventario disponible. A partir de esto, usted querría crear la tabla 5-1 en Excel.

Tabla 5-1 Distribución empírica de la demanda

Cantidad de la demanda		
Probabilidad acumulada	Unidades	Probabilidad
0	0	0.1
0.1	1	0.3
0.4	2	0.4
0.8	3	0.2

La columna central en la tabla 5-1 es el número de unidades de demanda por día y la última columna es la probabilidad de vender esas unidades en cierto día. La última columna en la tabla 5-1 es a lo que nos referimos como la probabilidad acumulada. Técnicamente, en la teoría de la probabilidad diríamos que la probabilidad acumulada de vender cero unidades es 0.1, pero aquí tenemos un cero en esa columna, lo cual se debe a una peculiaridad de Excel en términos de cómo lee las tablas, como veremos más adelante en el capítulo. En efecto, la columna “probabilidad acumulada” se desplaza hacia abajo una celda de la que esperaríamos.

Utilizaríamos esta distribución en Excel con un generador de números aleatorios de 0 a 1 y, luego, con base en el número aleatorio generado en Excel, examinaríamos la columna de probabilidad acumulada para determinar cuántas unidades se vendieron en ese día simulado.

Podemos simular un número de 0 a 1 en Excel utilizando la función =RAND(). Suponga que usamos esa función y da 0.15, entonces, el número simulado de unidades vendidas será una unidad para ese día porque 0.15 está entre 0.1 y 0.4, para una probabilidad total de 0.3. Si =RAND() da 0.05, el número simulado de unidades vendidas para ese día sería cero unidades. En la celda

donde queremos simular la demanda, utilizaríamos la función =VLOOKUP(RAND(),RANGO DE LA TABLA,NÚMERO DE COLUMNAS DE UNIDADES DE DEMANDA, NÚMERO DE COLUMNA PARA FIJAR EL NÚMERO ALEATORIO QUE SE GENERÓ). En tal caso, suponga que la probabilidad acumulada de cero está en la celda A5. Entonces, usaríamos =VLOOKUP(RAND(), A5:C8,2,1). Podríamos crear una columna de demanda simplemente copiando =VLOOKUP (RAND(),\$A\$5:\$C\$8,2,1) en tantas células como queramos. Observe el signo “\$” antes de las designaciones de la columna y de la fila en la fórmula. Esto evita que cambien cuando se copian en diferentes celdas.

La tabla 5-2 es un ejemplo de una simulación de eventos discretos de acuerdo con la distribución en la tabla 5-1.

Tabla 5-2 Cantidad demandada

2
3
1
1
1
3
1
3
0
2
0
2
2
1

Examinamos otras distribuciones de la demanda, incluyendo la de Poisson, la normal truncada discreta y la gamma discreta, más adelante en el capítulo. Ahora examinaremos brevemente la simulación de eventos discretos del plazo de entrega.

Así como puede crear una distribución empírica de la demanda, también puede crear una distribución empírica del plazo de entrega. Simplemente mantenga un registro de los plazos de entrega para cada pedido y cree una tabla similar a la tabla 5-3.



Tabla 5-3 Distribución empírica del plazo de entrega

Plazo de entrega		
Probabilidad acumulada	Días	Probabilidad
0	1	0.1
0.1	2	0.8
0.9	3	0.1

La tabla 5-3 muestra que 80 por ciento de las veces el plazo de entrega fue de dos días, pero 20 por ciento de las veces fue atrasado o adelantado por un día. El método para utilizar esta tabla al simular el plazo de entrega es el mismo que el de la tabla 5-2 para la simulación de eventos discretos de la demanda, a partir de la distribución empírica de la demanda. La tabla 5-4 es un ejemplo de una simulación de eventos discretos con base en la tabla 5-3.

Tabla 5-4 Plazo de entrega

2
2
2
3
2
3
2
2
2
2
2
2
2

Simulación del inventario en Excel

Ahora vamos a considerar la simulación de eventos discretos de un sistema de inventario en Excel. Simulamos diariamente, donde el sistema de reabastecimiento revisa todos los días y si la posición del inventario está en el punto de pedido o por debajo de éste, se ordena una cantidad de pedido fija Q . Este sistema no permite pedidos pendientes de surtir; cualquier falta de inventario da como resultado ventas perdidas. La tabla 5-5 es un diseño básico de la hoja de cálculo de Excel que usamos para simular un sistema de reabastecimiento del inventario.

Tabla 5-5 Simulación de eventos discretos del sistema de inventario

6	Simulación de eventos discretos del sistema de inventario												
7	Inventario inicial	Reabastecimiento recibido	Cantidad demandada	Ventas	Inventario final	Posición del inventario	Pedido colocado	Plazo de entrega	Día que llega el pedido	Inventario promedio	(min I / c SS	Máx I / c	
8	10	0	0	0	10	10	0			10			
9	10	0	5	5	5	5	0			7.5			
10	5	0	0	0	5	5	0			5			
11	5	0	2	2	3	3	1	2	7	4			
12	3	0	0	0	3	13	0			3			
13	3	0	0	0	3	13	0			3			
14	3	10	4	4	9	9	0			6		13	
15	9	0	7	7	2	2	1	2	11	5.5	3		
16	2	0	3	2	0	10	0			1			
17	0	0	2	0	0	10	0			0			
18	0	10	2	2	8	8	0			4		10	
19	8	0	4	4	4	4	1	2	15	6	0		
20	4	0	0	0	4	14	0			4			
21	4	0	4	4	0	10	0			2			

Inventarios inicial y final

La tabla 5-5 muestra un par de semanas en la simulación de eventos discretos de un sistema de reabastecimiento del inventario. La segunda columna, “inventario inicial”, es simplemente el inventario final del día anterior. Observe que la sexta columna es el inventario final. Aunque el inventario inicial es el inventario final del día anterior, no puede ser el del primer día, por lo que tiene que comenzar con algún número. En este caso, empezamos el inventario inicial con la cantidad de pedido. La tercera columna es el reabastecimiento recibido, que hemos inicializado como cero para el primer día. En esa columna, la fórmula es =COUNTIF(\$J\$8:J13,A14)*Q. Ésta cuenta el número de celdas en el rango J8:J13 (que es la columna titulada “día que llega el pedido”), que es igual al número de la columna “día”. Cuando la fórmula se encuentra en el día 6 de la columna “reabastecimiento recibido”, no hay números en la columna “día que llega el pedido” que sean iguales a 6, por lo que cuenta como cero en las celdas. Pero la siguiente celda abajo, cuando la fórmula está en el día 7 en la columna “reabastecimiento recibido”, sólo hay una celda que es igual a 7, por lo que cuenta como 1. Esto luego se multiplica por Q, la cantidad del pedido. La cantidad del pedido es 10, por lo que muestra que se recibieron 10 unidades. La cantidad demandada es la cuarta columna. Ya hemos visto cómo usar una tabla basada en una distribución empírica. Podríamos utilizar una distribución teórica, como la de Poisson, para crear una tabla similar a la de la distribución empírica, y utilizar un método similar para simular la demanda. La tabla 5-6 es un ejemplo de un programa de demanda de acuerdo con una distribución de Poisson con una media de dos unidades por día. Para una distribución de Poisson, la media es igual a la varianza.

Tabla 5-6 Demanda de Poisson

Cantidad demandada		
Probabilidad acumulada	Unidades	Probabilidad
0.0000	0	0.14
0.1353	1	0.27
0.4060	2	0.27
0.6767	3	0.18
0.8571	4	0.09
0.9473	5	0.04
0.9834	6	0.01
0.9955	7	0.00
0.9989	8	0.00

Distribución de Poisson de la demanda

La tabla 5-6 se configura como la tabla 5-1, por lo que se utiliza para la simulación de eventos discretos de la demanda, de la misma forma que se hizo para la distribución empírica. En la columna “probabilidad” de la tabla 5-6 puede utilizar la función =POISSON.DIST(UNIDADES DE DEMANDA, MEDIA, FALSO). El último argumento de la función, FALSO, designa la función de masa de la probabilidad en oposición a la función de distribución acumulada. Si desea utilizar una distribución normal truncada² discreta,³ no necesita una tabla; simplemente puede insertar lo siguiente en la columna “cantidad demandada”:

$$=\text{ROUND}(\text{MAX}(\text{NORMINV}(\text{RAND}(), \text{MEAN}, \text{STANDARD DEVIATION}), 0), 0)$$

El MAX(X,0) asegura que no obtengamos números negativos, y ROUND(X,0) garantiza que obtengamos números enteros.

Distribución gamma de la demanda

De manera similar, podemos usar una distribución gamma, que no necesita truncarse porque empieza en cero, mientras que la distribución normal va del infinito negativo al infinito positivo.

Como ya se mencionó, hay dos parámetros que se necesitan para la distribución gamma: alfa α y beta β . Las siguientes ecuaciones le permiten utilizar la inversa de la distribución gamma en Excel.

$$\alpha = \frac{\mu^2}{\sigma^2}$$

$$\beta = \frac{\sigma^2}{\mu}$$

En la columna “cantidad demandada” puede utilizar la función de Excel

$$=\text{ROUND}(\text{GAMMAINV}(\text{RAND}(), \text{ALPHA}, \text{BETA}), 0)$$

Demanda contra ventas

Haciendo referencia de nuevo a la tabla 5-5, la quinta columna es “ventas”. En algunos casos, no tenemos inventario suficiente para satisfacer la cantidad demandada. Si se fija en el día 9, verá que el inventario inicial era 2, no se recibió inventario (columna “reabastecimiento recibido”), pero la

columna de “cantidad demandada” era 3. Por lo que la cantidad vendida (columna “ventas”) es el mínimo de “inventario inicial” más “reabastecimiento recibido” y “cantidad demandada”. La fórmula a utilizar en la columna “ventas” es

$$=\text{MIN}(\text{Inventario inicial} + \text{Reabastecimiento recibido}, \text{Cantidad demandada})$$

“Inventario final” es la sexta columna. Esto es simplemente Inventario inicial + Reabastecimiento recibido – Ventas. “Posición del inventario” es la séptima columna, que es el existente más el pedido. Para calcularla en Excel, tome la posición del inventario anterior, reste las ventas para el periodo actual y sume lo que está pedido del periodo anterior. Para hacerlo, utilice IF(Pedido colocado del periodo anterior = 1, Q, 0). Esta función indica que, si se colocó un pedido en el periodo anterior, entonces da Q; de lo contrario, es 0. Esto se suma al inventario del periodo anterior, y se restan las ventas del periodo actual. En otras palabras, es la posición del inventario al final del periodo. Éste es un artificio de cómo se construye esta hoja de cálculo, es decir, la revisión se lleva a cabo al final del día para determinar si se debería colocar un pedido. “Pedido colocado” es la octava columna. Ésta es una instrucción “IF”, que compara la posición del inventario con el punto de pedido, ROP. Si la posición del inventario es menor que el ROP, devuelve un 1 que indica que se ha colocado un pedido, y 0 en caso contrario. Si desea configurar la simulación de eventos discretos para que los pedidos sólo se puedan colocar, digamos, una vez por semana o no se quiere ordenar en ciertos días, simplemente ingrese ceros en la columna “pedido colocado” para esos días.

Plazo de entrega y pedidos

“Plazo de entrega” es la novena columna y ya hemos analizado cómo simular el plazo de entrega. Ahora, si desea que el plazo de entrega sea determinístico, sólo puede introducir el número fijo de días de plazo de entrega en la columna “plazo de entrega”. “Día que llega el pedido” es la décima columna y se calcula como =IF(Plazo de entrega = "", "", Número de día actual + 1 + Plazo de entrega). Esto indica que si la entrada en la celda “plazo de entrega” no es nada (nada es ""), entonces no da nada; de lo contrario, da la suma del día actual, más uno, más el plazo de entrega.

Una nota más acerca de cómo se modela aquí el plazo de entrega: los pedidos se colocan al final del día. Si el plazo de entrega es un día y es determinístico, entonces si se coloca un pedido al final del Día n, se recibe al principio del Día n + 1. Por lo que, aunque no pueda haber desabasto durante ese intervalo de tiempo, usted aún tiene un periodo de protección de un día como resultado del intervalo de revisión de un día. Por lo tanto, configurar de esta manera le permite realizar un seguimiento del número de días del periodo de protección. Una advertencia con base en lo que examinamos anteriormente: si optara por configurar la simulación de eventos discretos para que el intervalo de revisión sea más largo que un día, tendría que considerar el intervalo de protección adicional al establecer el inventario de seguridad.

Medición del inventario

“Inventario promedio” es la siguiente columna, y se calcula sumando los inventarios inicial y final, y dividiendo entre 2. La undécima columna puede parecer inusual hasta cierto punto y se designa como (mín I/C)SS. La parte entre paréntesis “mín I/C” significa inventario mínimo por ciclo de reabastecimiento y “SS” significa inventario de seguridad. Esta columna permite el cálculo del inventario de seguridad histórico, como lo analizamos en el capítulo 2, “Fundamentos de la administración del inventario”. La fórmula en Excel es

$$=IF(\text{Inventario inicial en este periodo} > \text{Inventario inicial en el último periodo}, \text{Inventario inicial en el último periodo}, "")$$

En esta simulación de eventos discretos, los reabastecimientos se reciben al inicio del periodo, por lo que el inventario mínimo disponible en un ciclo de reabastecimiento es el inventario inicial.

La columna final en la hoja de cálculo es Máx I/C, es decir, el inventario máximo por ciclo. Para un proceso de reabastecimiento de inventario de revisión continua pura (Q,ROP), el máximo I/C esperado es el inventario de seguridad más la cantidad del pedido. Eso no es lo que estamos modelando aquí; modelamos un proceso de revisión periódica (Q,ROP) con ventas perdidas (sin pedidos pendientes de surtir).

Duración de la ejecución de la simulación

Una pregunta que se debe responder al configurar la simulación de eventos discretos es cuántos días simular. En este ejemplo, hemos simulado 365 días, pero es fácil cambiarlo en Excel. Muchas veces la meta consiste en llegar a un “estado estacionario”, lo cual significa que la varianza en la variable está al nivel que continuará estando a largo plazo. Sin embargo, usted tiene que elegir la variable por analizar. En este caso, puede utilizar, por ejemplo, el inventario promedio. Una ejecución de simulación de eventos discretos tiene lo que se conoce como periodo de “calentamiento”. Existen métodos estadísticos para seleccionar la longitud de la ejecución. La figura 5-1 ilustra la idea del estado estacionario y el periodo de calentamiento.

En la figura 5-1, el eje vertical es el inventario promedio durante un día y el eje horizontal es el tiempo en días. Como se observa, se tarda unos 50 días en pasar del periodo de calentamiento al estado estacionario. Por lo tanto, si incluyó los primeros 50 días en sus cálculos métricos, como el inventario promedio durante el año, se sesgaría a que la métrica sea demasiado alta. Como resultado, cuando calcule sus métricas, es una buena idea establecer los cálculos para que empiecen después del periodo de calentamiento. En este ejemplo, el periodo de calentamiento es un artilugio de cómo se empezó el inventario inicial.

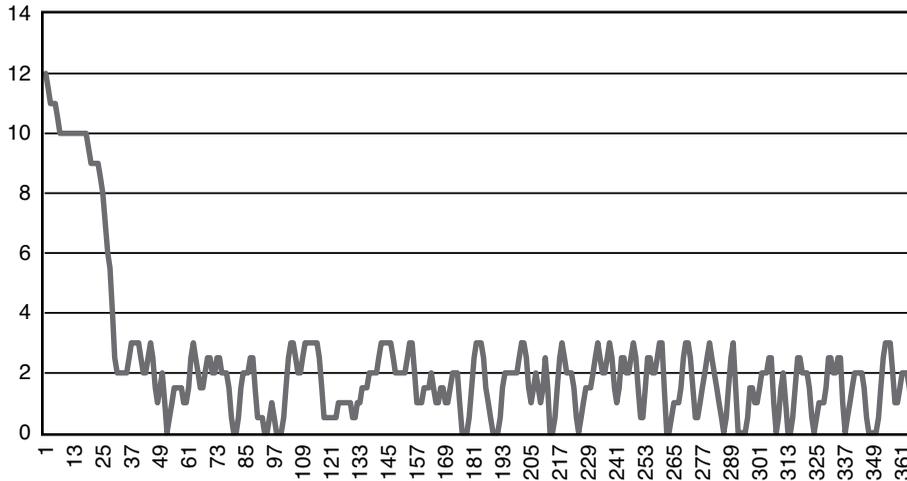


Figura 5-1 Intervalo de calentamiento.

Número de réplicas

La otra pregunta es cuántas veces debería replicar la simulación de eventos discretos. En Excel usted puede replicar una simulación de eventos discretos varias veces utilizando la función Table. Antes de ejecutar las réplicas, debe decidir qué métricas de desempeño desea recopilar. Por ejemplo, es posible que desee recopilar la tasa de cumplimiento, el porcentaje de días en inventario, el inventario promedio, el inventario de seguridad histórico y otros. Para calcular la tasa de cumplimiento, sume la columna de ventas y divídala entre la suma de la columna de demanda. Para calcular el porcentaje de días en inventario, puede utilizar la función COUNTIF para contar cuántas veces el inventario final fue positivo y dividirlo entre 365 (ya que se simulan 365 días). Cuando utiliza la función Table en Excel, esto es lo que recopila de las réplicas. En nuestro ejemplo, lo replicamos 500 veces, usando una demanda de Poisson de 2 unidades por día, un plazo de entrega determinístico de 2 días, un punto de reorden de 8 y una cantidad de pedido de 10. Calculando un promedio de más de 500 réplicas, tenemos una tasa de cumplimiento de 0.97, el sistema está en inventario 94 por ciento de las veces, el inventario promedio es 7, y el inventario de seguridad histórico es 2. Si aumentamos la demanda de Poisson a 4 unidades por día, la tasa de cumplimiento desciende a 0.75, el sistema está en inventario 62 por ciento de las veces, el inventario promedio es 3, y el inventario de seguridad histórico es casi 0. Ahora, si aumenta Q de 10 a 20, la tasa de cumplimiento aumenta a 0.86, el sistema está en inventario 78 por ciento de las veces, el inventario promedio es de 7.5, y el inventario de seguridad histórico sigue siendo casi 0. Ahora, suponga que el plazo de entrega va de 2 días a 3 días, entonces, la tasa de cumplimiento disminuye a 0.74, el sistema está en inventario 67 por ciento de las veces, el inventario promedio es de 6.4, y el inventario de seguridad histórico está aún más cerca de 0. El punto de esto es sólo para darle una idea de los tipos de problemas que puede investigar con la simulación de eventos discretos.

Errores de ejecución

Ahora tomemos este mismo proceso de inventario y suponga que está en el nivel de la tienda. En esta tienda minorista, cuando se recibe un pedido se va al piso de ventas para ponerse en el anaquel. Si no cabe todo, el resto del pedido va a la bodega. Suponga que desea saber con qué frecuencia no caben los pedidos recibidos y deben ir a la bodega. Simplemente agregue un par de columnas para recopilar los datos. Por ejemplo, para indicar cuándo un reabastecimiento no cabe en el anaquel, podría utilizar $=IF(\text{Inventario inicial} + \text{Reabastecimiento recibido} > \text{Capacidad del anaquel}, 1, 0)$. También puede calcular una nueva métrica, el porcentaje del tiempo que los reabastecimientos no caben en el anaquel. Asimismo podría crear otra columna para calcular cuántas unidades no caben en promedio y el excedente máximo. En nuestro ejemplo, suponga que la demanda es de Poisson y 2 unidades al día, el plazo de entrega es determinístico y es 2 días, el $ROP = 8$, $Q = 10$ y la capacidad del anaquel = 15. Al hacer un promedio de más de 500 repeticiones, tenemos una tasa de cumplimiento de 0.97, el sistema está en inventario 94 por ciento de las veces, el inventario promedio es de 7, el inventario de seguridad histórico es de 2, y el reabastecimiento excede la capacidad del anaquel tan sólo 1 por ciento de las veces. Suponga que la compañía tiene una política de estar en inventario 99 por ciento de las veces, por lo que el ROP se incrementa a 12. Con un promedio de más de 500 réplicas, tenemos una tasa de cumplimiento de 0.99, el sistema está en inventario 99 por ciento de las veces, el inventario promedio es de 10, el inventario de seguridad histórico es de 6, y el reabastecimiento excede la capacidad del anaquel únicamente 22 por ciento de las veces.

Con esto se llega a un punto importante: las simulaciones de eventos discretos pueden ignorar los costos importantes o ignorar los problemas que suelen surgir cuando cambian las métricas. Tomemos el ejemplo anterior, donde el ROP pasó de 8 a 12, para aumentar el porcentaje de las veces en inventario de 94 por ciento a 99 por ciento. Funcionó, pero causó que el porcentaje de tiempo que el reabastecimiento no cabía en el anaquel aumentara de 1 por ciento a 22 por ciento. Un problema evidente es que esto crea costos laborales adicionales, porque los asociados de la tienda tienen que ir al anaquel y luego a la bodega. Ésta sería una métrica de costo fácil de agregar al análisis, siempre y cuando supiéramos cuánto trabajo extra cuesta cada vez que un reabastecimiento no cabe en el anaquel.⁴ Pero esto crea un problema adicional, a saber, el producto va a la bodega más a menudo. El producto en la bodega es difícil de encontrar, se daña, se lo roban y se pierde. Por consiguiente, este aumento en la cantidad de unidades que van a la bodega también puede reducir la tasa de cumplimiento en el anaquel. Esto también se podría agregar, pero requeriría un estudio para determinar la relación entre el nivel de inventario de la bodega y la tasa de cumplimiento de los anaqueles.

Continuando con este ejemplo, suponga que la demanda ahora aumentó a 4 unidades por día. Esto hace que el porcentaje de días en inventario disminuya a 87 por ciento y el porcentaje del tiempo que el reabastecimiento no cabe en el anaquel a 8 por ciento. Ahora, suponga que podríamos reducir el plazo de entrega a un día. Eso reduciría el porcentaje de días en inventario a 94 por ciento y el porcentaje del tiempo que el reabastecimiento no cabe en el anaquel a 17 por ciento. Eso podría sorprenderle. La razón es que el menor plazo de entrega aumentó efectivamente el inventario de seguridad.

Variaciones en el modelo

El modelo de simulación de eventos discretos que desarrollamos en este capítulo tomó el punto de pedido y la cantidad de pedido como entradas. Usted podría fácilmente hacer que el punto de pedido sea una función de un pronóstico. En la hoja de cálculo de simulación de eventos discretos, puede crear una nueva columna titulada “pronóstico para el siguiente periodo” o “pronóstico para la demanda del plazo de entrega”. Puede crear los pronósticos utilizando cualquiera de las técnicas expuestas en este libro, así como otras. Podría crear una segunda columna titulada “error”. Éste sería el error de pronóstico, es decir, la diferencia entre las ventas reales y las pronosticadas del periodo anterior o el plazo de entrega. La tercera columna sería “error absoluto”, donde tomaría el valor absoluto de la columna error (= ABS(Error)). Necesitará la columna “error” para calcular la desviación estándar del error de pronóstico para hacer el cálculo del punto de pedido. Si toma la desviación estándar de la columna “error”, se convierte en la medida de incertidumbre que utilizará en su cálculo del punto de pedido.⁵ El pronóstico durante el plazo de entrega también será una entrada para el cálculo del punto de pedido, y debido a esto necesitará una columna adicional, “punto de pedido”. En nuestra simulación de eventos discretos anterior, ya que el punto de reordenamiento era constante durante la ejecución de la simulación de eventos discretos, no necesitábamos una columna, sólo una celda de entrada. Sin embargo, con este modelo, el punto de pedido se actualizará con la nueva información. La configuración para actualizar cada periodo es una opción, pero también se puede configurar para actualizar los intervalos de tiempo, ya sea semanales u otros. De hecho, puede utilizar la simulación de eventos discretos para determinar la mejor política de actualización para el punto de pedido. También puede usar esto para probar diferentes métodos y parámetros de pronósticos. La columna “error absoluto” podría usarse para calcular la desviación absoluta media y el error porcentual absoluto medio.

Utilizando esta hoja de cálculo de simulación de eventos discretos, puede probar diferentes tipos de políticas de reabastecimiento del inventario. Como lo hemos diseñado, no utiliza un método de pedido hasta el nivel deseado, pero podría adaptarse fácilmente para utilizar tal método: podría remplazar el método del punto de pedido o utilizarlo junto con éste. Puede mantener la cantidad del pedido Q y ordenar múltiplos de Q para llevar la posición del inventario hasta el nivel del pedido, o bien, disminuir Q y sólo pedir unidades suficientes para llevar la posición del inventario hasta el nivel del pedido. Lo anterior serviría para probar el beneficio de usar operaciones de paquetes fraccionados en el centro de distribución. Es decir, en el nodo de reabastecimiento, en vez de que el centro de distribución envíe solamente múltiplos de cantidades de cajas de paquetes, que se utilizan entonces como Q , usted podría utilizar unidades individuales. Entonces, podría comparar los ahorros de costos en ese nodo y compararlo con el costo de mano de obra adicional en el centro de distribución, para saber si es justificable en cuanto a costos. Si se trata de una cadena de suministro minorista se puede ejecutar para una tienda típica y, luego, multiplicar los ahorros por el número de tiendas. O bien, podría agrupar las tiendas en función de las ventas, ejecutar una simulación para cada grupo de tiendas (*cluster*), multiplicar los ahorros por el número de tiendas en cada grupo y, después, agregar los ahorros de todos ellos. Además de agrupar por demanda, también podría hacerlo por incertidumbre de la demanda, plazo de entrega, intervalo de revisión y otros factores. En un extremo, se podría

ejecutar una simulación única para cada tienda. Probablemente sea aconsejable comenzar con una buena tienda representativa e investigar si los ahorros están aún en el terreno de las posibilidades que justifican el trabajo adicional en el centro de distribución. Si es claramente injustificable, evitará perder tiempo ejecutando muchas simulaciones que no conducirán a nada sustancial. Por otro lado, es posible que sea tan fácil de justificar, que no merece un análisis más detallado. Se requiere un análisis más detallado en la situación donde esto sea casi un análisis de costo-beneficio.

Calibración

Es una buena idea calibrar su modelo de simulación. Para hacerlo, intente modelar el proceso existente lo más cerca posible y, luego, ejecute el modelo, capture las medidas de desempeño del modelo y compárelas con las métricas del desempeño reales del proceso de inventario. Si difieren significativamente, existen varios aspectos del modelo a verificar, pero uno de los primeros controles más importantes es el funcionamiento interno del modelo de hoja de cálculo en sí. Debe asegurarse de que no haya errores de cálculo, lo cual es fácil de lograr. Un recurso en Excel que es útil para asegurarse de que los cálculos se refieren a las celdas correctas son las herramientas “*Trace Precedents*” y “*Trace Dependents*”. Si coloca el cursor en una celda y luego hace clic en “*Trace Precedents*”, muestra las flechas que emanan de las celdas utilizadas por la celda donde se encuentra el cursor. Si coloca el cursor en una celda y luego hace clic en “*Trace Dependents*”, muestra flechas que salen de esa celda y apuntan a las celdas que usan ese número para los cálculos. Resulta tedioso revisar la hoja de cálculo y comprobar cuidadosamente los errores, pero vale la pena la inversión de tiempo y le evitará tomar malas decisiones basadas en análisis erróneos. Para la parte de la hoja de cálculo que contiene la ejecución de simulación, sólo tiene que comprobar la primera celda que copió en la hoja de cálculo, por lo que tendrá una celda por columna. Entonces, debe verificar los cálculos de la métrica con base en esta ejecución de simulación.

Si la discrepancia no es el resultado de un error de cálculo, vale la pena revisar la documentación del proceso, creada a partir de las preguntas al inicio de este capítulo. Tal vez las promociones no se incorporan a la simulación o a algún otro evento continuo de estimulación de la demanda. Tal vez haya más errores de ejecución de los que usted reconozca. Encontrar que el modelo varía de la realidad es común y puede simplemente indicar errores de ejecución que no se están tomando en cuenta en el modelo de simulación.

Las métricas estudiadas en este capítulo no han incluido métricas de costos, pero normalmente se deberían incluir éstas, como los costos de mantenimiento del inventario, costos de mano de obra, costos de transporte, etcétera. Asimismo, serían benéficas las medidas comunes tales como rotación del inventario, días de suministro y métricas similares. También sería importante entender claramente cuáles métricas son más importantes para iniciar el estudio, como se vio al principio del capítulo.

Una vez que haya realizado modelos sencillos de simulación de eventos discretos en Excel, quizá desee considerar modelos más elaborados, utilizar herramientas de simulación de eventos discretos más

sofisticadas como Arena,^{6,7} o bien, tener a un experto en simulación de eventos discretos con usted. Su prototipo le ayuda a explicar los detalles específicos del proceso de reabastecimiento del inventario que está modelando. Lo que aprendió en este capítulo debería ayudarlo a comunicar los matices sutiles, pero importantes, acerca del diseño y el funcionamiento del proceso, así como la forma como se modelan. Además, como sabe cualquiera que haya modelado un proceso con simulación de eventos discretos, el esfuerzo de modelar el proceso mejora su comprensión del proceso en sí.

Notas

1. Un excelente análisis de éste y otros usos se encuentra en Ragsdale, C. T. *Spreadsheet Modeling and Decision Analysis*. Cincinnati, OH: South-Western, 1998.
2. Usted no quiere demanda negativa.
3. Enteros.
4. Esto podría descubrirse mediante un estudio de ingeniería industrial, específicamente, un estudio de tiempos y movimientos.
5. Los detalles de este cálculo ya se estudiaron en el capítulo 3, “Control del inventario”.
6. Rossetti, Manuel D. *Discrete Event Simulation Modeling and Arena*. Nueva York: Wiley Publishing, 2009.
7. Arena y otras herramientas de simulación de eventos discretos modelan otros procesos más allá de los procesos de inventario. Sirven para modelar el manejo, la programación, las rutas, las filas de espera y muchos otros procesos de materiales.

Procesos y conceptos adicionales de administración del inventario

Administración del inventario de varios artículos

En el capítulo 3, “Control del inventario”, estudiamos modelos de inventario para un solo artículo. Era importante comenzar con un solo artículo porque es difícil entender los problemas de inventario de varios elementos, sin entender antes los problemas de un artículo. Consideremos algunos de los motivos para entender las decisiones de administración del inventario de elementos múltiples.

Considere un centro de distribución que pide 50 SKU de un solo proveedor, donde cada SKU está en un proceso de reabastecimiento de revisión continua (Q,ROP). Por consiguiente, cada vez que una SKU alcanza su ROP, se coloca un pedido para esa SKU y es entregada por un transportista de paquetes. Entonces, si esa SKU es cara y tiene un alto costo de mantenimiento del inventario, este proceso puede ser óptimo porque mantiene el inventario en un mínimo para todas las SKU. Sin embargo, si se trata de una SKU barata con un bajo costo de mantenimiento del inventario, podría resultar que en este proceso se gaste demasiado en el transporte. Por lo tanto, en vez de un modelo (Q,ROP) para todas las SKU, el centro de distribución podría usar un proceso de reabastecimiento (T,OUL) para todas las SKU, donde todas las SKU tienen el mismo T y se puedan pedir juntas para reducir los costos de transporte. Suponga que T se fijó de una semana y que la política dio como resultado que se pidieran aproximadamente dos camiones por semana. Ya que el pedido de dos camiones por semana tiene aproximadamente el mismo costo de transporte anual que el pedido de un camión dos veces por semana, tendría sentido poner T a tres días (suponiendo que el centro de distribución hace negocios seis días a la semana), reduciendo así el inventario de ciclo de todos los artículos a la mitad, sin aumentar los costos de transporte anuales. Pero tal vez algunas de las 50 SKU tengan cantidades mínimas de pedido y el centro de distribución no vende lo suficiente en tres días como para colocar un pedido dos veces por semana. Por consiguiente, tal vez algunos artículos se deberían

pedir semanalmente, otros cada dos semanas y así sucesivamente. Regresando al proceso (Q,ROP), todavía podríamos tener cada SKU en su propio (Q,ROP), pero entonces, cuando un artículo llega a un ROP, podríamos mantener este pedido hasta tener suficientes artículos solicitados para llenar un camión. El problema con esto es que crea una incertidumbre adicional en el plazo de entrega, que se tendría que considerar al establecer el ROP. También podríamos usar un proceso (T,Q,ROP) donde cada T periodos de tiempo, pedimos todas las SKU que llegan al ROP. No obstante, supongamos que esta cantidad es menor que un camión. En ese caso, podríamos tener una utilización deficiente del transporte. Pero suponga que es óptimo tener camiones completos. Podríamos entonces forzar pedidos de SKU adicionales.¹ Para ello, necesitaríamos un proceso para determinar qué elementos solicitar en el siguiente pedido. Por ejemplo, podríamos tener una regla que diga: pida todas las SKU que han llegado a su ROP, pero si esto no llena un camión, entonces también pida el artículo con el menor número de días de suministro. Continúe con el proceso hasta que se llene el camión. O bien, podríamos calcular el número esperado de unidades pendientes de surtir entre reabastecimientos para cada SKU. Recuerde la integral de pérdida del capítulo 3.

$$U(\text{ROP}) = \int_{x=\text{ROP}}^{\infty} (x - \text{ROP})f(x)dx$$

Que se podría modificar como

$$U(I) = \int_{x=I}^{\infty} (x - I)g(x)dx$$

Donde I es el inventario disponible y $g(x)$ es la función de densidad de probabilidad de la demanda, desde el momento actual hasta la siguiente revisión. $U(I)$ es el número esperado de unidades pendientes de surtir hasta la próxima revisión. Podríamos entonces pedir el artículo con el mayor $U(I)$, y continuar ordenando la SKU con el siguiente $U(I)$ más alto, y así sucesivamente, hasta que el camión esté lleno. Puede imaginar otros procedimientos heurísticos. Cualquier método o procedimiento heurístico que se imagine se puede simular y evaluar en su desempeño. En la literatura se han propuesto muchos métodos similares.²

Independientemente de cómo se coordinen los pedidos, podría haber una cantidad fija de capital disponible para la compra. Los modelos que vimos en el capítulo 3 ignoraban el hecho de que podría haber capital limitado. Por ejemplo, si una empresa utiliza un proceso de reabastecimiento (T,OUL) para todas las SKU y la cantidad de pedido tiene un valor de \$50,000 y la empresa sólo tiene \$20,000 disponibles para la compra, entonces no puede implementar realmente el proceso. En este caso, quizá todas las SKU podrían tener sus cantidades de pedido reducidas en la misma proporción que el pedido sea de \$20,000. O quizá los artículos más caros podrían tener sus compras retrasadas. O tal vez la empresa sólo podría ordenar artículos con los menores días de suministro hasta que se alcance la restricción de \$20,000. Una vez más, se podría utilizar una serie de procesos similares a los que ya hemos analizado, pero en vez de tratar de llenar un camión, intentamos permanecer dentro de una

restricción presupuestaria. Además de las restricciones presupuestarias, también podría haber limitaciones de espacio físico. Es posible que el centro de distribución simplemente no tenga suficiente espacio para otro camión del producto. Cuando así ocurre, se puede considerar la apertura de otro centro de distribución o la ampliación del centro de distribución actual. Otras opciones incluyen pedir menos de la cantidad recomendada por el proceso de pedido. Ya que son posibles tantas situaciones, es una buena idea simular eventos discretos, ya que el método es muy flexible.

Es posible que haya restricciones que requieran (1) llenar la unidad de transporte, (2) no exceder la capacidad de la instalación, (3) capital disponible para las compras y (4) inversión en inventario. Asimismo, puede haber reglas que sean combinaciones de periodos de suministro, nivel de servicio y costo. Para implementarlas quizá se requiera el uso de optimización, y para probar las reglas tal vez se requiera la simulación de eventos discretos.

En la literatura de administración del inventario, se podrían buscar situaciones de artículos múltiples, con frecuencia referida como administración coordinada del inventario de artículos, y encontrar una infinidad de modelos. Por desgracia, muchos de ellos crean suposiciones poco realistas, por lo que son difíciles de aplicar. La simulación de eventos discretos es una herramienta poderosa para esta clase de decisiones.

Administración del inventario multiescalones

Un escalón es el nivel de una cadena de suministro y todos los niveles que hay por debajo de ésta. Por ejemplo, un conjunto de tiendas atendidas por un conjunto de centros de distribución es un sistema de inventario de dos escalones. La administración del inventario de varios escalones puede ser superior³ a la administración del inventario de un solo escalón, pero con frecuencia resulta difícil de modelar.

Suponga que hay 100 tiendas y un centro de distribución que sirve a esas tiendas. Para una SKU determinada, por ejemplo, cada una de las tiendas y el centro de distribución pueden utilizar un proceso de reabastecimiento de revisión continua (Q,ROP), y cada uno de aquéllos puede ser diferente. Es decir, el centro de distribución puede tomar los pedidos de las tiendas como demanda en el establecimiento de Q y ROP. Por otro lado, si el centro de distribución y las tiendas son propiedad del mismo minorista, parecería razonable que el centro de distribución considere la demanda que experimenta cada una de las tiendas, en vez de simplemente usar los pedidos de la tienda como señales de demanda. Suponga que la demanda comenzó a aumentar rápidamente en todas las tiendas. Puede pasar un tiempo antes de que las tiendas coloquen un pedido; entonces, en el centro de distribución se podría agotar el inventario. Por otro lado, si el centro de distribución supervisaba el punto de venta (POS) a nivel de la tienda, entonces, compraría antes o en una cantidad mayor para reabastecer su propio inventario y satisfacer el nivel de demanda de la tienda. Como los pedidos de las tiendas pueden estar sujetos a mayores distorsiones que los POS agregados de las tiendas, el centro de distribución mantendrá un inventario de seguridad mayor, que si se estimaran la incertidumbre de la demanda y la magnitud del POS. Además de considerar el POS real, parece que el centro de distribución también

debería considerar no sólo cuánto inventario tiene, sino también cuánto inventario está en el escalón del centro de distribución. La posición de inventario del escalón del centro de distribución incluye todo el inventario en el centro de distribución, todas las unidades pedidas al centro de distribución, todas las unidades en tránsito a las tiendas y todo el inventario en las tiendas, menos los pedidos retrasados.

Si las tiendas tienen mucho inventario en comparación con la demanda que experimenta la tienda, tal vez el centro de distribución no debería realizar un pedido, incluso si tiene inventario relativamente bajo. El punto es que el inventario en las tiendas y el centro de distribución se podría administrar de forma centralizada, en cuyo caso se estaría implementando un sistema de inventario multiescalones. A veces, es mejor administrar de forma centralizada, y a veces es mejor administrar de manera descentralizada. En la decisión intervienen muchas variables, más allá de las simples características de la demanda y la oferta, y de la estructura del proceso de reabastecimiento. Consideremos el ejemplo de las tiendas minoristas atendidas por un centro de distribución propiedad del mismo minorista. Matemáticamente sería mejor administrar de forma centralizada las decisiones respecto de lo oportuno y la cantidad del reabastecimiento. Suponga que 30 de 100 tiendas no tienen inventario de una SKU específica y que el centro de distribución tampoco las tiene. Las 30 tiendas piden esta SKU desde el centro de distribución, así como la tienda 31. Sin embargo, la tienda 31 tiene abundancia del inventario de la SKU y está pidiendo porque la SKU está en su punto de pedido. Ahora, el centro de distribución recibe un envío de la SKU que es suficiente para llevar a las 30 tiendas que no tienen inventario a un día de suministro que sea menor que los días de suministro disponibles que tiene la tienda 31. En un centro de distribución centralmente administrado, las 30 tiendas probablemente recibirían todo el inventario, pero en un sistema descentralizado de reabastecimiento del inventario, el inventario que recibiera el centro de distribución podría ser igualmente racionado en todas las tiendas con pedidos pendientes. En este ejemplo, es fácil ver el beneficio de la centralización del reabastecimiento de inventario. Sin embargo, si se consideran la cultura corporativa, la competencia y la administración, se podría cuestionar dicha ventaja.

Veamos un ejemplo para ilustrar esa idea. Suponga que un minorista tiene un proceso descentralizado de reabastecimiento del inventario, donde cada tienda tiene su propio sistema automatizado de reabastecimiento y el centro de distribución también tiene su propio sistema automatizado de reabastecimiento. En otras palabras, el sistema automatizado de reabastecimiento del centro de distribución ve los pedidos de las tiendas como demanda, y la utiliza para pronosticar la demanda de su sistema de reabastecimiento. Las tiendas usan el POS para predecir la demanda, en tanto que el sistema realiza los pedidos de manera automatizada en el centro de distribución, cuando la posición de inventario de la tienda alcanza el punto de pedido y se encuentra en un momento en el que la tienda puede ordenar desde el centro de distribución. Se permite a los gerentes de departamento anular el sistema. Si un gerente de departamento piensa que el pronóstico es demasiado bajo o demasiado alto, él o ella puede ajustar el pronóstico. Si el director del departamento piensa que el ajuste del nivel de servicio es incorrecto, él o ella puede cambiarlo. Estos administradores de departamento pueden cambiar cualquier ajuste en el sistema de reabastecimiento o incluso forzar un pedido o evitar que el sistema haga uno.

Ahora, con este minorista hipotético, los gerentes de departamento dentro de las tiendas atendidas por el mismo centro de distribución compiten entre sí desde las diferentes tiendas. Los gerentes de departamento de las 30 tiendas que no tienen inventario de la SKU en este ejemplo compiten entre sí en muchas métricas de desempeño diferentes. No obstante, el gerente de departamento de la tienda 31 también compite contra ellos, así como con los otros gerentes de departamento en las otras tiendas atendidas por este centro de distribución. De hecho, una vez por mes todos los gerentes de departamento participan en una conferencia telefónica, donde revisan de cada tienda los niveles de inventario, las rotaciones del inventario, el margen promedio, etcétera. Cada mes, el 10 por ciento de los gerentes de departamento obtiene un bono y el gerente del departamento superior obtiene un bono significativo. A estos gerentes de departamento les encanta eso. De hecho, con los años, los gerentes de departamento competitivos han sido atraídos por este minorista específico porque saben que pueden hacer mucho dinero y ser promovidos si funcionan bien. Los gerentes de departamento que no son competitivos tienden a irse con otros minoristas. Estos gerentes de departamento no pueden esperar hasta la conferencia telefónica mensual. ¡Día de juego! Incluso quienes no ganan la aman porque se enteran de lo que los otros gerentes de departamento están haciendo bien, y les da la oportunidad de mejorar sus probabilidades de ganar en el futuro. Estos administradores de departamento aprecian los bonos, pero también les encanta el ambiente competitivo.

Ahora, suponga que a estos gerentes se les dice que la compañía se está moviendo hacia un sistema centralizado de administración del inventario y que no se les permitirá anular el sistema, lo cual les quitaría un punto de competitividad. El pronóstico no será algo a lo que tendrán que prestar más atención. Incluso si saben que necesitan cambiar algo, no podrán hacerlo más. Es fácil ver en este ejemplo que podría haber un costo significativo por centralizar la toma de decisiones respecto del inventario. Incluso en este ejemplo valdría la pena si el sistema centralizado es mucho mejor, pero también podría no ser así. Cuando los cambios en el proceso de reabastecimiento del inventario afectan potencialmente la cultura de la empresa, debe tenerse cuidado al realizar los cambios. Es fácil para los observadores, como los consultores, considerar el método descentralizado como algo arcaico y, en muchos casos, es porque no hay una situación competitiva como la que se describe aquí. Si un minorista tiene una gran cantidad de facturación y no hay una cultura competitiva, pasar a un sistema centralizado sería una opción más fácil. Pero si hay mucha competencia y el inventario tiene un impacto pequeño en la rentabilidad del minorista, sería conveniente mantener el enfoque descentralizado. Esto es algo que fácilmente se puede pasar por alto, pero debería ser cuidadosamente sopesado en el proceso de toma de decisiones.

Otro factor importante a considerar es que muchos de los modelos analíticos de los sistemas de reabastecimiento de multiescalón hacen suposiciones poco realistas que pueden dificultar drásticamente su exactitud y efectividad. Muchos de esos sistemas hacen suposiciones tales como la arborescencia, que esencialmente significa que usted no puede tener transbordos entre tiendas. Un transbordo entre tiendas significaría que se toma inventario de una tienda y se entrega a otra. Las suposiciones matemáticas en muchos de los modelos de inventario no permiten tal posibilidad.

Otras suposiciones poco realistas se hacen a menudo para volver el problema matemáticamente manejable.

Ahora vamos a describir un proceso heurístico centralizado descrito en Zipkin⁴ (2000), para el cual hay evidencia de su buen funcionamiento y que se ajusta a la situación descrita anteriormente, donde se tiene un centro de distribución y un número de tiendas atendidas por este centro de distribución con administración centralizada del inventario. En este proceso heurístico hay una diferencia entre cuánto inventario enviar a un conjunto de tiendas y cuánto asignar a cada tienda. En otras palabras, usted no decide cuánto asignar hasta después de haber decidido cuánto enviar a las tiendas en conjunto. Este proceso heurístico supone que cada tienda utiliza un nivel básico de inventario, el cual es similar a un sistema de revisión periódica donde, cada vez que se realiza una revisión, la posición de inventario se eleva al OUL. Se supone que cada tienda tiene un pedido pendiente de surtir en contraposición con las ventas perdidas. Es decir, cuando los compradores encuentran desabasto, colocan el pedido y vendrán a obtener su producto cuando esté disponible. Ellos no sólo cambiarán a otra marca o tamaño o irán a otra tienda.⁵ Por consiguiente, cada tienda tiene su OUL establecido de tal manera que los costos esperados de los pedidos pendientes de surtir más los costos de mantenimiento del inventario sean iguales en todas las tiendas. El centro de distribución encuentra sus órdenes óptimas de visualización del OUL de las tiendas como demanda y, luego, hace un pedido al proveedor. Considere todas las tiendas juntas como una entidad y establezca el OUL óptimo. Calcule el pedido basado en este OUL agregado y, luego, asigne el pedido a las tiendas con base en los OUL establecidos por ellas. Se han desarrollado muchas otras heurísticas. Preste mucha atención a las suposiciones que se hacen antes de aplicarlas y asegúrese de probarlas a fondo con la simulación de eventos discretos.

Sin costos fijos de pedido

Una tienda se reabastece desde un centro de distribución propiedad de un minorista una vez por semana. Un camión llega a la tienda cada miércoles y luego regresa al centro de distribución. Por lo general, utiliza entre 30 por ciento y 60 por ciento, pero la utilización nunca ha superado 65 por ciento. Una SKU de toalla de papel específica se ordena cada semana de manera que su posición de inventario se trae de nuevo al OUL. Si no se han vendido rollos de esta toalla de papel, entonces, desde luego, no se ponen en el camión porque su posición de inventario está en su OUL. La empresa no ahorrará dinero si no se pone en el camión, y la empresa no gastará dinero extra si se pone. La razón de esto es que el centro de distribución tiene suficiente mano de obra para manejar una gran variedad de SKU pedidas, y la tienda tiene mucha mano de obra para manejar la recepción y su administración. Este minorista pone un extra en el servicio de compras en la tienda, por lo que tiene mucha mano de obra. Cuando el camión llega del centro de distribución el miércoles por la mañana, hay pocos compradores porque la mayoría de las compras ocurren el fin de semana y los miércoles son el día más lento de la semana, y las mañanas son la parte más lenta de los miércoles.

El minorista sigue una política de tener la misma cantidad de mano de obra todos los días de la semana. Todo esto simplemente significa que no hay un costo de pedido fijo asociado con la colocación de un pedido para esta SKU de toallas de papel. En el capítulo 3 supusimos que había un costo de pedido fijo asociado con los pedidos. Estos costos de pedido incluyen costos crecientes de transporte, que no tenemos en este ejemplo porque el camión llega a la tienda de cualquier forma; costos crecientes de mano de obra, que no tenemos en este ejemplo porque el sistema de reabastecimiento ordena de forma automatizada y la mano de obra estará en el centro de distribución y la tienda si pedimos o no; los costos creciente asociados con errores de coincidencia de facturas, que no tenemos aquí porque se pide internamente, no de un proveedor externo. ¿Es posible que haya algún costo creciente relacionado con el pedido? Sí, pero es insignificante y no tiene impacto material en este ejemplo. Resulta que en esta situación existe una estructura de política óptima. La política óptima consiste en llevar la posición del inventario al OUL cada vez que se realiza un pedido. El modelo de la cantidad económica del pedido no tiene sentido aquí porque no hay costos fijos de pedido, y la cantidad económica del pedido equilibra los costos de pedido fijos contra los costos de mantenimiento del inventario.

Por consiguiente, en esta situación con un intervalo de revisión fijo y sin costos de pedido fijos, el proceso óptimo de reabastecimiento es que esta SKU alcance el OUL cada vez que se pida. No obstante, la pregunta sigue siendo ¿cuál es el OUL óptimo? Resulta que el OUL óptimo depende del nivel de servicio óptimo, el cual se estima por la relación entre el costo de no tener existencia por unidad y la suma del costo de no tener inventario y el costo de mantener una unidad del inventario. Ya hemos definido a m como el costo de tener una unidad de inventario agotada y h como el factor del costo de mantener el inventario, pero h se definió sobre una base anualizada, mientras que ahora se define como el costo de tener una unidad en inventario al final del ciclo de reabastecimiento. Así que el nivel de servicio óptimo está dado por

$$SL^* = F(OUL^*) = \frac{m}{m + hc}$$

Donde F es la función de distribución acumulada de la demanda durante el intervalo de protección. Si el OUL^* no es un entero, entonces se redondea hacia arriba. Este método funciona si se utiliza una distribución de probabilidad continua o discreta.

El modelo del vendedor de periódicos

Joe vende periódicos en la esquina de la Décima y Grand. Paga \$1.50 por cada periódico y los vende a \$4.00 cada uno. Si no compra lo suficiente, pierde las ventas y le cuesta $\$4.00 - \$1.50 = \$2.50$ en ganancia por cada venta que pierde, que en este caso es m . Por otro lado, si compra demasiados, estará

mal al final del día, porque la gente no quiere comprar periódicos del día anterior, y pierde sus \$1.50, que se indica con v . Entonces, el nivel de servicio óptimo es

$$SL^* = F(OUL^*) = \frac{m}{m + v} = \frac{\$2.50}{\$2.50 + \$1.50} = 0.625$$

El eje horizontal de la figura 6-1 es el precio de mercado al que el vendedor puede vender los periódicos, y el eje vertical es el nivel de servicio óptimo. Usted puede ver que la línea cruza el nivel de servicio óptimo de 0.5 a un precio de \$3 por periódico, ya que a ese precio da igual si el costo sube o baja. Observe que el beneficio marginal de un precio de mercado más alto tiene rendimientos decrecientes en términos del nivel de servicio óptimo, el cual, de hecho, no llega a 0.90 en este ejemplo, sino hasta que el precio sea de \$15 por periódico. A ese precio, la ganancia es de \$13.50 por periódico, y el costo de tener demasiados sigue siendo \$1.50 por periódico. Incluso a un precio de mercado de \$100 por periódico, el nivel de servicio óptimo es de 0.985.

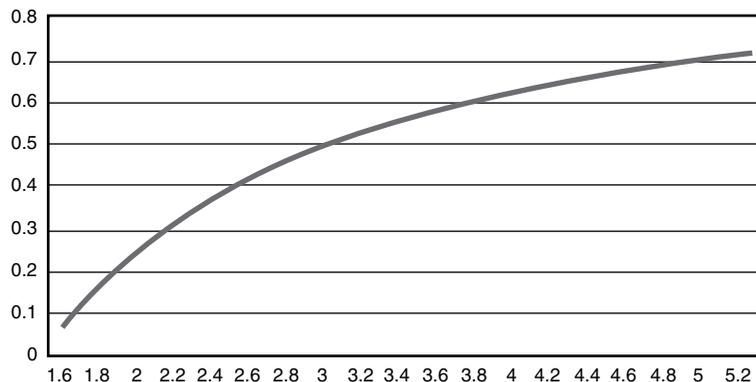


Figura 6-1 Nivel de servicio óptimo para el vendedor de periódicos.

El OUL* depende de la distribución de la demanda. En este ejemplo, suponga que la demanda se distribuye normalmente con una media de 50 periódicos por día y una desviación estándar de 10 periódicos por día. Entonces el OUL* se determina a partir de la inversa de la distribución normal.

$$= NORMINV(0.625, 50, 10) \approx 53$$

Por lo tanto, sería óptimo pedir 53 periódicos.



Para este ejemplo, la figura 6-2 muestra diferentes niveles de pedidos para diferentes costos v .

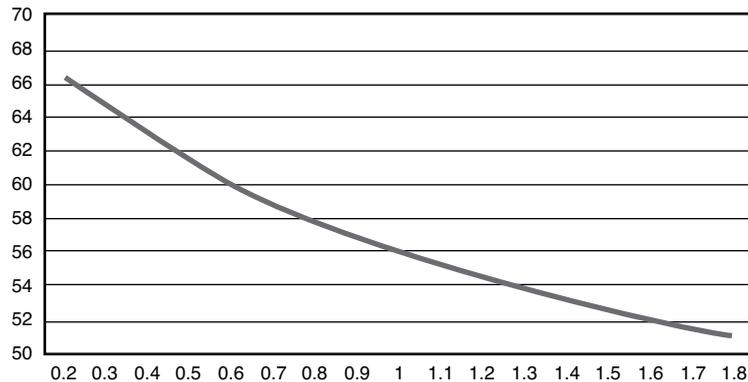


Figura 6-2 Pedido óptimo del vendedor de periódicos.

En la figura 6-2, el eje horizontal es el costo v , por periódico, para el vendedor, y el eje vertical es la cantidad de pedido óptima, el OUL*. A un costo de \$2 por periódico, el costo de tener demasiados y el costo de tener muy pocos, por unidad, es igual, por lo que el OUL* es de 50 unidades, la media de la distribución de la demanda. Conforme el costo se vuelve extremadamente bajo, digamos entre 0.1 y 0.4, se observa que la recta se vuelve notablemente más no lineal, y el beneficio de vender una unidad más se vuelve relativamente alto, de modo que vale la pena comprar aún más periódicos.

En vez de utilizar una distribución normal, también se podría utilizar una distribución empírica discreta. Un desafío con esto es que, si alguna vez se le acaban los periódicos temprano, no sabría cuál era la demanda de ese día; sólo podría saber cuál sería la demanda cuando tuviera suficientes periódicos. Por supuesto, eso sería cierto incluso para la distribución normal, ya que la media y la desviación estándar de su muestra no incluirían la demanda que superó los periódicos que tenía disponibles.

Distribuciones censuradas

Suponga que el vendedor de periódicos en la Décima y Grand compra siempre 53 periódicos y, en promedio, ha vendido 50 periódicos, sin embargo, ha vendido todos sus periódicos 45 por ciento de las veces. El promedio real de la distribución de la demanda es probablemente superior a 50, porque nunca pudimos observar más de 53 periódicos vendidos. Esto se conoce como una *distribución censurada*, y es posible que, con información sobre las ventas promedio, el porcentaje de veces que

vendimos todos los periódicos y el número máximo de periódicos disponibles cada día se estimen la media y la desviación estándar de la demanda, suponiendo que se trata de una distribución normal. Para determinarlas, resolvemos dos ecuaciones:⁶

$$\bar{X} = Q(1 - F_s(z)) + \left(\mu + \sigma \frac{-f_s(z)}{F_s(z)} \right) F_s(z)$$

y

$$z = \frac{Q - \mu}{\sigma}$$

\bar{X} = ventas promedio

Q = número de periódicos disponibles cada día

$F_s(z)$ = distribución normal estándar acumulada a z desviaciones estándar arriba de la media

$f_s(z)$ = función de densidad normal estándar a z desviaciones estándar arriba de la media

μ = media de la distribución de demanda no censurada

σ = desviación estándar de la distribución de demanda no censurada

En este caso, como se vendieron todos los periódicos 45 por ciento de las veces, significa que no se vendieron todos de 1 a 45 por ciento o 55 por ciento de las veces. En consecuencia, $F_s(z) = 0.55$. Ahora, podemos encontrar z tomando la inversa de la distribución acumulada normal estándar en 0.55, $z = F_s^{-1}(0.55) = 0.125$. Por lo que, en este ejemplo,

$\bar{X} = 50$ periódicos por día

Q = 53 periódicos por día

$F_s(z) = 0.55$

$f_s(z) = 0.396$

Para obtener el valor de la función de densidad de probabilidad normal estándar en Excel, $f_s(z)$, utilice NORMINV(z , 0, 1, FALSE). El último argumento, FALSE, nos indica que queremos el valor de la función de densidad, no la distribución acumulada.

Sustituyendo todo esto en las ecuaciones anteriores, tenemos

$$50 = 53 * (1 - 0.55) + \left(\mu + \sigma \frac{-0.396}{0.55} \right) * 0.55$$

y

$$0.125 = \frac{53 - \mu}{\sigma}$$

Por lo que tenemos dos ecuaciones y dos incógnitas, así que podemos despejar la media y la desviación estándar de la distribución normal no censurada de la demanda. En este ejemplo, resolviendo las dos ecuaciones, encontramos $\mu = 52$, $\sigma = 6$. Recuerde que ya encontramos que el nivel de servicio óptimo era 0.625, así que para encontrar el OUL* óptimo tenemos

$$= \text{NORMINV}(0.625, 52, 6) \approx 54$$

Aunque el vendedor de periódicos ha estado comprando 53 periódicos diarios, debería comprar 54 periódicos por día. Es una pequeña diferencia. Usando todos los mismos números excepto que suponga que se estaban vendiendo 75 por ciento de las veces, entonces, en ese caso el OUL* = 73, que es una diferencia significativa de 53. Esto señala la sensibilidad potencial al porcentaje de veces que él está vendiendo todos los periódicos. En este caso, la media de la distribución no censurada es de 67 periódicos por día.

Esta distribución no censurada puede funcionar también en otras situaciones. Consideremos otro ejemplo. Suponga que Joe tiene una máquina expendedora y la reabastece una vez por semana, y que él analiza una barra de caramelo específica en su máquina expendedora. Entonces, como Joe vendió todas las barras de caramelo 49 por ciento de las veces, significa que no las vendió todas 1 - 49 por ciento o 51 por ciento de las veces. En consecuencia, $F_s(z) = 0.51$. Ahora, podemos encontrar z tomando la inversa de la distribución acumulada normal estándar en 0.51, $z = F_s^{-1}(0.51) = 0.025$. Suponga que Joe vende un promedio de 20 barras de caramelo por día y cada punto de venta tiene 25 barras de caramelo, y que esta barra de caramelo sólo tiene un punto de venta. Por lo que, en este ejemplo,

$$\bar{X} = 20 \text{ barras de caramelo por semana}$$

$$Q = 25 \text{ barras de caramelo por semana}$$

$$F_s(z) = 0.51$$

$$f_s(z) = 0.399$$

Resolviendo las dos ecuaciones y las dos incógnitas encontramos $\mu = 25$, $\sigma = 12$. Suponga que el edificio donde Joe tiene la máquina expendedora requiere un nivel de inventario de 0.98. Entonces $\text{NORMINV}(0.98, 25, 12)$ da un valor de 50, lo cual significa que, para alcanzar el requisito de nivel de inventario, Joe tiene que asignar dos puntos de venta a esta barra de caramelo. Lograr este nivel de inventario requerido podría potencialmente dar como resultado una reducción del surtido. Antes de tomar estas decisiones tendría sentido determinar la media y la desviación estándar de la distribución de la demanda no censurada.

El modelo del vendedor de periódicos puede también ser útil en ropa de moda porque, en muchas situaciones, una prenda en la industria de la ropa de moda es comprada por una tienda departamental o una boutique solamente una vez. El comprador o el comerciante diseña la prenda, como un nuevo vestido para mujer, y toma una decisión respecto de cuántos comprar. El uso del modelo del vendedor de periódicos en esta situación no es evidente, pues no hay datos históricos, así que la pregunta es: ¿Cómo se encuentran la media y la desviación estándar de la demanda? Un método que se ha utilizado en la industria⁷ consiste en reunir a un panel de expertos en la materia como compradores, vendedores y otros, para estimar el nivel de demanda. El promedio que generan se utiliza como la estimación de la media, y la desviación estándar de sus estimaciones se utiliza como la estimación del nivel de incertidumbre de la demanda. Entonces, se aplica el modelo del vendedor de periódicos.

Clasificación del inventario ABC

La clasificación de las SKU para fines de administración del inventario se denomina a menudo *clasificación del inventario ABC*. La clasificación ABC se basa en la regla 80/20 de que 80 por ciento de los ingresos proviene de 20 por ciento de los productos, 80 por ciento de las ganancias son de 20 por ciento de las SKU, u 80 por ciento del inventario es de 20 por ciento de los artículos almacenados. Sea cual fuere su aplicación, con frecuencia se descubre que en la práctica es falsa o inexacta. El propósito es clasificar las SKU para que todas ellas no tengan que ser tratadas por igual. Algunas SKU requieren una cuidadosa administración del inventario, utilizando un sistema de revisión continua; en tanto que algunas SKU menos importantes requieren una administración del inventario menos cuidadosa para que se revisen sólo periódicamente. Esa línea de razonamiento está obsoleta; sin embargo, aún se realizan tales clasificaciones, pero por otras razones, como la necesidad de establecer diferentes niveles de servicio o distintas tasas de cumplimiento para la SKU. La idea es que no deberíamos establecer todos los niveles de servicio con las mismas tasas de cumplimiento, ya que tienen diferentes costos por no tener inventario, pero eso formula la pregunta de ¿por qué únicamente tres niveles diferentes? ¿Por qué no sólo el nivel óptimo para cada SKU? Quizá la clasificación ABC sea un recurso de los días sin computadoras o de cuando la memoria era costosa o el procesamiento era lento. El otro propósito de la clasificación ABC consiste en determinar qué SKU debería recibir la mayor atención en términos de administrar sus plazos de entrega y asegurarse de que el producto se entrega a tiempo. También se ha utilizado como un método para determinar dónde comenzar las iniciativas de mejora de procesos. Suponga, por ejemplo, que hay errores de ejecución de los procesos de negocio en varias SKU en puntos distintos de la cadena de suministro. La pregunta se convierte en dónde enfocarse en términos de iniciativas de mejora de los procesos y por qué la clasificación ABC ayuda a responder a esa pregunta: comience con los artículos A porque ocasionan la mayoría de los problemas o tienen el mayor beneficio de las mejoras, o por alguna otra razón similar.

Planeación de los requisitos de materiales

Hasta este punto del libro, nos hemos centrado en artículos de demanda independiente, cuya demanda proviene directamente de usuarios, compradores o consumidores. También hay artículos

cuya demanda se deriva de la demanda de artículos finales. Por ejemplo, si una fábrica hace sillas, hay demanda para los brazos de las sillas, pero esa demanda se deriva de la demanda para las sillas. La planeación de los requisitos de materiales⁸ (MRP, por las siglas de *material requirements planning*) se utiliza para administrar la demanda y el inventario de artículos con demanda derivada. Los tres componentes clave de la MRP son el programa maestro de producción (MPS, por sus siglas de *master production schedule*), el archivo de estatus del inventario (ISF, por las siglas de *inventory status file*) y la lista de materiales (BOM, por las siglas de *bill of materials*). El MPS es un plan con énfasis en el tiempo de cuando un producto final debe estar disponible para la venta o el envío; el ISF es una lista de los componentes, sus plazos de entrega, cantidades de pedidos, proveedores, inventario disponible, inventario de pedidos y otra información; y la BOM es una receta para el producto final en el MPS. Por ejemplo, una BOM dice que para cada silla se necesitan dos brazos y para cada brazo se necesitan seis tornillos, y así sucesivamente. La MRP toma el MPS, el ISF y la BOM, y crea un plan con énfasis en el tiempo para producir o pedir piezas, componentes, submódulos y ensamblajes que entran para formar el producto final en el MPS.

Un MPS tiene intervalos de tiempo, que son los intervalos utilizados en la planeación, como una semana. Si un MPS estableció que en la semana 4 se deben fabricar 100 sillas, entonces se verificará el ISF para el inventario que estará disponible en la semana 4. Si no hay sillas disponibles en la semana 4, entonces, se deben producir para la semana 4. Gracias a la BOM, el sistema sabría que se necesitan dos brazos para cada silla, por lo que para la semana 4, deben estar disponibles dos brazos para armar cada silla. Eso significaría que necesitaríamos un total de 200 brazos. Puesto que hay 6 tornillos para cada brazo, indicaría que deben estar disponibles 6×200 o 1,200 tornillos. Este proceso se conoce como una explosión de la lista de materiales. Además, si los 200 brazos necesitan estar disponibles una semana antes y los tornillos tienen que estar disponibles otra semana antes, la MRP tomaría eso en cuenta y crearía un plan para pedir los tornillos. Se haría todo esto considerando cualquier inventario disponible. En este ejemplo, si los cálculos demostraron que 400 tornillos ya estarían disponibles, entonces, la MRP sólo pediría $1,200 - 400 = 800$ tornillos, pero lo haría basándose en el plazo de entrega en el ISF.

Existen muchos métodos de tamaño de lote diferentes en la MRP, incluyendo lotes por lote (L4L), cantidad de pedido fija (FOQ, por las siglas de *fixed order quantity*), cantidad de pedido periódica (POQ, por las siglas de *periodic order quantity*) y más. L4L es una reminiscencia de justo-a-tiempo (JIT) en el sentido de que sólo se pide la cantidad demandada. Con la FOQ se pide una cantidad fija cada vez que coloca un pedido, y con la POQ se puede ordenar, por ejemplo, una vez cada cuatro semanas, pero cuando se pide, hasta cierto monto. L4L minimiza el inventario, pero maximiza los costos fijos relacionados con el pedido. Con la FOQ y la POQ se puede intentar equilibrar y, por lo tanto, minimizar los costos totales. Cuando las demandas son desiguales, es más difícil minimizar los costos con la FOQ y la POQ, por lo que se utiliza el equilibrio de periodo parcial (PPB, por las siglas de *part period balancing*), donde se acumulan los intervalos de tiempo, de manera que se equilibren los costos del inventario y los costos del pedido.

Si se cambia el MPS, tiene un efecto multiplicador a través de todos los planes de MRP para cada pieza, componente, submódulo y módulo. Es posible que estos cambios afecten los pedidos o los

lanzamientos de trabajos que ya se hayan autorizado con base en el MPS anterior. Por tal razón, algunos MPS tienen un tiempo acotado. El tiempo acotado es el periodo de tiempo durante el cual no se puede cambiar un MPS, y esa parte del programa se conoce como un *programa congelado*. Dentro del MPS, parte de la demanda se basa en un pronóstico, y parte se basa en pedidos planeados ordenados en firme, que son los pedidos que ya se recibieron de los clientes. Otra cuestión que debe abordarse con la MRP es el horizonte temporal, es decir, ¿hasta qué punto se desea planear el futuro? Cuanto más lejos planea al futuro, más inciertos serán los planes.

La MRP puede dar la impresión de una gran cantidad de certeza y estabilidad con toda la planeación estructurada. La alternativa sería utilizar algo así como un modelo (Q,ROP), uno (T,OUL) o algún híbrido. Pero, ¿por qué usar uno de éstos cuando sólo puede utilizar la demanda para el producto final y el plan hacia el origen? Si es cierto que la demanda del producto final es fija, lo cual podría ser el resultado de un acuerdo contractual con un cliente, sería claramente mejor que usar un proceso tradicional de administración del inventario de demanda independiente. Considere, sin embargo, que no todos los planes son fijos, y es posible que en algunos casos todos los MPS se basen en un pronóstico y el cambio de pronósticos. Cuando usted tiene información nueva desea incluirla en el MPS; sin embargo, al hacerlo, cambia todos los planes de la MRP para los artículos de la BOM. Por otro lado, puede utilizar un pronóstico que sabe que no es preciso sólo para mantener los planes de la MRP estables. El cambio y los pronósticos inciertos no son las únicas fuentes de inestabilidad en los planes de la MRP que podrían llevar a una empresa a utilizar un modelo tradicional de reabastecimiento de demanda independiente, pues el plazo de entrega es demasiado. Cuanto más largo sea el plazo para los artículos utilizados en la fabricación y mayores los niveles en la BOM, más planes de la MRP se construirán sobre pronósticos inciertos. Por ejemplo, si un submódulo debajo del producto final tiene un plazo de entrega de cinco semanas y el artículo debajo de éste tiene un plazo de entrega de cinco semanas y el artículo debajo tiene un plazo de entrega de cinco semanas, y eso continúa hasta alcanzar un artículo con un total de 25 semanas debajo del elemento del nivel superior (producto terminado) de la BOM, entonces, los planes de la MRP basados en el pronóstico en el MPS son probablemente muy inciertos. Si estos artículos se utilizan en muchos productos finales diferentes, entonces tal vez los componentes del nivel bajo en el nivel inferior de la BOM se deberían tratar para enfrentar la demanda independiente.

Otra fuente de error que se puede encontrar en la MRP es que quizás haya cambios de ingeniería que resulten en cambios en la BOM, mientras que la BOM no cambia. Por ejemplo, suponga que, en vez de usar tornillos para los brazos de la silla, se tiene que utilizar pegamento (goma) sobre la base de una orden de cambio por ingeniería. El pegamento se puede introducir en el piso de montaje y los asociados del ensamble se capacitan incluso en cómo usar el pegamento, en vez de los tornillos, pero la BOM puede no modificarse. Esto daría lugar a que se sigan pidiendo tornillos innecesariamente. Por otro lado, la orden de cambio por parte de ingeniería puede haber requerido siete tornillos en vez de seis. En ese caso, si no se introdujo el cambio en la BOM, los tornillos se acabarían. En general, la información en el sistema de MRP se debe actualizar y ser precisa, y éste es un desafío importante en cualquier sistema de inventario o de planeación. Suponga que se compra un lote de tornillos que son demasiado frágiles, y se rompen periódicamente. Si esto no se introduce en el ISF, finalmente habrá carencia de tornillos.

Planeación de los requisitos de distribución

La MRP se refiere a menudo como un método de planeación con énfasis en el tiempo. Otro método de planeación con énfasis en el tiempo que utiliza una lógica similar en una situación diferente es la *planeación de necesidades de distribución* (DRP, por las siglas de *distribution requirements planning*). Imagine una fábrica que da servicio a diez centros de distribución regionales. La demanda de la fábrica se puede ver como la demanda derivada de la demanda independiente que enfrentan los centros de distribución. Es decir, si conociéramos la demanda de los centros de distribución, podríamos calcular la demanda en la fábrica. La estructura de la red de distribución es como una BOM invertida. En la BOM, un solo artículo enfrenta una demanda independiente, mientras que muchos artículos han calculado la demanda dependiente; asimismo, en la DRP muchos centros de distribución se enfrentan a una demanda independiente, en tanto que unos cuantos artículos se enfrentan a una demanda dependiente calculada. La lógica de la DRP es similar a la MRP, incluyendo el uso de algo similar a un MPS para la demanda final enfrentada por los centros de distribución y, luego, aplicando el inventario disponible y los plazos de entrega desde la fábrica hasta los centros de distribución y, después, haciendo los cálculos de las demandas con énfasis en el tiempo en la fábrica. Estas demandas en la fábrica se pueden entonces convertir en entradas al MPS en el sistema de MRP de la fábrica.

Control del inventario agregado: funciones de rendimiento del inventario

El inventario también se debe administrar de forma agregada, tal y como vimos en la sección de administración del inventario de varios artículos en este capítulo. En el análisis sobre administración del inventario de varios artículos, examinamos problemas asociados con restricciones de inversión y restricciones de espacio en el inventario, pero también hay otros problemas asociados con la administración del inventario agregado, como la necesidad de comparar el desempeño de la administración del inventario de varios centros de distribución, tiendas minoristas o incluso artículos. También existe la necesidad de estimar cuánto inventario se mantendrá en un lugar, si las ventas aumentan o cuánto inventario se requerirá en un nuevo centro de distribución. Estudiemos un método para tratar esto denominado *funciones de rendimiento del inventario* (ITF, por las siglas de *inventory throughput functions*). El método de las ITF también permite la comparación de diferentes centros de distribución. El problema radica en que, si un centro de distribución tiene un rendimiento de 1,000,000 de unidades al año y otro tiene un rendimiento de 100,000 unidades al año, sería difícil compararlos, porque esperaríamos que tengan diferentes niveles de inventario y no debería haber una relación lineal. En este ejemplo, sólo porque un centro de distribución tiene diez veces el rendimiento de otro centro de distribución no significa que debería tener diez veces la cantidad de inventario; esperaríamos menos de diez veces la cantidad del inventario.

El inventario⁹ y las ventas o el rendimiento pueden modelarse empíricamente usando la regresión. Sea $S = \text{Ventas}$ e $I = \text{Inventario}$. Usted puede estimar la forma funcional de un modelo de ITF $I = \alpha S^\theta$ tomando el logaritmo natural de ambos lados de la ecuación para obtener $\ln I = \ln \alpha + \theta \ln S$. Entonces, utilice la regresión por mínimos cuadrados ordinarios (OLS, por las siglas de *ordinary least squares*) para estimar $\ln I = \beta_0 + \beta_1 \ln S + \epsilon$ donde ϵ es el término del error aleatorio. Una vez que se estima la ITF, se puede encontrar α por exponenciación de $\widehat{\beta}_0$, que es $\alpha = e^{\widehat{\beta}_0}$; y encontrar θ directamente de la estimación de $\widehat{\beta}_1$, es decir, $\theta = \widehat{\beta}_1$. En $I = \alpha S^\theta$, α se puede considerar como el parámetro de la escala, y θ se puede considerar como el parámetro de la forma. El parámetro más importante es el parámetro de la forma, θ , ya que describe cómo se utiliza eficientemente el inventario para apoyar las ventas.

La figura 6-3 muestra el inventario en el eje vertical y las ventas en el eje horizontal con la forma funcional de la ITF como $I = \alpha S^\theta$ donde $\alpha = 0.5$ para tres valores diferentes de $\theta \in \{0.5, 1.0, 2.0\}$. Para un determinado nivel del parámetro de la forma, vemos que el parámetro de la escala aumenta la cantidad del inventario.

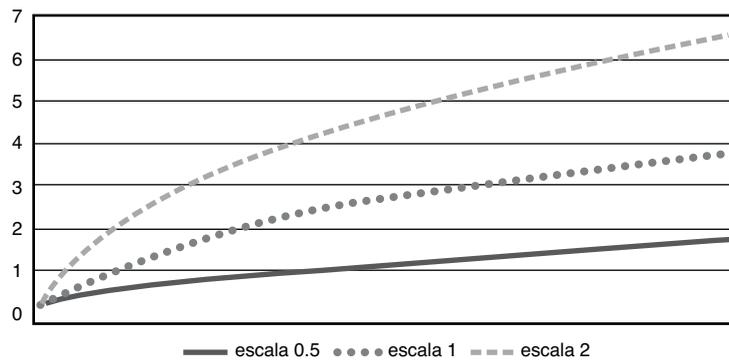


Figura 6-3 Inventario en función de las ventas.

La figura 6-4 muestra el inventario en el eje vertical y las ventas en el eje horizontal, con la forma funcional de la ITF como $I = \alpha S^\theta$ donde $\theta = 0.5$ para tres valores diferentes de $\alpha \in \{0.6, 1.0, 1.4\}$.

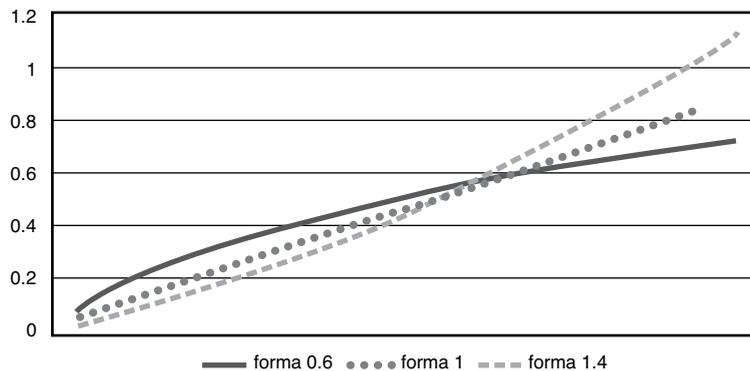


Figura 6-4 Efecto del parámetro de la forma.

Para un determinado nivel del parámetro de la escala, vemos que el parámetro de la forma cambia la naturaleza de la relación entre ventas e inventario. Si una empresa utiliza el EOQ, el parámetro de la forma sería 0.5.

$$Q = \sqrt{\frac{2DS}{hc}}$$

Que es lo mismo que

$$Q = \left(\frac{2DS}{hc}\right)^{0.5}$$

Tomando el logaritmo natural de ambos lados tenemos

$$\ln Q = \ln\left(\frac{2S}{hc}\right)^{0.5} + \ln(D)^{0.5}$$

$$\ln Q = \ln\left(\frac{2S}{hc}\right)^{0.5} + 0.5 * \ln D$$

Por lo tanto, si una empresa utiliza el EOQ, el parámetro de la escala sería $\left(\frac{2S}{hc}\right)^{0.5}$ y el parámetro de la forma sería 0.5.

La figura 6-5 muestra una estimación de una ITF $I = \alpha S^\theta$ donde se encontró que el parámetro de la escala era 2.0 y que el parámetro de la forma era 0.5. Una vez más, el inventario está en el eje vertical y las ventas están en el eje horizontal.

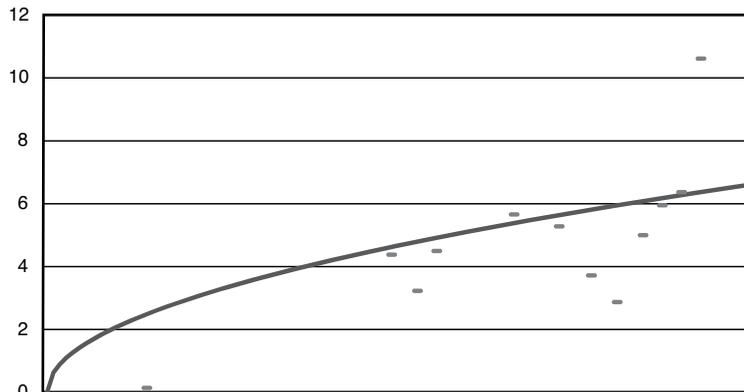


Figura 6-5 Estimación de la función de rendimiento del inventario.

Vemos que la mayoría de ellos caen relativamente cerca de la curva estimada, pero algunos caen de manera significativa por encima o por debajo de ella. Si están significativamente por debajo, es posible que simplemente estén administrando su inventario de manera muy eficiente; sin embargo, quizá valga la pena investigar su tasa de cumplimiento, porque podría estar experimentando una gran cantidad de inventario agotado. Por otro lado, si están significativamente arriba, se podrían estar administrando muy mal; no obstante, es probable que valga la pena investigar sus plazos de entrega y otros factores que pueden afectar la cantidad de inventario que mantienen. Aunque nuestro estudio aquí se centra en el nivel de análisis en la sede del inventario manejado, este tipo de análisis también se efectúa a nivel de empresa.¹⁰ El uso de este método a nivel de empresa puede permitir que una empresa se compare con sus competidores y empresas candidatas. También puede servir como un método para monitorear el desempeño en el tiempo. Hasta este punto, hemos hablado de usar este método en conjunto para ubicaciones de inventario, como centros de distribución y en el nivel de empresa, pero también se aplica a nivel de la SKU. Es decir, dentro de un centro de distribución se puede aplicar a una serie de SKU diferentes, o subconjuntos de SKU, para evaluar el desempeño. Asimismo, se puede aplicar a una SKU única a través de centros de distribución. Por último, también se puede utilizar tanto en la tienda sede como a nivel de fábrica.

Hemos discutido las ITF desde la perspectiva del análisis comparativo, pero también se puede usar para otros propósitos, como estimar la cantidad de requisitos de inventario en una nueva ubicación. Por ejemplo, suponga que un centro de distribución está a plena capacidad y, por lo tanto, se está planeando uno nuevo. El nuevo centro de distribución atenderá los mercados de varios centros de distribución que están cerca de su capacidad. Utilizando una ITF se puede estimar la inversión en inventario requerida en el nuevo centro de distribución, así como la reducción en la inversión en inventario en los centros de distribución existentes que habrán reducido la cobertura del mercado.

Las entradas y salidas a una ITF pueden expresarse en unidades monetarias o en unidades de inventario. Por ejemplo, suponga que la siguiente ITF se estimó en dólares:

$$I = 6S^{0.7}$$

Entonces, para ventas de \$100,000, se estimaría que el requisito del inventario sea de cerca de \$19,000. Estas estimaciones son importantes para la administración del flujo de efectivo. También pueden ser útiles cuando se trata de obtener la aceptación de nuevos métodos de administración del inventario, nuevos métodos de pronósticos, nuevos diseños de redes y otros cambios en la red de la cadena de suministro. Por otro lado, suponga que las siguientes ITF se estimaron en toneladas:

$$I = 18S^{0.85}$$

Así, para 500,000 toneladas, se estimaría que el requisito del inventario sea aproximadamente de 1.3 millones de toneladas. Esas estimaciones pueden ser útiles para las decisiones de administración del espacio, así como para las decisiones de diseño de las instalaciones.

Una advertencia respecto del uso de las ITF tiene que ver con el rango de estimación. Si se estimó una ITF, en productos, de unos \$50,000 a \$1,000,000, no se debería considerar confiable hacer estimaciones fuera de ese rango. Incluso si usted está usando una ITF para hacer estimaciones dentro del rango para el cual se estimó la ITF, aún necesita preocuparse por la exactitud. Un acercamiento rápido y fácil consiste en observar la R-cuadrada de la salida de la regresión. La R-cuadrada es el porcentaje de variación en la variable dependiente que se explica por el modelo. Otro enfoque es utilizar las métricas del error de pronóstico que se describen en el capítulo 4, “La relación entre la administración del inventario y los pronósticos”, como sesgo, MAD y MAPE.

Una característica interesante de la ITF es la interpretación del coeficiente de la forma, es decir, para un aumento de 1 por ciento en las ventas, se estima que hay un aumento de θ por ciento en el inventario¹¹. Por ejemplo, si una empresa utiliza el EOQ, un aumento de 1 por ciento en las ventas daría lugar a un aumento de 0.5 por ciento en el inventario, ya que $\theta = 0.5$ en el modelo EOQ.

Con el siguiente modelo también se pueden incluir otras variables como el plazo de entrega:

$$\ln I = \beta_0 + \beta_1 \ln S + \beta_2 \text{Plazo de entrega}$$

Este modelo le permitiría explicar la diferencia en el inventario con mayor precisión, no basándose totalmente en el volumen de ventas para explicar los cambios en el inventario. Podríamos ir más allá e incluir otras variables como el número de SKU en el centro de distribución NSKU, el número de tiendas atendidas NTIENDAS y otras variables.

$$\ln I = \beta_0 + \beta_1 \ln S + \beta_2 \text{Plazo de entrega} + \beta_3 \text{NSKU} + \beta_4 \text{NTIENDAS}$$

El meollo de esto es considerar tantos impulsores del inventario como sea posible, de modo que lo que queda es una diferencia en la forma como se está administrando el inventario. Este método funciona bien internamente, pero si se utiliza el análisis comparativo con otras empresas, muchas de las otras variables de entrada podrían no estar disponibles.

Otro beneficio de este método ampliado a la estimación de la ITF es que sirve para probar hipótesis que podrían ser importantes en la toma de decisiones. Por ejemplo, tal vez hay una hipótesis de que, si la empresa pudiera reducir el número de SKU mantenidas en un determinado centro de distribución, se podrían reducir los requisitos totales del inventario en la empresa. La compañía podría estar considerando ir a centros de distribución más especializados con plazos de entrega más largos y menos SKU por centro de distribución. Para ese cambio tan significativo, valdría la pena no sólo comprobar R-cuadrada, sesgo, MAD y MAPE, sino también verificar otras métricas y supuestos. Por lo menos se debería comprobar la prueba F para asegurarse de que el modelo sea estadísticamente significativo y los p -valores de cada uno de los coeficientes que vaya a utilizar. En este ejemplo, podría querer asegurarse de que las estimaciones de los coeficientes para el plazo de entrega y las NSKU fueron estadísticamente significativas. Si este coeficiente no es significativo, es posible que quiera comprobar la

multicolinealidad, la cual es un problema en la regresión, donde dos o más variables independientes están altamente correlacionadas. Continuando con este ejemplo, si fuera el caso de que los centros de distribución tuvieran una mayor variedad de SKU, tendrían mayores plazos de entrega y, entonces, es posible que pudiéramos terminar con la multicolinealidad, y se podría hacer que una de las variables fallara en la prueba de significación estadística. Incluso para fines de evaluación comparativa es una buena idea verificar los supuestos de la regresión. Por ejemplo, si hay heterocedasticidad, se dificultará la comparación de las observaciones a diferentes niveles de inventario. Recordemos que la homocedasticidad es una suposición de regresión que significa que la varianza de los residuos es constante para varios niveles de la variable dependiente.

La figura 6-6 es un diagrama de dispersión de las ventas minoristas anuales y el inventario de Estados Unidos, excluyendo el sector automotriz de 1992 a 2011, con base en datos de la Oficina del Censo de Estados Unidos.

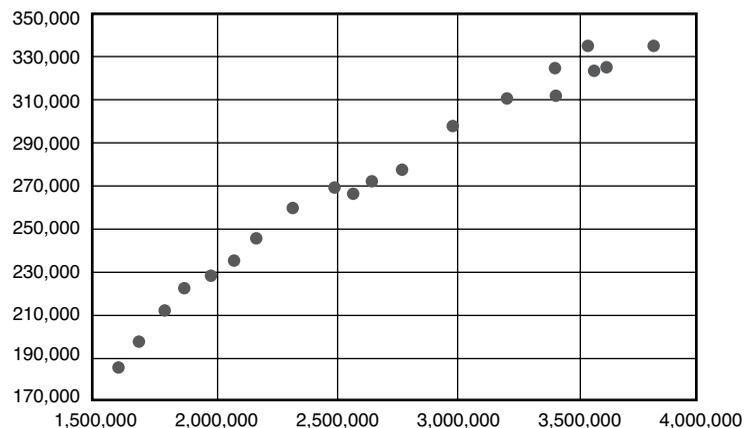


Figura 6-6 Ventas e inventario minoristas de Estados Unidos.

El eje vertical en la figura 6-6 es el inventario en millones de dólares y el eje horizontal son las ventas en millones de dólares. Se estimó una ITF para el sector minorista de la economía y se encontró que

$$I = 17.9S^{0.65}$$

Con base en la prueba F, el modelo es significativo en el nivel <0.001 , y la R-cuadrada es 0.98, lo cual quiere decir que aproximadamente 98 por ciento de la varianza en el inventario se explica por las ventas. La industria minorista en su conjunto parece ser relativamente eficiente en la administración del inventario, como se observa en el factor de forma estimado de 0.65. Podemos especular en cuanto a por qué parece que el sector minorista es eficiente en la administración del inventario. Quizá se deba a la feroz competencia en la industria, incluyendo el surgimiento del comercio electrónico durante las últimas dos décadas, así como a una mejor tecnología de apoyo en las decisiones para el pronóstico y la administración del inventario.

Almacenamiento del inventario

El almacenamiento del inventario dentro de una sede es a menudo un tema del manejo de materiales y sistemas de administración de inventario, pero no suele ser el tema central de estos sistemas. Sin embargo, examinaremos brevemente este tema, sobre todo desde la perspectiva de la administración del inventario, y menos desde la óptica del manejo de materiales y almacenamiento. En una fábrica, la idea de almacenar el inventario, especialmente el inventario de materias primas, componentes, submódulos y módulos en el punto de uso tiene sentido en términos de la minimización del plazo de entrega de la producción y también de errores en el uso de partes equivocadas y daños. Si el inventario de piezas se lleva a cabo centralizadamente dentro de una fábrica, cada vez que se necesita una pieza para la producción, el trabajador o el robot tiene que abandonar la estación de trabajo para recuperarla, o hay mano de obra dedicada a mantener las estaciones de trabajo en inventario. A veces esto es necesario cuando se utilizan partes en común entre muchas estaciones de trabajo diferentes dentro de la fábrica. Si el inventario entra en una fábrica y se almacena en una ubicación central y, luego, se recupera para una estación de trabajo cuando es necesario, hay un “toque extra” en comparación con el almacenamiento del inventario en la estación de trabajo que lo necesitará para la producción. El número de veces que se toca el inventario se correlaciona a menudo con la merma, el daño y la mano de obra.

Dentro de una bodega, mantener el inventario en una ubicación fija minimiza los errores en términos de ordenamiento y selección. Sin embargo, no minimiza la cantidad de espacio necesario para el almacenamiento del inventario. La alternativa al almacenamiento de ubicación fija es el almacenamiento de ubicación aleatoria. Con este enfoque, cuando hay espacio disponible, se utiliza para el inventario. En una tienda minorista, el espacio en la bodega es caro y, por lo tanto, la mayor parte del almacenamiento en las salas de venta al por menor se basa en la estrategia de ubicación aleatoria. Esto hace que sea difícil encontrar SKU específicas en las bodegas al por menor porque normalmente hay demasiadas SKU diferentes en una tienda al por menor, y muchas veces estas SKU están rotando, se introducen nuevos productos y se descontinúan algunas SKU. El almacenamiento del inventario en las bodegas minoristas es uno de los problemas más difíciles de administración de almacenamiento del inventario en la industria.

Las decisiones de almacenamiento del inventario y la eficacia de la administración afectan los costos de mantenimiento del inventario, ya que un componente del factor de costo de mantenimiento del inventario son los costos del espacio de almacenamiento, la merma y el daño, por mencionar algunos. A su vez, el factor de costo de mantenimiento del inventario afecta al nivel óptimo de inventario a retener, lo cual afecta a la cantidad de pedido óptima y/o al pedido óptimo a nivel. Del mismo modo, las decisiones del proceso de administración del inventario afectan las decisiones de su almacenamiento. Por ejemplo, si las existencias de seguridad aumentan en las tiendas minoristas sin incrementar la capacidad de almacenamiento para una SKU determinada, es posible que el inventario adicional tenga que almacenarse en la bodega de la tienda minorista. Dentro de esta última, no sólo verá el inventario almacenado en la bodega, sino a veces también en la parte superior de los anaqueles. A veces se dará cuenta de que el inventario almacenado en la parte superior de los anaqueles ni siquiera corresponde con el inventario en las repisas de abajo. Esto parece suceder a menudo en los clubes de precios de medio mayoreo.

Administración de registros del inventario

Los registros del inventario son una parte sobresaliente de cualquier sistema de administración del inventario. Para sistemas de inventario automatizados, existen sistemas de inventario perpetuo, los cuales realizan un seguimiento del inventario disponible utilizando información del punto de venta (POS) y escaneos de códigos de barras, a medida que se recibe el inventario. Cada vez que se recibe una caja o una tarima del producto, se escanea y el sistema de inventario perpetuo aumenta por el número de unidades en la caja o en la tarima. Cada vez que se compra o se envía una unidad, el sistema de inventario perpetuo se reduce en esa cantidad.

Si los registros de inventario son inexactos¹² y si la empresa utiliza un proceso de reabastecimiento del inventario (Q,ROP), no levantará pedidos en el momento adecuado. Si la empresa utiliza un proceso (T,OUL), no pedirá la cantidad correcta. Si los registros del inventario son descontados indebidamente, habrá exceso de inventario. Si los registros del inventario están aumentados, o dejados de disminuir en su oportunidad, no habrá existencias. Algunos productos suelen tener registros del inventario de forma consistente sesgados en la dirección positiva. Por ejemplo, en las tiendas minoristas los artículos caros pequeños tienden a ser robados más a menudo. Cuando los hurtan, los registros del inventario tienden a sugerir que la tienda minorista cuenta con más inventario de lo que realmente tiene. Para estos artículos hay un sesgo positivo en los registros del inventario. Para los artículos que tienen altas tasas de devolución, a veces esas devoluciones no se registran correctamente y la tienda minorista termina con más inventario de lo registrado, creando así un sesgo negativo en los registros del inventario. Para otros artículos, los registros del inventario son sin sesgos, pero pueden tener muchos errores con el paso del tiempo.

El error puede presentarse en el sistema de registro del inventario de muchas maneras, dos de las cuales ya se mencionaron: robo y devoluciones que se reportan mal o incluso no se reportan. Veamos una lista de posibles formas en las que los errores pueden entrar en el sistema de registro del inventario: robo, daño, fallo al registrar al recibir, inventario extraviado, SKU mal etiquetadas y muchos otros. Asimismo, para los sistemas automatizados de inventario perpetuo, el error puede presentarse en el registro del inventario a través del sistema de punto de venta (POS). Por ejemplo, si un comprador pone dos latas de sopa de fideos con pollo en la caja registradora junto con tres latas de sopa de frijol y tocino, dos latas de sopa de almejas, cinco latas de sopa de champiñones cremosa, una lata de sopa de tomate y 17 latas de la sopa de chicharos batidos, y el cajero escanea una lata de sopa de fideos con pollo y luego marca "× 30", el registro del inventario de sopa de fideos con pollo será mucho menor de lo que realmente es, y las otras latas de sopa tendrán registros del inventario que sean demasiado altos.

Otra forma de sesgo que puede ocurrir en el sistema de inventario perpetuo es mediante errores en el archivo de datos del artículo. Por ejemplo, suponga que el archivo del artículo indica que hay 24 unidades por caja, pero el fabricante cambió la cantidad de los paquetes en la caja a 12. Entonces, cada vez que se recibe una caja, parecerá que el inventario disponible se habría incrementado en 24 unidades cuando en realidad sólo ha aumentado en 12 unidades. Este tipo de problema, así como cualquier sesgo positivo en los registros del inventario, puede conducir al inventario fantasma, que

existe cuando los registros del inventario sugieren una cantidad de inventario disponible que está arriba del punto de pedido. Cuando existe inventario fantasma, el sistema de inventario automatizado no realizará pedidos para el producto, incluso cuando éste se agote, lo cual conduce a desabastos que persisten hasta que se corrige el error.

Se podría pensar que con la tecnología de la información actual se han solucionado todos los temas asociados con registros del inventario precisos. Éste definitivamente no es el caso. La inexactitud en los registros del inventario sigue siendo un problema relevante en la industria, sobre todo en el comercio minorista. Dado el nivel del problema, ¿qué se puede hacer? En el extremo, son posibles las auditorías del inventario de pared a pared. Aquí es donde se cuenta todo el inventario. Imagine un supermercado que tiene tanto comestibles como mercancía en general. Puede haber hasta 150,000 SKU en 200,000 pies cuadrados. Piense cuántas horas-hombre tomaría y cuánto costaría. Para un minorista, ¿cuántas veces podría realizarse eso al año por tienda? Se necesitaría un ejército de personas para hacerlo de manera regular para todas las tiendas. Los conteos cíclicos son una alternativa a las auditorías de pared a pared. Con los conteos cíclicos sólo se cuentan conjuntos pequeños de artículos. En un entorno minorista, algunas SKU sólo pueden venderse una vez cada pocas semanas. En tales situaciones, no tiene sentido contarlas frecuentemente. Sin embargo, para las SKU de alto valor y/o alto volumen, especialmente aquellas que tienen problemas de forma consistente, tendría más sentido hacer un inventario físico con más frecuencia. Del mismo modo, muestras aleatorias de SKU pueden tener conteos de ciclo. También, si algunos artículos no se han vendido durante demasiado tiempo, posiblemente como resultado de un inventario fantasma, entonces se pueden realizar los conteos de ciclo de esas SKU.

Desafíos de implementación y desafío al proceso titular

No es raro encontrar situaciones que no encajen perfectamente en los temas que hemos analizado, incluyendo los procesos de reabastecimiento y otros temas. Sin embargo, comprender esos temas resulta esencial para entender procesos más complejos, porque en muchas situaciones uno de los modelos funciona con fines de estimación, aunque en la superficie no parezca encajar. Veamos un ejemplo.

Un centro de distribución (DC, por las siglas de *distribution center*) pide un gran número de productos de las fábricas de un proveedor. Cada semana, el DC revisa la posición de inventario (IP, por las siglas de *inventory position*) de cada producto. La revisión comienza con productos que están fuera de inventario o con una IP muy baja. Si la IP del producto está por debajo del punto de pedido (ROP), entonces se realiza un pedido para el artículo y se fija la cantidad del pedido (Q). No obstante, si $Q + IP$ es menor que el pedido hasta el nivel (OUL), entonces, se piden (k) múltiplos de Q hasta que $kQ + IP > OUL$. La cantidad total pedida de todos los productos juntos no puede exceder 40,000 libras. Por lo tanto, si 40,000 libras se alcanzan antes de que se hayan revisado todos los artículos, se hace un pedido y no se colocará otro sino hasta la próxima semana, aunque algunos otros artículos ya estén por debajo de su punto de pedido. Por otro lado, si todos los productos que

están en su punto de pedido o por debajo suman menos que 40,000 libras, entonces, se piden los productos adicionales para llegar tan cerca de 40,000 libras como sea posible. El proveedor envía estos pedidos de cinco fábricas diferentes a un DC del proveedor donde una puerta del muelle está dedicada para este cliente.

Una fábrica tarda un día en enviar un pedido, otra dos días, otra tres días, otra cuatro días y otra cinco días. El tiempo de tránsito de cada una de las fábricas al DC del proveedor es de un día. Conforme llega el producto al DC del proveedor, el producto se coloca frente a la puerta del muelle cuyo destino es el DC del cliente. Este proceso de varias fases dura un día. Una vez que llegan todos los productos de las cinco fábricas, se envía el pedido desde el DC del proveedor al DC del cliente. Esto toma un día. Toma un día para que el DC del cliente reciba el producto y lo coloque en su posición en el DC. ¿Cómo determinaría el tiempo entre las revisiones para un determinado producto en este proceso? ¿Cuál es el plazo de entrega para un determinado producto?

Este ejemplo se ve más complicado de lo que realmente es: ya que el proveedor no envía sino hasta que se coloca la carga del camión, el DC del minorista sólo tiene que considerar el plazo de entrega más largo del artículo. Por lo tanto, una fábrica tarda cinco días en enviar el producto a su propio DC y el tiempo de tránsito desde la fábrica hasta el DC del proveedor es un día, un día para colocarlo en el DC del proveedor, un día para el envío al DC del minorista y un día para recibir y ordenar. En total, el plazo de entrega es de nueve días porque la fábrica más lenta es el cuello de botella y se utiliza para determinar el plazo de entrega total. El resto del proceso se puede modelar mediante la simulación de eventos discretos.

Notas

1. Esto esencialmente aumenta el inventario de seguridad.
2. Carlson, M., y J. Miltenburg. "Using the Service Point Model to Control Large Groups of Items". *OMEGA* 16(5) (1998): 481-489.
3. Especialmente desde una perspectiva matemática.
4. Zipkin, P. H. Capítulo 8 en *Foundations of Inventory Management*. Nueva York: Irwin, 2000.
5. Los pedidos pendientes de surtir son otra hipótesis típica en los modelos matemáticos del inventario.
6. Vea Greene, William H. *Econometric Analysis, 5a. ed.* Pearson Education India, 2003, para un estudio más completo de la distribución normal censurada.
7. Fisher, Marshall L. y J. H. Hammond. "Coping with Demand Uncertainty at Sport Obermeyer". *Harvard Business Review* 72.3 (1994): 90.
8. Para un tratamiento cuidadoso, consulte Vollman, T. E., W. L. Berry y D. C. Whybark. *Manufacturing Planning and Control Systems, 3a. ed.* Homewood, IL: Irwin, 1992.

9. Ballou, Ronald H. "Expressing Inventory Control Policy in the Turnover Curve". *Journal of Business Logistics* 26.2 (2005): 143-164. Ballou, Ronald H. "Estimating and Auditing Aggregate Inventory Levels at Multiple Stocking Points". *Journal of Operations Management* 1.3 (1981): 143-153.
 10. Eroglu, Cuneyt y Christian Hofer. "¿Lean, Leaner, Too Lean? The Inventory-Performance Link Revisited". *Journal of Operations Management* 29.4 (2011): 356-369. Eroglu, Cuneyt y Christian Hofer. "Inventory Types and Firm Performance: Vector Autoregressive and Vector Error Correction Models". *Journal of Business Logistics* 32.3 (2011): 227-239.
 11. Éste es un modelo de regresión log-log para que los coeficientes de regresión se puedan interpretar como estimaciones de la elasticidad.
 12. Waller, Matthew A., Heather Nachtmann y Justin Hunter. "Measuring the Impact of Inaccurate Inventory Information on a Retail Outlet". *International Journal of Logistics Management* 17.3 (2006): 355-376.
-

Administración de los flujos de inventario en la cadena de suministro

Agrupamiento de componentes de riesgo

La *agrupación de riesgos*,¹ el *efecto de cartera* y la *agregación del inventario de seguridad* se refieren a lo mismo, lo cual denominaremos agrupación de riesgos; éste es el fenómeno mediante el cual la combinación de las corrientes de demanda reduce la cantidad de inventario de seguridad, debido a que la suma de variables aleatorias tiene menores niveles de incertidumbre relativa, que la cantidad agregada de incertidumbre de las variables aleatorias individuales. Esto es cierto siempre y cuando la correlación de las variables aleatorias sea menor que uno. La implicación sería que se requiere menos inventario de seguridad. Por ejemplo, si se cumple la demanda de dos mercados diferentes a partir de dos centros de distribución, se requeriría menos inventario de seguridad que si sólo un centro de distribución atendiera a ambos mercados, dejando igual todo lo demás, siempre y cuando la correlación de la demanda sea inferior a uno.

Suponga que la demanda de una SKU tiene una desviación estándar de 4 en el mercado atendido por el centro de distribución 1 y una desviación estándar de 3 en el mercado atendido por el centro de distribución 2, y que la demanda no está correlacionada. Suponga también que ambos centros de distribución tienen un plazo de entrega de un día y que multiplican la desviación estándar de la demanda durante el plazo de entrega por 3 para obtener el inventario de seguridad. Entonces, actualmente el centro de distribución 1 tiene $4 \times 3 = 12$ unidades de inventario de seguridad y el centro de distribución 2 tiene $3 \times 3 = 9$ unidades de inventario de seguridad, que es de $12 + 9 = 21$ unidades agregadas.

Ahora, si se combinan ambos centros de distribución, la nueva desviación estándar es $\sqrt{4^2 + 3^2} = 5$, por lo que el inventario de seguridad es $5 \times 3 = 15$ unidades, que es casi un 30 por ciento de reducción en el inventario seguridad requerido.

Por tanto, si las demandas están correlacionadas, se requiere una modificación.

$X_1 =$ variable aleatoria de la demanda de la SKU 1

$X_2 =$ variable aleatoria de la demanda de la SKU 2

Var = varianza

$\rho =$ correlación

Entonces, la desviación estándar de la suma de las dos variables aleatorias es

$$\sqrt{\text{Var}(X_1 + X_2)} = \sqrt{\text{Var}(X_1) + \text{Var}(X_2) + 2\rho(X_1, X_2)\sqrt{\text{Var}(X_1)\text{Var}(X_2)}}$$

Utilizando el ejemplo anterior y suponiendo que la correlación entre las demandas es 0.1, entonces,

$$\begin{aligned} & \sqrt{\text{Var}(X_1) + \text{Var}(X_2) + 2\rho(X_1, X_2)\sqrt{\text{Var}(X_1)\text{Var}(X_2)}} \\ &= \sqrt{16 + 9 + 2 * 0.1 * \sqrt{16 * 9}} \\ &= \sqrt{25 + 2 * 0.1 * 12} \\ &= \sqrt{25 + 3.2} \\ &= \sqrt{28.2} \approx 5.3 \end{aligned}$$

Y $5.3 \times 3 = 15.9$, que es aún menor que 21. De hecho, sólo será igual si $\rho(X_1, X_2) = 1$. Recuerde que $\rho(X_1, X_2) \in (-1, 1)$. En el ejemplo anterior, si $\rho(X_1, X_2) = -1$, entonces

$$\begin{aligned} & \sqrt{\text{Var}(X_1) + \text{Var}(X_2) + 2\rho(X_1, X_2)\sqrt{\text{Var}(X_1)\text{Var}(X_2)}} \\ &= \sqrt{16 + 9 + 2 * (-1) * \sqrt{16 * 9}} \\ &= \sqrt{25 + 2 * (-1) * 12} \end{aligned}$$

$$= \sqrt{25 - 24}$$

$$= \sqrt{1} = 1$$

Además, en el ejemplo anterior, si $\rho(X_1, X_2) = 1$, entonces

$$\sqrt{\text{Var}(X_1) + \text{Var}(X_2) + 2\rho(X_1, X_2)\sqrt{\text{Var}(X_1)\text{Var}(X_2)}}$$

$$= \sqrt{16 + 9 + 2 * (1) * \sqrt{16 * 9}}$$

$$= \sqrt{25 + 2 * (1) * 12}$$

$$= \sqrt{25 + 24}$$

$$= 7$$

Y $7 \times 3 = 21$ unidades, la misma cantidad del inventario que se requeriría en conjunto si se mantuvieran separados los centros de distribución.

La agrupación de riesgos puede ocurrir combinando centros de distribución, pero también puede ocurrir de otras maneras. Si dos productos son sustitutos exactos, tal vez dos marcas de lápices amarillos número 2 en una tienda minorista, la eliminación de una de las SKU tiene el mismo efecto, suponiendo que el objetivo del nivel de servicio siga siendo el mismo.

Este concepto también suele ser útil para el pronóstico. Se puede pronosticar de forma agregada con mayor precisión que en un nivel desagregado. Por ejemplo, en general, se pronostica con más exactitud para una SKU en 100 tiendas de lo que se pronosticaría en una sola tienda. También se puede pronosticar normalmente en intervalos de tiempo más grandes que en intervalos de tiempo más cortos. Por lo general es cierto que usted puede pronosticar más exactamente para una determinada SKU en un nivel mensual, que en un nivel diario. El concepto de la agrupación de riesgos se produce en muchas áreas de la administración de la cadena de suministro y en muchas otras disciplinas, como las finanzas, donde lo llaman el efecto de cartera.

Como vimos, la agrupación de riesgos es por los nombres del efecto de cartera y el conjunto del inventario de seguridad, pero también a veces se le llama *ley de la raíz cuadrada*. Aunque realmente no se trata de una ley, por lo que no nos referimos a ella como tal en este libro. Asimismo, la ley de la raíz cuadrada supone que no hay correlación entre las variables aleatorias de la demanda, y esto no suele ser el caso.

Efecto látigo

El efecto látigo (*bullwhip*)² es la ampliación de la incertidumbre en la demanda conforme asciende en la cadena de suministro. Por ejemplo, la incertidumbre del punto de venta (POS) sería menor que la incertidumbre de los pedidos que enfrenta el centro de distribución minorista, la cual sería menor que la incertidumbre de los pedidos que enfrenta el proveedor. Es una de las razones por las que se ha vuelto popular para los minoristas compartir datos del POS con sus proveedores, ya que da a éstos una mejor estimación de la demanda que los pedidos, pues los pedidos tienen más ruido que el POS. Sin embargo, hay otro lado de la moneda y es que los datos del pedido tienen información relevante para el pronóstico, es decir, para el ritmo del proceso de reabastecimiento mismo. Esto es, el propio sistema de reabastecimiento muchas veces tiene un ritmo que puede incorporarse en un pronóstico. Revisaremos esto con mayor detalle más adelante en el capítulo. Primero, volvamos al fenómeno del efecto látigo.

En esta sección examinaremos algunas de las formas como se genera el efecto látigo.³ Una forma de éste se genera a través de lotes de pedidos, donde los pedidos individuales se incrementan más que las ventas. Por ejemplo, los compradores pueden entrar en una tienda y comprar Cheerios todos los días de la semana. Pero la tienda sólo puede ordenar desde el centro de distribución dos veces por semana. Ese lote de pedidos oculta parte de la información detallada sobre la demanda desde la perspectiva del centro de distribución minorista. El centro de distribución minorista podría entonces recibir pedidos de cada una de las 20 tiendas, que a su vez hacen pedidos al proveedor una vez por semana, reduciendo aún más la cantidad de información de demanda en los datos del pedido. Veamos un ejemplo extremo para ilustrar la idea. Suponga que en el día 1, las ventas de Cheerios en la tienda 1 aumentan diez veces por día y, luego, en el día 3, la tienda 1 coloca un pedido en el centro de distribución que es diez veces el tamaño de su pedido típico. Una semana después, el día 10, el centro de distribución hace un pedido al proveedor mucho mayor que el tamaño de su pedido típico. Por lo que, claramente, el proceso por lotes de pedidos origina un retraso en la información respecto de la demanda; en este ejemplo, el retraso es de diez días. El procesamiento por lotes de pedidos puede ocultar tendencias y otros patrones, pero también simplemente retrasa la información sobre los cambios en la demanda. Es evidente que el procesamiento por lotes de pedidos incrementa el ruido en la información de demanda, lo que conduce a desabastos y a la necesidad de inventario excesivo. Asimismo, puede resultar en la necesidad de un transporte acelerado, lo que aumenta los costos de transporte.

El efecto látigo también puede originarse por errores en los pronósticos que se utilizan para crear las órdenes; esos errores podrían introducirse a través del error humano en la estimación, o a través del método de pronóstico en sí, o por ambos. Por ejemplo, si se utiliza un método de pronóstico de tendencias, como el suavizamiento exponencial de segundo orden, conocido también como modelo de Holt, cuando de hecho no hay tendencia, y si se usa una constante de suavizamiento alta en el modelo, es probable que habrá pronósticos altos en la creación de algunos pedidos y pronósticos bajos en otros. Esto se amplía especialmente a medida que aumenta el horizonte temporal del pronóstico.



Si se utiliza una constante de suavizamiento alto para actualizar la estimación del componente de tendencia del pronóstico, el cambio más reciente en las ventas se representará más persuasivamente en el componente de tendencia. Entonces, si el pronóstico abarca más en el futuro, como sería con el mayor procesamiento por lotes de pedidos, el error de la falsa tendencia, ya sea hacia arriba o hacia abajo, se magnifica.

Hay varias formas de medir el efecto látigo, pero analizaremos el método más directo, es decir, la proporción de las varianzas. ¿Qué proporciones dependen de donde se quiere medir el efecto látigo? Por ejemplo, si desea medir el efecto látigo generado por un nodo, puede medir la proporción de la varianza de los pedidos con la varianza de las ventas. Si quiere medir de un escalón a otro, entonces podría, por ejemplo, medir la varianza del POS en todas las tiendas minoristas propiedad de un minorista y la varianza de todos los pedidos de todas las tiendas minoristas.

Ya que el costo primario del efecto látigo es el exceso de inventario —es decir, el exceso de inventario de seguridad—, el aumento de los desabastos y/o el incremento de los costos de transporte para una determinada SKU, la medición del efecto látigo es más significativa al nivel de la SKU. Una serie de publicaciones hablan acerca del efecto látigo a nivel de la industria, y que probablemente vale la pena considerar para la economía pero, para la administración del inventario, no tiene mucho sentido. Del mismo modo, el efecto látigo a los niveles mensual, trimestral o anual no es significativo para las SKU que se reponen diaria y semanalmente. En general, la medición del efecto látigo es más significativa desde una perspectiva de administración de la cadena de suministro, cuando se encuentra al nivel de SKU y en intervalos de tiempo que coinciden con los ciclos de reabastecimiento.

Utilizando la herramienta de simulación de eventos discretos desarrollada en el capítulo 5, “Simulación de eventos discretos de los procesos de inventario”, usted puede investigar cómo un único nodo puede generar o reducir el efecto látigo. Mediante la simulación de eventos discretos se pueden investigar los diversos procesos y parámetros de reabastecimiento, para conocer el impacto en el efecto látigo. Usando el modelo desarrollado en el capítulo 5, por ejemplo, se podría establecer la varianza de la demanda alta, la cantidad pedida cercana a la media de la demanda y el inventario de seguridad alto, y así descubriría cómo un sistema de reabastecimiento puede reducir el efecto látigo o suavizar la producción. La producción suavizada se produce cuando la varianza de los pedidos es menor que la varianza de la demanda. Ya hemos mencionado que, aunque se puede obtener una comprensión más clara de la demanda observando los datos del punto de venta, hay información útil en los datos del pedido. Considere el ejemplo que acabamos de describir cuando la varianza de la demanda es alta, la cantidad de pedido de la tienda se ajusta a la media de la demanda y el inventario de seguridad es alto, entonces la tienda pedirá la misma cantidad casi todos los días, mientras que la demanda tendrá una gran varianza. Si la entidad suministradora fijara el inventario de seguridad con base en los datos del punto de venta, tendría demasiado inventario de seguridad, ya que la incertidumbre real en la cantidad solicitada es baja.⁴

La figura 7-1 compara las ideas de la agrupación de riesgos y el efecto látigo.

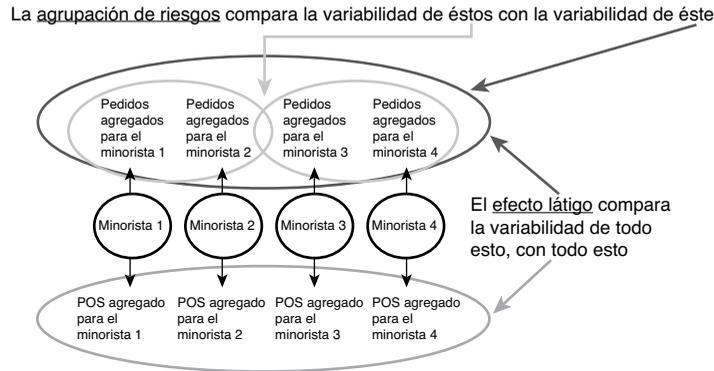


Figura 7-1 Efecto látigo y agrupación de riesgos.

En la figura 7-1, el renglón inferior representa el POS agregado para cuatro minoristas diferentes y el círculo que los rodea representa todo los POS que se agregan. Suponga que los cuatro centros de distribución de estos minoristas son abastecidos por un único centro de distribución proveedor para esta SKU específica. Entonces, el nivel de análisis del efecto látigo apropiado es la agregación de estos pedidos. El renglón de en medio representa a los minoristas que procesan la demanda y la convierten en pedidos. Esto implicaría varios niveles de pedidos, posiblemente incluyendo los pedidos de las tiendas a los centros de distribución minoristas y, luego, los pedidos de los centros de distribución minoristas a los proveedores. En la figura 7-1, dice, por ejemplo, “Pedidos agregados para el minorista 1”, los cuales pueden incluir pedidos desde un centro de distribución o desde 100 centros de distribución. Por lo tanto, aunque estos pedidos vienen de cuatro minoristas, el número de envíos a los lugares es probablemente mucho mayor.

Las medidas del efecto látigo comparan el nivel de variabilidad del renglón superior, donde los agregados representan los pedidos de los minoristas, en la fila inferior. Recuerde, este análisis es para una SKU, ya que el proveedor tiene que mantener el inventario para una sola SKU. La agrupación de riesgos se podría utilizar para analizar el costo incremental asociado con la división del centro de distribución en dos centros de distribución diferentes. Si el proveedor lo hizo y lo instaló en un centro de distribución que atiende a los minoristas 1 y 2, y otro centro de distribución atiende a los minoristas 3 y 4, entonces se necesitarían dos cálculos del efecto látigo en vez de uno. Desde luego, esto requeriría que el proveedor tuviera más inventario de seguridad para alcanzar el mismo nivel de servicio, a menos que uno de los nuevos centros de distribución estuviera mucho más cerca de los centros de distribución de los minoristas, de manera que el plazo de entrega disminuyera lo suficiente para compensar la diferencia.

Posponer el inventario

Benetton hizo ropa en Italia y vendió una gran cantidad de productos en tiendas de Estados Unidos, principalmente ubicadas en centros comerciales. Benetton adquirió celebridad por tener un tema

de color específico, y fue reconocido como muy bueno al reconocer las tendencias de color en el mercado.

Las tendencias de color son algunos de los estilos de ropa más inconstantes. Es difícil juzgar qué colores serán populares para una temporada en particular. El método de Benetton era ofrecer colores lisos en sus líneas de ropa que buscaban incluir los colores de moda. Invariablemente, sin embargo, al final de una temporada Benetton tendría exceso de inventario de ciertos colores, lo que provocó rebajas para desplazar los productos. Las rebajas a veces se fijan a un precio inferior al costo de producción tan sólo para vender o eliminar el inventario. Al igual que muchos en la industria del vestido, Benetton notó que se agotaría la ropa de colores populares y tendría que rebajar la de los colores restantes porque nadie los querría.

Tradicionalmente, el proceso de producción de ropa de Benetton implicaba tomar paños blancos desteñidos, luego teñirlos con una especificación de color determinada, seguido por coser la prenda, digamos, un suéter. Finalmente, el fabricante enviaba el producto de Italia a Estados Unidos.

El proceso de teñido era rápido e intensivo en cuanto a capital, mientras que el proceso de tejer y acoplar era laborioso y largo. La pregunta para Benetton se convirtió en “¿cómo tratar el problema del exceso de inventario de colores al final de una temporada?”. Las respuestas evidentes podrían ser “intentar acelerar el proceso acoplando más rápido” o “encontrar una máquina que teja más rápido”.

Benetton decidió modificar el proceso de tejer y ajustar la prenda y luego teñirla. Esto no era convencional. Pero no había ninguna razón para no hacerlo con el estilo de color liso. El hecho de posponer fue beneficioso porque, a medida que se acercaba la temporada, Benetton fue capaz de predecir con mayor precisión las tendencias de color que determinarían las ventas. Benetton, en este caso, logró producir colores de mayor demanda y reducir el exceso de inventario al final de la temporada, minimizando la producción de los colores no deseados.

En general, el retraso de la producción o distribución se conoce como *postergación*.⁵ Otra definición establece que la postergación⁶ es el número de etapas de producción y distribución que se retrasan antes de recibir un pedido del cliente. La postergación permite a una empresa hacer más rentable la personalización del producto. También se puede utilizar para retrasar los costos de transporte y de almacenamiento.

La postergación puede permitir un mantenimiento más centralizado del inventario y, por consiguiente, posiblemente incrementar el inventario de ciclo en la ubicación centralizada, mientras se reduce en las siguientes ubicaciones donde se mantiene el inventario. También puede resultar en menos inventario de seguridad en el inventario de artículos terminados.

La *especulación* es semejante a lo opuesto de la postergación. La especulación implica realizar varias actividades de valor agregado con mucha anticipación a la demanda, incluyendo el envío anticipado del producto a los lugares donde se prevé que ocurrirá la demanda, personalizando así los productos antes de recibir los pedidos. La especulación permite a una empresa ser la primera o satisfacer la

demanda inicial. Por lo tanto, aunque posponer suele facilitar el ahorro de costos, se debe comparar con los beneficios de la especulación. Sin embargo, es posible implementar una estrategia mixta, incluyendo el uso de la especulación sobre parte de la producción y la postergación sobre el resto de la misma. Además, si usted ve la especulación y la postergación como un continuo, logrará imaginar una estrategia de cartera donde diferentes porciones de la demanda esperada se producen y se distribuyen en distintos puntos del continuo. Parecería que la función de marketing de una organización impulsaría la especulación, en tanto que la organización de la cadena de suministro presionaría por la postergación. La administración de la cadena de suministro es responsable de encontrar áreas de producción y distribución donde se pueda implementar la postergación sin poner en riesgo las oportunidades de marketing y ventas.

Fusión en tránsito

La *fusión en tránsito*⁷ es un método para reunir componentes o artículos que tienen orígenes dispares pero un destino común. Por ejemplo, suponga que una compañía compró equipo de oficina de tres fuentes en el suroeste de Michigan, y que todos juntos llenan un remolque de 53 pies para ser entregado en Phoenix, Arizona. En vez de pagar por tres camiones diferentes desde el suroeste de Michigan hasta Phoenix, los tres envíos se podrían combinar en el suroeste de Michigan y, luego, en un solo camión llegar hasta Phoenix. Éste es un tipo de consolidación del envío. Sin embargo, la fusión en tránsito también se puede ensamblar en tránsito donde los componentes provienen de múltiples fuentes, pero se necesitan entregar como una sola unidad. La fusión en tránsito puede reducir los costos de transporte como se ha explicado. También puede reducir los costos de inventario para la empresa receptora porque todo llega junto y listo para su uso. Sin fusión en tránsito, es posible que los componentes lleguen y luego no se puedan utilizar, sino hasta que otros componentes lleguen y se ensamblen, aumentando el costo de mantenimiento del inventario.⁸

Inventario administrado por el proveedor

El *inventario administrado por el proveedor*⁹ (VMI, por las siglas de *vendor managed inventory*) es un proceso de administración del inventario mediante el cual el proveedor toma la decisión acerca de lo oportuno del reabastecimiento, la cantidad o de ambos. Para que el VMI funcione, el proveedor debe tener, por lo menos, conocimiento de la posición del inventario del cliente. Sin embargo, sería mejor que el proveedor que use el VMI tenga también conocimiento de los datos del punto de venta, ya que la administración del inventario requiere pronosticar. La idea clave detrás del VMI es que el proveedor conozca la demanda de otros clientes para que el proveedor pueda tomar decisiones acerca de los envíos de los pedidos y, al considerarla, suavizar su propia demanda. Para suavizar su propia demanda, el proveedor necesitará tener menos inventario de seguridad y poco inventario pendiente de surtir. Los inventarios pendientes de surtir del proveedor dan lugar a una incertidumbre del plazo de entrega desde la perspectiva del cliente, lo cual puede resultar en que los clientes tengan más inventario de seguridad

o experimenten más inventarios pendientes de surtir o ambos escenarios. Para implementar el VMI, el cliente no solamente necesita compartir la posición de inventario y los datos de demanda, sino que el cliente también tiene que trabajar con el proveedor para entender sus propios objetivos de desempeño, como objetivos de inventario y objetivos de tasa de cumplimiento. Los clientes también deben tener cuidado en entender cómo se deben calcular y actualizar estas métricas. Los clientes son siempre cautelosos al respecto porque es posible que el proveedor tome una decisión que haga que su competidor mejore a sus expensas. Otra preocupación es que si un proveedor está teniendo un mes donde las ventas están bajas, el proveedor podría colocar muchos pedidos, lo cual mejoraría sus ventas. Desde luego, si las métricas se exponen y se acuerdan, esto se detectaría. Además de la posibilidad de una mejor administración del inventario, a los clientes les puede gustar el VMI porque transfiere parte de los costos laborales del cliente al proveedor.

Consignación

El inventario administrado por el proveedor se confunde a veces con el concepto de *consignación*, que es cuando el proveedor tiene el inventario en las instalaciones del cliente hasta que el cliente vende el inventario. El inventario y la consignación administrados por el proveedor son dos decisiones independientes, ya que el VMI se puede implementar con o sin consignación. A los clientes les gusta la consignación porque les quita gran parte de su riesgo y también puede ayudarles con el flujo de efectivo. Por otro lado, debido a que reduce su riesgo de no vender, el cliente podría no esforzarse por vender el inventario.¹⁰ Saber si un cliente está mejor con la consignación no es tan sencillo como parecería a primera vista. Suponga que las condiciones de venta con el proveedor son 30 días netos, si no hay consignación, y con la consignación, el cliente tiene que transferir los fondos el mismo día. Si el cliente está cambiando el inventario cada semana, el cliente está mejor sin consignación en términos del tiempo del ciclo de conversión en efectivo. Sin consignación, el cliente recibe el inventario el día 1 y lo vende el día 7, pero no tiene que pagar al proveedor sino hasta el día 30, lo cual significa que el cliente recibe el efectivo 23 días antes de que tenga que pagar al proveedor. Con la consignación, el cliente recibe el dinero y paga al proveedor el mismo día en este ejemplo. El punto es que, al analizar los beneficios y costos de la consignación, usted debe considerar (1) cómo afecta a los incentivos, (2) los términos de venta con consignación y sin consignación, y (3) la tasa de rotación del inventario.

Consignación inversa

La *consignación inversa*¹¹ sucede cuando el cliente compra el producto y es su dueño, pero no quiere que el proveedor lo envíe sino hasta una fecha posterior. Esto puede suceder cuando (1) el cliente está a máxima capacidad para almacenar el inventario, (2) hay una escasez del producto en el mercado y el cliente aún no sabe qué centro de distribución o ubicación necesitará el inventario, y (3) hay un determinado trato especial, una promoción, que el cliente quiere aprovechar, aunque éste aún no necesita

el inventario. También, hay algunas otras razones, pero en algunos aspectos esto se puede considerar una forma de posponer porque en esencia está retrasando el movimiento del inventario.

Planeación, pronóstico y reabastecimiento colaborativos

La *planeación, el pronóstico y el reabastecimiento colaborativos*¹² (CPFR, por las siglas de *collaborative planning, forecasting, and replenishment*) constituyen un proceso de reabastecimiento del inventario que implica la colaboración entre un cliente (generalmente un minorista) y un proveedor, que se implementa de muchas maneras diferentes, pero el objetivo es llegar a un acuerdo en cuanto a los pronósticos y los objetivos del reabastecimiento. A lo largo de los años, se han propuesto varias directrices sobre cómo debería funcionar el proceso de CPFR.^{13,14} Éstas no las veremos aquí, lo que analizaremos son los conceptos clave detrás del proceso. Uno de los conceptos fundamentales detrás de la CPFR es que los minoristas y los proveedores tienen diferentes tipos de información que, en conjunto, pueden resultar en mejores decisiones de pronóstico y reabastecimiento. Por ejemplo, los proveedores tienen que conocer las ventas de todos los minoristas, pero los propios minoristas conocen mejor a sus propios compradores y los mercados específicos donde se encuentran. Un proveedor podría ver una tendencia que se desarrolla en todo el país más rápidamente que algunos minoristas, en especial los minoristas regionales. Sin embargo, un minorista está consciente de los cambios que está haciendo en términos de surtido, remodelación, demografía local, construcción de carreteras, etcétera.

Empujar contra jalar

Un sistema de inventario de empujar pronostica la demanda y envía el inventario con base en el pronóstico, mientras que un sistema de inventario de jalar envía el inventario con base en el inventario que se utiliza o se compra. ¿Un sistema de reabastecimiento del inventario (Q,ROP) es de empujar o jalar? Cuando se ha tomado inventario suficiente, se envía el inventario; es decir, el ROP es el detonante para enviar el inventario cuando se ha eliminado lo suficiente. En ese sentido, se trata de un sistema de jalar. Sin embargo, el punto de pedido suele basarse en un pronóstico, lo que lo convierte en un sistema de empujar. Considere una situación en la cual el punto de pedido es ROP_1 , pero en el momento t el pronóstico aumenta de manera que el punto de pedido aumenta a ROP_2 . Ahora, un pedido se activará incluso si no se ha eliminado ningún inventario. Así que, técnicamente, un proceso de reabastecimiento (Q,ROP) es un híbrido; el mismo argumento se puede hacer sobre el proceso de reabastecimiento (T,OUL). Ambos procesos de reabastecimiento del inventario se sitúan en el lado de jalar del continuo empujar contra jalar, en comparación con un sistema de planeación de necesidades de material (MRP, por las siglas de *material requirements planning*) o un sistema de planeación de necesidades de distribución (DRP, por las siglas de *distribution requirements planning*).¹⁵ En estos sistemas, se empuja el inventario con base en un pronóstico en el horizonte de planeación futura.

Desarrollado en Japón, un sistema kanban¹⁶ es el arquetipo de un sistema de jalar y se utiliza normalmente en un ambiente de producción. Hay muchos diseños de sistemas kanban, pero uno de los

más sencillos es un sistema kanban de dos contenedores. Imagine que en el piso de la fábrica, en una estación de trabajo, usted tiene un contenedor lleno de componentes utilizados en la producción de algún producto. Cuando el contenedor está vacío se lleva al área de almacenamiento de inventario donde está otro contenedor lleno. El contenedor vacío se deja en el área de almacenamiento del inventario y el contenedor lleno se lleva a la estación de trabajo en el piso de la fábrica. En vez de mover un contenedor, muchas veces se pasa una tarjeta kanban al área de almacenamiento del inventario. La tarjeta kanban incluye información sobre cuánto mover, hacia dónde, cuándo se debe hacer, etcétera. Esto permite un inventario adicional antes de que el contenedor esté totalmente vacío. En ese sentido, es un proceso (Q,ROP). El tamaño del contenedor determina Q, y el tamaño del contenedor o la información en la tarjeta kanban determinan el punto de pedido. En el sistema kanban de dos contenedores descrito anteriormente, Q y ROP son iguales al tamaño del contenedor. Muchos aspectos únicos del sistema kanban son de naturaleza visual; usted puede ver cuando se necesita reabastecer algo.

Separación de canales

La *separación de canales*¹⁷ es el concepto de que los canales de marketing y los canales de distribución física no necesitan ser los mismos. Por ejemplo, la empresa A puede comprar de la empresa B y, luego, vender a la empresa C, pero el producto puede fluir de la empresa B a la empresa C. Ésa es la separación de canales porque el canal de comercialización es diferente del canal de distribución física: en este ejemplo, el canal de marketing fluye de la empresa B a la empresa A y después a la empresa C, pero el canal de distribución física fluye de la empresa B a la empresa C, lo cual en muchos casos reduce costos de transporte, costos de mano de obra y costos de inventario. La separación de canales se puede ver frustrada por la falta de confianza. Por ejemplo, si la empresa A no confía en la empresa B, porque la empresa A piensa que la empresa B podría dejar a la empresa A fuera de la relación con la empresa C, entonces probablemente no ocurrirá la separación de canales. A veces la empresa A ayudará a la empresa B a establecer operaciones de manera que la empresa B pueda imprimir etiquetas, de forma que la empresa C ni siquiera sepa que el producto viene directamente de la empresa B. Este tipo de arreglo se conoce como *envío directo*. Amazon.com, por ejemplo, ofrece servicios de envío directo a las empresas para que todo lo que tengan que hacer sea marketing: Amazon.com maneja el almacenamiento y el envío del inventario.

Optimización de la colocación del inventario

La optimización de la colocación de inventario tiene que ver con dónde se almacena el inventario —especialmente el inventario de seguridad— en la cadena de suministro. Como ya se señaló, un nodo puede pedir frecuentemente cantidades cercanas a la demanda, con altos niveles de inventario de seguridad para proteger a los niveles más altos de la cadena de suministro de tener que mantener tanto inventario de seguridad. Sin embargo, con frecuencia el caso que es menos costoso, consiste en mantener el inventario en escalones más altos en la cadena de suministro. En el extremo, las tiendas

suelen estar en lugares de mayor renta, cerca de los centros de población; mientras que los centros de distribución y las fábricas tienden a estar ubicados en zonas rurales lejos de la población donde el arrendamiento es bajo. De manera similar, en las instalaciones de venta minoristas hay altos costos de oportunidad para el espacio de anaquel porque hay una cantidad fija de espacio y cuando el inventario de seguridad se mantiene en el anaquel, hay menos espacio para una mayor profundidad y/o amplitud del surtido. No obstante, para algunas SKU con costos muy altos por falta de inventario, en algunos casos tiene sentido mantener la preponderancia del inventario en la tienda minorista. Sin embargo, la búsqueda de la colocación óptima del inventario, incluidos el inventario de seguridad, el inventario de ciclo, etcétera, requiere un análisis cuidadoso de los costos de transporte, costos de almacenamiento del inventario y costos de inventario pendiente de surtir, y se deben considerar varias opciones de proceso de reabastecimiento de inventario incluyendo el *cruce de andén*.

El impacto de la cadena de suministro global

Hay dos desafíos categóricamente diferentes con la administración del inventario global: (1) la administración del inventario para el abastecimiento global y (2) la administración del inventario para la venta en mercados extranjeros. Éstas son fundamentalmente diferentes y tienen desafíos distintos. La administración del inventario para el abastecimiento global es un reto debido a los largos plazos de entrega, el despacho de aduanas y los problemas de comunicación. La administración del inventario para la venta en los mercados extranjeros es un desafío debido a las diferencias en los sistemas legales, la falta de infraestructura, las diferencias en el comportamiento del consumidor y el comprador, y las reglas y complejidades fiscales. Comenzamos con la administración del inventario para el abastecimiento global.

Al manejar el inventario para el abastecimiento global, es importante considerar varias opciones de transporte y su impacto en el inventario de ciclo, el inventario de seguridad y el inventario en tránsito, porque las diferencias suelen ser significativas. La diferencia entre transporte aéreo y marítimo o por río puede ser de tres a cuatro semanas. Por ejemplo, si la diferencia es de cuatro semanas, la combinación de transporte en ríos/océano y aéreo, el inventario en tránsito se podría reducir en aproximadamente un 90 por ciento. Asimismo, para un determinado nivel de incertidumbre de la demanda, la reducción del inventario de seguridad podría ser de alrededor de 75 por ciento.¹⁸ Desde luego, los costos de transporte también son muy diferentes, pero el punto es que una buena administración del inventario para el abastecimiento global debe considerar cuidadosamente las opciones de transporte y no sólo suponer que un método es mejor que otro. Asimismo, es posible que en algunas circunstancias se utilice típicamente el océano con la asignación para envíos de emergencia por aire, o que algún porcentaje base de la demanda se cubra con el transporte marítimo, en tanto que la parte más incierta de la demanda se cubra con transporte aéreo. Todas esas opciones se deben considerar respecto de todos los costos y objetivos de servicio al cliente. Muchas veces, los costos de producción y de mano de obra son los principales impulsores en las decisiones de abastecimiento cuando, de hecho, se deberían sopesar otros factores como los costos de mantenimiento del inventario, costos de transporte, costos de inventario pendiente de surtir, así como impuestos y costos de cumplimiento normativo. También es importante observar dónde se agregan los costos al inventario. Una prenda de vestir procedente

de una nación asiática, por ejemplo, podría tener la preponderancia de valor agregado en ese país, mientras que el transporte marítimo puede ser una pequeña fracción del costo total de la prenda. Al mismo tiempo, el impuesto sobre la prenda podría ser casi la misma cantidad que el costo de producción en Asia. En consecuencia, tendría sentido utilizar una zona de libre comercio (FTZ, por las siglas de *foreign trade zone*). Si el producto se introduce en Estados Unidos a través de una FTZ, es posible que el impuesto se logre retrasar hasta que el producto salga de la zona libre. Detalles como éste suelen afectar la colocación óptima del inventario en la cadena de suministro.

Cuando los productos son importados, deben pasar por la aduana, y los productos se deben clasificar de acuerdo con un arancel de aduanas armonizado de Estados Unidos (HTSUS, por las siglas de *harmonized tariff schedule of the United States*). El origen del producto y la clasificación del producto tienen un impacto considerable sobre si se impone un arancel y por qué cantidad. En consecuencia, esto tiene un impacto en la inversión en el inventario y en el costo del inventario después de importar el producto, lo cual tiene un impacto en la colocación óptima del producto y en el diseño logístico de la red. Si usted tiene una corbata de seda, donde la seda viene de China, el producto se cose y se maquila en Bangladesh, y se diseña y se vende en una compañía italiana, ¿cuál es el país de origen? Generalmente, desde una perspectiva de costos, usted quisiera que el país de origen fuera uno con el arancel más bajo, pero desde una perspectiva de marketing, es posible que desee que sea del país con más caché. Determinar el país de origen es importante y requiere experiencia de alguien como un agente aduanal. Si un producto tiene un país de origen cuestionable o una clasificación de producto dudosa, puede provocar que los envíos se retrasen en las aduanas, dependiendo del producto y del país donde está ocurriendo la importación.

En la administración del inventario para la venta y distribución en los mercados extranjeros, es difícil hacer muchas generalizaciones. Países en desarrollo en el mismo continente o países desarrollados en el mismo continente pueden variar considerablemente en términos de infraestructura, preferencias de los compradores, homogeneidad del surtido de productos, capacidad de transporte y competencia, disponibilidad de bodega, costos de la tierra, costos de mano de obra o impuesto al valor agregado (IVA).

A medida que una empresa traslada operaciones a un país extranjero para vender o distribuir su producto, el pronóstico puede ser difícil debido al hecho de que el país tiene diferentes eventos culturales y días festivos. Por ejemplo, un minorista que hace operaciones en un país extranjero necesitaría entender las festividades, no sólo para comportamientos comerciales, sino también los comportamientos laborales del personal. En algunos países, la fuerza laboral se traslada a sus ciudades natales en determinados días festivos. Para un minorista, esto tiene implicaciones para pronosticar la demanda, ya que algunas ciudades tienen altas densidades de mano de obra transitoria y, por lo tanto, quizás enfrenten una demanda reducida en esas áreas cuando las personas salen de vacaciones, mientras que las áreas donde la mano de obra va de asueto pueden enfrentar aumento de la demanda. La incorporación de esas diferencias en los procesos de pronóstico y de reabastecimiento parecería superficialmente fácil, pero en realidad puede ser un desafío, sobre todo cuando la empresa empieza a incursionar en un mercado extranjero.

La administración del inventario minorista en los mercados extranjeros suele ser desafiante, especialmente cuando se trata de un mercado homogéneo. Por ejemplo, si bien hay muchos datos demográficos diferentes en Estados Unidos, la tienda de abarrotes en general y el surtido común de mercancías son

relativamente homogéneos, sobre todo en comparación con un país como China, donde hay muchas gastronomías y materias primas diversas que se necesitan para abastecer esos gustos culinarios. En consecuencia, los surtidos minoristas en China son más heterogéneos que en Estados Unidos. En el país asiático, las fuentes de los productos comestibles también son más regionales. Esto deja menos productos para la distribución centralizada. Así que, por un lado, usted tiene surtidos más homogéneos y más abastecimiento regional. Todo eso lleva a la necesidad de más inventario y menor eficiencia de transporte.

Además, la economía del uso de centros de distribución en varios países difiere ampliamente debido a los costos de la tierra, los costos de mano de obra y las regulaciones laborales. Son variables que afectan claramente el nivel óptimo de automatización en un centro de distribución, lo que a su vez afecta a los costos fijos frente a los variables, el rendimiento sobre la inversión y la amortización. En algunos países donde la tierra es relativamente cara, se encuentran centros de distribución que tienen varios niveles y están altamente automatizados, mientras que en los países con bajos costos de la tierra se encuentran extensos centros de distribución con grandes patios. Si la solución óptima es tener un centro de distribución de varios niveles y altamente automatizado, el centro de distribución quizá será más pequeño de lo que sería de otro modo. En un ajuste de distribución minorista esto resultaría en un mayor número de productos que se envían por entrega directa a las tiendas (DSD, por las siglas de *direct store delivery*).

Administración del inventario de productos al por menor y de consumo

Existen tres métodos principales de reabastecimiento de bodegas: (1) entrega directa a las tiendas (DSD), (2) desde el centro de distribución minorista a la tienda, y (3) desde el proveedor (*cruzado por el andén*) a través del centro de distribución hasta la tienda. Con la entrega directa a la tienda, el proveedor entrega el producto a la tienda y, muchas veces, coloca realmente el producto en el anaquel. Si tiene 100 tiendas y recibe entregas de un proveedor 300 días al año, son $100 \text{ tiendas} \times 300 \text{ días} = 30,000$ facturas y documentos de recepción. Eso es sólo para un proveedor. Mientras que si usted recibió un camión del proveedor cada semana en un centro de distribución que atiende a 100 tiendas, entonces, son sólo 52 facturas y documentos de recepción, lo cual reduce los costos de transacción, que pueden ser significativos debido a fallas de coincidencia en la factura: la factura o el documento de recepción o la orden del pedido no coinciden. Cuando ocurre una falla de coincidencia, el departamento de cuentas por pagar tiene que investigar el asunto. Desde la perspectiva de la cadena de suministro, los costos de transporte son más altos que si el producto se acaba de poner en el camión desde el centro de distribución, con todos los demás productos que van a la tienda. Sin embargo, hay beneficios con la DSD. Considere el pan fresco. Las panaderías son locales y el pan caduca rápidamente, por lo que la DSD tiene sentido. Otros beneficios de la DSD incluyen que el conocimiento de los profesionales que entregan la DSD hace que los anaqueles se mantengan más atractivos.

Cruce de andén

Cruce de andén en un escenario de ventas minorista tiene un significado diferente del que tiene en la situación de menos de una carga de camión (LTL, por las siglas de *less-than-truckload*). En la venta al



por menor significa que cuando el producto de un proveedor llega al centro de distribución, se divide con base en pedidos de tiendas específicas y, luego, se coloca en camiones dirigidos a determinadas tiendas. Si la asignación a las bodegas específicas se basa en los pedidos originales de la tienda, en el momento en que se colocó el pedido con el proveedor, entonces, el cruce de andén requiere más inventario para mantener la tienda en los mismos niveles de servicio que tendría si el producto se almacenara en centros de distribución. La razón de ello es que el plazo de entrega a la tienda con el cruce de andén es el plazo de entrega del proveedor al centro de distribución y, después, a través del centro de distribución, y de éste a la tienda. Mientras que, si se mantiene en el centro de distribución, el plazo de entrega correspondiente a la bodega es tan sólo el plazo de entrega del centro de distribución a la tienda. Existe un medio para superar el problema, la *asignación posterior de recibo*, que significa que una vez que el producto llega al centro de distribución para el cruce de andén, el producto se asigna después a las tiendas: no se asigna a las tiendas con base en los requisitos en el momento en que se colocó el pedido con el proveedor.¹⁹ Por consiguiente, sin la asignación posterior de recibo, hay un claro intercambio entre más inventario en las tiendas con el cruce de andén, y más inventario en el centro de distribución sin el cruce de andén, sólo se mantiene el inventario en el centro de distribución. Con la asignación posterior de recibo, los pedidos pueden generarse utilizando la posición del inventario del escalón de distribución y, posteriormente, utilizar un proceso heurístico para la asignación a las tiendas.

Surtido

Las decisiones de surtido suelen basarse en la demanda y en la disponibilidad de espacio, pero esas decisiones tienen un impacto significativo en la administración del inventario y en el pronóstico también. La profundidad del surtido en una categoría tiene que ver con el número de SKU diferentes de un número determinado de marcas en la categoría, mientras que la amplitud del surtido es el número de marcas diferentes que lleva la categoría. En una cantidad fija de espacio, a medida que aumenta el surtido disminuye la capacidad de almacenamiento del inventario por SKU. Esto aumenta el número esperado de unidades pendientes de surtir por ciclo de reabastecimiento. Sin embargo, curiosamente, también puede aumentar el costo de mantenimiento del inventario.²⁰ La razón de ello es que cuando se agrega la SKU n suele haber un menor volumen que cuando se agrega la SKU $n-1$. Es decir, los minoristas tienden a comenzar con las SKU de mayor volumen en sus mercados y, luego, a agregar las SKU adicionales en orden decreciente de volumen. Esto no siempre es cierto, sin embargo en muchos casos sí lo es. A medida que se continúan agregando SKU, con el tiempo, los inventarios pendientes de surtir de los artículos mejor vendidos aumentan y se incrementa el inventario promedio en la categoría. Por supuesto, la necesidad adicional de reabastecer el anaquel para las SKU que se mueven más rápidamente se puede resolver a través de mano de obra adicional de la tienda y de simplemente mover el producto con más frecuencia desde la bodega hasta el anaquel. Esto suele ser difícil durante los periodos de compras más concurridos, cuando es más necesario. Hay un límite de cuánta mano de obra adicional puede resolver el problema de reabastecimiento de los anaqueles.²¹ A medida que se agreguen más SKU, aumentaría la participación de mercado para el minorista, con lo que se agregarán clientes adicionales que tal vez habrían comprado en otros lugares. Éste es uno de los motivos por los

que las decisiones de surtido no pueden hacerse de manera aislada. Sin embargo, se debe intercambiar este efecto enfrentando los inventarios pendientes de surtir adicionales que habría en el anaquel como consecuencia.

Introducciones de nuevos artículos

Las introducciones de nuevos artículos también provocan desafíos similares desde una perspectiva de administración del inventario. Cuando se introduce un nuevo artículo en una categoría, se crea incertidumbre en la administración del inventario y, a menudo, se aprovecha el espacio de una SKU de mayor venta. Las SKU más vendidas suelen tener la mayoría de los revestimientos y son a veces los únicos con revestimientos diversos. En estos casos, la única opción en términos de hacer espacio para el nuevo artículo es de los artículos más vendidos, lo cual supone que ninguna de las SKU existentes en el surtido se elimina. Sin embargo, además de tomar el espacio de las SKU de mayor venta, las introducciones de nuevos artículos tienen una demanda altamente incierta, y es difícil hacer pronósticos para nuevos artículos, debido a la falta de datos históricos. La mayoría de los métodos de pronóstico de ventas se basan en ventas históricas. La mayor parte de las veces, la demanda de nuevos artículos se pronostica simplemente usando el buen juicio de vendedores y gerentes de comercialización. Otro método para el pronóstico de nuevos artículos consiste en utilizar datos históricos de artículos similares, pero esto requiere el conocimiento de qué artículo es similar. Incluso si es similar, eso no implica que las ventas futuras serán equivalentes. Otra fuente de incertidumbre que crean los nuevos artículos es la incertidumbre acerca de la sustitución. Es decir, los nuevos artículos quizás absorban parte de la demanda de artículos existentes, lo que hace más difícil pronosticar su demanda.

Tarima, caja de paquetes, paquete interno y unidades

Las cantidades más comunes de reabastecimiento de las tiendas minoristas son la tarima, la caja de paquetes, el paquete interno y las unidades individuales. En el negocio del club minorista es común reabastecer en cantidades de tarimas y también ocurre en otros formatos minoristas de una manera más limitada, como para las promociones especiales de la exhibición de la tarima minorista. El reabastecimiento de cajas de paquetes tal vez sea la más común, especialmente en el supermercado y los bienes de consumo de movimiento rápido. El reabastecimiento de paquetes internos²² y unidades individuales requiere un proceso de división de paquetes en el centro de distribución. Es decir, en lugar de, por ejemplo, enviar una caja de 24 a una tienda que vende una unidad por semana (24 semanas de suministro), el centro de distribución podría dividir la caja y enviar unidades individuales a cada tienda (una semana de suministro). Lo anterior disminuye los costos de mantenimiento del inventario en las tiendas, pero aumenta los costos laborales en el centro de distribución. En cuanto a las cantidades de paquetes por caja, a menudo se determinan por la necesidad de que las cajas quepan en una tarima y/o la necesidad del cupo total de un camión. Se podría pensar que los proveedores tendrían muchas cantidades diferentes de cajas de paquetes para distintos minoristas y volúmenes, pero en realidad hay muy poca variedad. Por lo tanto, para una tienda, una caja de paquetes puede representar un semestre de suministro, en tanto que en otra tienda minorista representaría una semana de suministro.

Distribución del anaquel minorista

El diseño de los anaqueles comerciales y la asignación del espacio para los productos en aquéllos son aspectos importantes de la administración del inventario. La forma como el producto se coloca en el anaquel puede afectar las ventas.²³ Algunos productos se venden mejor en los extremos de los pasillos o en los extremos de la categoría, mientras que otros se venden mejor en medio. Algunos artículos están mejor posicionados en la parte superior de los anaqueles y otros en la parte inferior. Algunos artículos se venden mejor cuando están cerca de otros artículos específicos que cuando no lo están. Para algunos artículos, tener más inventario de éste en el anaquel aumenta las ventas.²⁴ Esto es especialmente cierto para los artículos que se compran por impulso y menos para los que se buscan *ex profeso*. Algunas investigaciones indican que los compradores tienen problemas para distinguir la variedad de surtido en función de la asignación de espacio en una categoría.²⁵ Como se observa, hay muchas cuestiones a considerar en la disposición de un anaquel de venta minorista, especialmente desde la perspectiva de la demanda. Todas estas decisiones como son, dónde se coloca el artículo, la SKU junto a la cual se coloca, la cantidad de inventario en el anaquel, etcétera, afectan la demanda y, por consiguiente, deberían afectar el pronóstico, el punto de pedido, y la cantidad de pedido o la cantidad pedida hasta el nivel.

Otro desafío con la disposición del anaquel desde una perspectiva de administración del inventario es que, en algunos casos, la demanda de artículos cambia según el día de la semana. Por ejemplo, más gente compra en la tienda de abarrotes el fin de semana. Además, algunos artículos se venden más en ciertos días que en otros, incluso durante la semana laboral. Esto significa que la asignación óptima del espacio un día podría ser diferente de la asignación óptima del espacio para otro día de la semana; pero los minoristas cambian su disposición del anaquel con poca frecuencia. La demanda también varía de acuerdo con la hora del día. En algunas tiendas minoristas, los comerciantes se enfrentan a patrones de compras pesados después del trabajo. Una vez más, la cantidad del inventario asignado al anaquel podría ser suficiente para el día promedio de la semana, pero resultaría insuficiente para el sábado por la mañana, por ejemplo. En un caso extremo, suponga que el rollo de canela más vendido vende 90 por ciento de las unidades el sábado por la mañana entre las 6:00 a.m. y el mediodía. Si el espacio se asignó sobre la base de la demanda semanal promedio, tendría suficiente demanda para aproximadamente 14 por ciento de las ventas semanales. Esto significa que, en promedio, la tienda acabaría con los rollos de canela antes de las 7:00 a.m. Por otro lado, si la tienda daba suficiente espacio para 90 por ciento de las ventas, la mayor parte de la semana ese espacio estaría subutilizado porque no todos los artículos tienen esas ventas desiguales. Éste es un intercambio que se debe considerar en la administración del inventario minorista. La optimización sirve para modelar ese intercambio y maximizar las utilidades.²⁶

La asignación de espacio en anaqueles minoristas para mercancía estacional también es un desafío, ya que el espacio se debe asignar para la mercancía estacional y parte de ese espacio quizá provenga del inventario de algunos artículos básicos. Algunos minoristas mantienen el espacio para la mercancía estacional, pero la cantidad de mercancía estacional necesita cambios por temporada. En la categoría de productos enlatados, por ejemplo, durante la temporada de Acción de Gracias, cierta

marca de guisantes enlatados tiene gran demanda en la parte sur de Estados Unidos. Esto se puede administrar de múltiples maneras, incluyendo exhibiciones promocionales especiales y tomando espacio de algunos artículos existentes en la categoría de productos enlatados. Así se afectará el pronóstico y la administración del inventario no sólo para esta SKU de guisantes enlatados, sino también para muchas otras SKU de la categoría. En general, la gente no puede salir de la tienda e ir a otra tienda en busca de cierta SKU de guisantes enlatados, pero en el sur, durante una temporada específica para determinada marca de guisantes, muchos compradores tomarán ese camino. Este cambio en el costo de un inventario pendiente de surtir debe considerarse en las decisiones de la asignación del inventario.

Notas

1. Zinn, Walter, Michael Levy y Donald J. Bowersox. "Measuring the Effect of Inventory Centralization/Decentralization on Aggregate Safety Stock: The Square Root Law' Revisited". *Journal of Business Logistics* 10.1 (1989): 1-14.
 2. Lee, Hau. L., Venkata Padmanabhan y Seungjin Whang. "Information Distortion in a Supply Chain: The Bullwhip Effect". *Management Science* 43(4)(1997): 546-559.
 3. *Ibid.*
 4. Esto quizá no sea prudente, ya que es generalmente más costoso mantener inventario en la tienda que antes de que llegue a ésta.
 5. Waller, Matthew A., Pratibha A. Dabholkar y Julie J. Gentry. "Postponement, Product Customization, and Market-Oriented Supply Chain Management". *Journal of Business Logistics* 21.2 (2000): 133-160.
 6. *Ibid.*
 7. Croxton, Keely L., Bernard Gendron y Thomas L. Magnanti. "Models and Methods for Merge-in-Transit Operations". *Transportation Science* 37.1 (2003): 1-22.
 8. Esto supone que el consignatario es el dueño de las mercancías una vez que se hayan recibido.
 9. Waller, Matt, M. Eric Johnson y Tom Davis. "Vendor-Managed Inventory in the Retail Supply Chain". *Journal of Business Logistics* 20 (1999): 183-204.
 10. Se conoce como riesgo moral.
 11. Lee, Hau Leung y Seungjin Whang. "The Whose, Where and How of Inventory Control Design". *Supply Chain Management Review* 12.8 (2008): 22-29.
 12. Stank, Theodore P., Patricia J. Daugherty y Chad W. Autry. "Collaborative Planning: Supporting Automatic Replenishment Programs". *Supply Chain Management: An International Journal* 4.2 (1999): 75-85.
-

13. Kahn, Kenneth B., Elliot N. Maltz y John T. Mentzer. "Demand Collaboration: Effects on Knowledge Creation, Relationships, and Supply Chain Performance". *Journal of Business Logistics* 27.2 (2006): 191-221.
 14. McCarthy, Teresa M. y Susan L. Golicic. "Implementing Collaborative Forecasting to Improve Supply Chain Performance". *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management* 32.6 (2002): 431-454.
 15. MRP y DRP se trataron en el capítulo 6.
 16. Schonberger, Richard J. *Japanese Manufacturing Techniques: Nine Hidden Lessons in Simplicity*. SimonandSchuster.com, 1982.
 17. Hutt, Michael D. y Thomas W. Speh. "Realigning Industrial Marketing Channels". *Industrial Marketing Management* 12.3 (1983): 171-177.
 18. Para un cálculo aproximado de la reducción del inventario de seguridad, se puede utilizar la siguiente fórmula. Sea L_1 el plazo de entrega real y L_2 el plazo de entrega propuesto, entonces, una estimación aproximada del porcentaje de cambio en el inventario de seguridad está dada por
$$\frac{(\sqrt{L_1} - \sqrt{L_2})}{\sqrt{L_1}}$$
.
 19. Waller, Matthew A., C. Richard Cassady y John Ozment. "Impact of Cross-Docking on Inventory in a Decentralized Retail Supply Chain". *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 42.5 (2006): 359-382.
 20. Stassen, Robert E. y Matthew A. Waller. "Logistics and Assortment Depth in the Retail Supply Chain: Evidence from Grocery Categories". *Journal of Business Logistics* 23.1 (2002): 125-143.
 21. Eroglu, Cuneyt, Brent D. Williams y Matthew A. Waller. "The Backroom Effect in Retail Operations". *Production and Operations Management* (2012). Waller, Matthew A., et al. "Marketing at the Retail Shelf: An Examination of Moderating Effects of Logistics on SKU Market Share". *Journal of the Academy of Marketing Science* 38.1 (2010): 105-117.
 22. Los paquetes internos se encuentran en una caja y varias unidades se unen con plástico o algún otro material. Los paquetes internos no son para venta sino para distribución en tiendas. Entonces en las tiendas se debe abrir y separar el paquete interno antes de exhibir el producto en el anaquel.
 23. Dreze, Xavier, Stephen J. Hoch y Mary E. Purk. "Shelf Management and Space Elasticity". *Journal of Retailing* 70.4 (1995): 301-326.
 24. Urban, Timothy L. "An Inventory-Theoretic Approach to Product Assortment and Shelf-Space Allocation". *Journal of Retailing* 74.1 (1998): 15-35.
-

25. Broniarczyk, Susan M., Wayne D. Hoyer y Leigh McAlister. "Consumers' Perceptions of the Assortment Offered in a Grocery Category: The Impact of Item Reduction". *Journal of Marketing Research* (1998): 166-176.
26. Dulaney, Earl F. y Matthew A. Waller. "System, Method and Article of Manufacture to Optimize Inventory and Merchandising Shelf Space Utilization". Patente estadounidense núm. 6,341,269. 22 de enero de 2002.

Medición del desempeño del inventario

Considerando la naturaleza esencial y central del inventario como un indicio de la eficacia de las operaciones y decisiones de la cadena de suministro, son fundamentales la medición y evaluación del desempeño del inventario. Por ejemplo, Gartner publica anualmente una clasificación de las 25 mejores cadenas de suministro (*Top 25 Supply Chain*),¹ donde destaca a las empresas que son innovadoras y líderes en términos de sus procesos y estrategias de la cadena de suministro.² Aproximadamente 40 por ciento de la lógica en la clasificación de Gartner se asocia directamente con el inventario. Uno de los indicadores de desempeño clave (KPI, por las siglas de *key performance indicators*) que utiliza es el rendimiento sobre activos (ROA, por las siglas de *return on assets*), que se considera una medida robusta de la eficiencia operacional general de una empresa y que se calcula como

$$\text{ROA} = \text{Ingreso neto} / \text{Activos totales}$$

Debido a que el inventario es un activo, el desempeño de la administración del inventario de una empresa tiene un impacto directo en su ROA. Si todo lo demás permanece igual, las reducciones en el inventario conducen a menores activos totales y, como resultado, a un mayor ROA.

Además del ROA, Gartner también incluye en su evaluación la rotación del inventario, la cual a menudo se convierte en un indicador de la eficacia general de las prácticas de administración del inventario en una empresa y se calcula como

$$\text{Rotación de inventarios} = \text{Costo de bienes vendidos} / \text{Inventario promedio}$$

Generalmente, la rotación del inventario más alta se interpreta como una sugerencia de que la empresa tiene menor obsolescencia, deficiencias y costos de almacenamiento. Por lo tanto, la medida en la que una organización administra y captura adecuadamente su inventario, será por su medición de la rotación del inventario. Desde luego, también puede ir demasiado lejos y dar como resultado un inventario agotado y, por tanto, pendiente de surtir.

En conjunto, la clasificación de Gartner coloca una cantidad significativa de valor en el inventario como una medida del desempeño general y de vitalidad para la cadena de suministro. Este enfoque en el inventario está en consonancia con otros marcos de referencia e iniciativas de investigación, que intentan evaluar el desempeño de la cadena de suministro, sobre todo de manera cuantitativa y financiera. Debido a las complejidades de las prácticas de administración del inventario descritas a lo largo de este libro, las medidas favorables relacionadas con el inventario suelen ser el primer punto de partida para determinar a una organización como “buena” o incluso “la mejor” en la administración de la cadena de suministro.

En las siguientes secciones destacaremos varias mediciones que son fundamentales para evaluar el desempeño de la administración del inventario en una organización. Esas medidas son todas diferentes, ya que proporcionan indicadores únicos del desempeño del inventario desde un punto de vista particular y en un contexto específico. No obstante, son similares en el sentido de que cada una conecta el inventario con la viabilidad financiera general de una organización y proporciona un medio para comparar las empresas entre sí dentro de industrias particulares.

Análisis de compensación

Quizás el mejor lugar para comenzar con el estudio de la medición del inventario es ponerlo en contexto. El inventario, aunque es un aspecto vital del desempeño de la administración de la cadena de suministro de una empresa, no existe en el vacío. Algunas otras áreas interconectadas intervienen en la administración de la cadena de suministro. Por ejemplo, el transporte es un factor de costos importante y una función en las cadenas de suministro. Curiosamente, los cambios en el desempeño del inventario debido a las decisiones de administración a menudo tienen un impacto en los costos y en el desempeño del transporte. Éste es el concepto de “compensación”.³

Las compensaciones son un tema importante a considerar al examinar la medición del desempeño del inventario, ya que el efecto neto de las decisiones de inventario es la métrica de desempeño “verdadera” que, en última instancia, importa. Considere la decisión del inventario hipotética que resulta en una reducción significativa en los costos del inventario y los costos de almacenamiento asociados, pero también causa un aumento en los costos de transporte para mantener los niveles adecuados de servicio al cliente. ¿Las reducciones de costos relacionadas con inventarios son “verdaderas” reducciones de costos? En realidad, dependerán de la magnitud del aumento en los gastos de transporte y de si los ahorros de inventario serán lo suficientemente importantes para compensarlos. Como tales, los problemas de compensación del inventario son esenciales para medir el desempeño de éste, porque casi siempre hay un efecto neto de las mejoras en el desempeño del inventario. Analicemos algunas de las compensaciones.

*Compensación entre inventario y transporte*⁴

En general, los costos de transporte disminuyen conforme aumentan los volúmenes del mismo. Esto permite la diversificación de los costos de operación gracias a que hay más artículos durante el tránsito. Por lo tanto, el envío en cantidades de carga en camión completo (TL, por las siglas de *truckload*) y de contenedor completo (FCL, por las siglas de *full container load*) suele ser siempre más barato, que

las cantidades que son menores a la carga completa. En sí, se trata de un gran concepto, pero también se deben considerar los costos de inventario.

En muchos casos, la demanda del inventario no estará en cantidades de carga completa. Por consiguiente, el envío en esas cantidades produce inevitablemente costos relacionados con el inventario. Por lo que hay que compensar. En primer lugar, muchas compañías utilizan la consolidación de envíos para garantizar la mayoría de cargas completas como sea posible. En muchas situaciones, ello implica mantener envíos para fusionarlos con otros que puedan estar viajando hacia el mismo punto de destino (o cerca de éste). Aún más, a veces esto se hace manteniendo algunos envíos durante días (en vez de horas o minutos). Como resultado, los costos de mantenimiento del inventario aumentan para permitir el ahorro en costos de transporte. Asimismo, recibir envíos de proveedores en cantidades de carga completa a menudo se hace para aprovechar las eficiencias de los costos de transporte entrante. Sin embargo, la demanda a menudo es significativamente menor, lo cual resulta en un mayor almacenamiento de inventario (con sus costos asociados) para obtener ahorros de transporte.

También es importante destacar el reverso de este concepto. Uno de los aspectos clave de las operaciones esbeltas es la adopción de la mentalidad de “envíos más pequeños y más frecuentes”. Esto resulta claramente en una reducción de los costos del inventario, ya que se mantiene menos inventario debido a la velocidad con la que se envía el producto y, por lo tanto, se mueve a través del sistema de la cadena de suministro. Las mediciones de desempeño del inventario probablemente se moverán en una dirección positiva, que es una de las razones por las que las operaciones esbeltas se volvieron populares. No obstante, la compensación de esto también es evidente. Los envíos más pequeños y más frecuentes van directamente contra el método de ahorro en transporte de “mayores cantidades” examinado anteriormente. Por consiguiente, mientras el inventario va mejorando, la eficiencia de los costos de transporte se afecta negativamente. Este efecto de compensación es importante, sobre todo porque los costos de inventario y de transporte son dos categorías de costos significativamente grandes en la administración de la cadena de suministro. Mejorar el inventario es, por ende, una idea grandiosa, pero sólo si los potenciales aumentos asociados en los costos de transporte no consumen totalmente las mejoras en el desempeño del inventario. Es posible volverse demasiado esbelto.⁵

Compensación entre variedad de productos e inventario

¿Cuántas variedades de Coca-Cola existen? Evidentemente, tomaría cierto tiempo contestar la pregunta, pues uno tendría que considerar los diversos edulcorantes, niveles de cafeína y saborizantes disponibles. A decir verdad, una respuesta precisa no era en realidad el propósito de la pregunta. La pregunta de seguimiento de *por qué* hay tantas variedades de Coca-Cola es el punto principal.

Los clientes tienen preferencias que, en última instancia, llevan a muchas empresas a fabricar una multitud de productos diferentes como un medio para satisfacer las necesidades de los diversos segmentos de consumidores. La variedad de productos se considera a menudo como una estrategia generadora de ingresos, en la que más productos que satisfagan las necesidades específicas de los diferentes segmentos del mercado deberían conducir a aumentos en las ventas actuales y futuras. Sin embargo, muchas empresas renuncian a los beneficios de la variedad de productos, ya que prefieren fabricar en tamaños de lote mayores debido a las ventajas en costo de inventario por productos más simplificados y estandarizados.⁶ Asimismo, la variedad de productos requiere más inventario para

mantener los niveles de servicio al cliente, ya que hay más productos que se tiene que mantener debido a las diferentes unidades individuales de inventario (SKU, por sus siglas de *stock keeping units*) disponibles.⁷

Por lo tanto, los beneficios de mantener ofertas sencillas de productos se deben considerar en el contexto de potenciales ventas de servicio en oportunidades perdidas. Claro, los costos del inventario se han mantenido y obtenido las eficiencias, pero ¿podría el aumento de los ingresos asociados con el incremento de la variedad de productos puestos a disposición del mercado superar los beneficios de desempeño del inventario? Este concepto de compensación es uno con el que muchas empresas, como Coca-Cola, constantemente luchan y consideran al planear el servicio al cliente y las estrategias de producto.

Compensación entre tamaño de lote e inventario

Como se sugirió anteriormente, las organizaciones manufactureras probablemente prefieren producir en grandes cantidades de tamaño de lote, lo cual permite tener un mejor control del proceso, disminuir los costos por unidad, y mejorar la eficiencia general. El problema con esto, es que la demanda está típicamente en cantidades mucho menores del tamaño del lote. Por lo tanto, para aprovechar las grandes corridas de producción, las empresas suelen tener más inventario para atender a los clientes. Esta compensación se debe considerar cuando, por ejemplo, las medidas de desempeño del inventario parecen indicar decisiones de administración deficientes e ineficiencias (rotaciones menores, por ejemplo). La realidad puede ser que el efecto neto de la posición de inventario aparentemente mediocre está a un nivel de reducción de costos de fabricación que eclipsa los costos debido al inventario con movimiento más lento.

Tipos de medidas

Ahora que hemos establecido que las medidas de desempeño del inventario se deberían considerar en contexto, vamos a analizar algunas de las métricas clave utilizadas para evaluar la eficacia de la administración del inventario. Se podrían estudiar una infinidad de medidas, ya que las medidas relacionadas con el inventario son a menudo específicas de la industria y de la situación. Por ejemplo, el margen bruto del rendimiento sobre la inversión del inventario (GMROI, por las siglas de *gross margin return on inventory investment*) se utiliza a menudo en la industria minorista.⁸ Es una medida de la capacidad de una empresa para convertir el inventario en efectivo por encima del costo del inventario y se calcula como

$$\text{GMROI} = \text{Margen bruto} / \text{Inventario promedio}$$

Un GMROI mayor que uno indica que la empresa está vendiendo inventario por más de lo que cuesta. Si bien esto es, por supuesto, una medida que cualquier empresa podría utilizar para evaluar el desempeño del inventario, se ha vuelto popular entre el comercio minorista. Ya que los márgenes y las rotaciones de inventario varían mucho de acuerdo con el producto o la ubicación, muchos minoristas utilizan estas medidas para evaluar constantemente el rendimiento asociado con las líneas de productos o las ubicaciones de las tiendas. En un sentido más amplio, este ejemplo resalta cómo las mediciones del inventario pueden ser algo específicas del contexto y varían según el sector de la economía.

Modelo 4-V

Entonces, una manera de abordar las medidas del inventario consiste en centrarse no tanto en la medida real (porque hay una gran variedad de ellas), sino en la intención y el propósito de la medida. Un marco de referencia útil es el modelo 4-V, donde las medidas del inventario se clasifican según si el propósito de la medida es evaluar el VOLUMEN, VALOR, VELOCIDAD o VARIANZA del inventario.

Medidas de volumen

Las medidas de volumen del inventario se centran en captar cuánto inventario tiene una empresa. Por lo tanto, estas medidas se indican típicamente en unidades y se utilizan para evaluar cuánto inventario físico está disponible. Entonces, los informes de cuántas unidades de materiales, productos terminados y las unidades en proceso de una empresa son todos indicadores del volumen del inventario. Además, muchas empresas traducen unidades de inventario en denominaciones de “peso total”, lo cual es particularmente útil cuando se considera el transporte del inventario durante el enrutamiento y la programación.

Además del simple recuento del inventario, muchas empresas consideran útil medir el volumen relativo de su inventario, evaluando cuánto de su inventario está en existencia. El porcentaje de inventario pendiente de surtir (OOS%, por las siglas de *percentage out of stock*)⁹ es un cálculo sencillo que ayuda a medir el volumen de inventario disponible.

$$\text{OOS\%} = \text{Número de artículos del inventario OOS} \times 100 / \text{Número de artículos del inventario}$$

Es importante destacar que esto no se basa necesariamente en el recuento de piezas individuales, sino que a menudo se aplica a SKU individuales. Por lo tanto, la medida cuantifica el porcentaje de SKU que están completamente fuera de existencia; en otras palabras, el volumen de inventario que está disponible en relación con lo que *debería* estar disponible.

Medidas de valor

Las medidas de valor del inventario enfatizan dos aspectos del inventario. En primer lugar, las medidas de valor pueden centrarse en el valor monetario total y el costo total del inventario. Estas medidas se expresan comúnmente en dólares y se utilizan para medir cuánto dinero se ha invertido en el inventario. Por ejemplo, una medida de valor popular es el *inventario promedio*, que se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Inventario promedio} = (\text{Inventario inicial} + \text{Inventario final}) / 2$$

Este cálculo sencillo se utiliza para estimar la cantidad de inventario que un negocio normalmente tiene disponible durante un periodo más largo que sólo un mes. El inventario promedio también es útil para la comparación con los ingresos. Muchas empresas a menudo calculan el inventario promedio para el año en curso y, luego, comparan el saldo promedio del inventario con los ingresos acumulados hasta la fecha, para saber cuánta inversión de inventario era necesaria para apoyar un nivel actual de ventas. Esta medida también se utiliza para comparar los niveles de inversión de inventario a lo

largo de varios periodos para hacer un seguimiento de los cambios significativos que pueden haber ocurrido en apoyo a las operaciones de la empresa.

Otra perspectiva sobre el “valor” del inventario es la contribución de valor de la inversión en inventario, es decir, las medidas que captan la magnitud del rendimiento obtenido al invertir en inventario. Anteriormente utilizamos la medida del GMROI en un ejemplo. El GMROI es, de hecho, una medida de valor porque representa el valor que una empresa recibe de su inventario.

Otra medida que capta la cantidad de la rentabilidad de una empresa en dólares de inventario son las ventas respecto del capital de trabajo (SWC, por sus siglas de *sales to working capital*) que, en esencia, es una medida de la cantidad de capital de trabajo que fue necesaria para generar las ventas. Se calcula de la siguiente manera:

$$\text{SWC} = \text{Ventas anualizadas} / (\text{Cuentas por cobrar} + \text{Inventario} - \text{Cuentas por pagar})$$

Como indica esta relación, un impulsor primario de esta medida es el inventario. Esta medida se utiliza a menudo para cuantificar aún más el valor de la inversión en inventario, colocándola en el contexto del capital de trabajo y asociándola con las ventas. Esta medida, a diferencia de otros indicadores que captan los valores monetarios del inventario, se muestra como una relación numérica. Por ejemplo, si una empresa tiene SWC de 3.1, se podría interpretar que sugiere que un dólar en capital de trabajo produce tres dólares en ingresos. Dicho de otra manera, la empresa tiene aproximadamente un tercio de su nivel de ventas atado en capital de trabajo.

Por supuesto, esta medida es más amplia que el mero inventario. Es fácil ver cómo un mayor nivel de SWC se considera más favorable. Mientras que las reducciones de inventario suelen ser un medio significativo para producir mejores SWC, otros métodos (como aumentos en las ventas, estando todo lo demás igual) también pueden aumentar la proporción; por lo tanto, a menudo se utiliza como un indicador del rendimiento sobre la inversión en inventario, pero es claramente una medida de capital de trabajo integral. Por consiguiente, la proporción entre ventas e inventario (SIR, por las siglas de *sales to inventory ratio*) también se utiliza a menudo ya que proporciona un reflejo más granular y directo de la rentabilidad asociada con el inventario. Se calcula como sigue:

$$\text{Ventas respecto del inventario} = \text{Ventas anualizadas} / \text{Inventario}$$

Otra categoría de medidas de valor del inventario se refiere al valor que las empresas obtienen al atender a los clientes. En esencia, la disponibilidad del inventario da a una empresa un nivel de valor al permitir que se produzcan las ventas. Por lo tanto, las medidas que captan el servicio debido a la disponibilidad del inventario, como las tasas de cumplimiento, son evaluaciones importantes del valor asociado con la inversión en el inventario.

Las tasas de cumplimiento captan el grado en el que los pedidos colocados por los clientes pueden satisfacerse con el inventario disponible, como se analiza en el capítulo 2, “Fundamentos de la administración del inventario”. Ésta es una medida de valor importante, ya que capta el grado en que el rendimiento sobre la inversión del inventario se puede obtener y, por lo tanto, proporcionar valor a la organización. Las tasas de cumplimiento se calculan de muchas formas, principalmente diferenciadas por la unidad de análisis. Por ejemplo, el índice de reabastecimiento de artículos en línea (LIFR, que es diferente de la métrica de la tasa de cumplimiento que analizamos anteriormente en el libro) mide

la magnitud en que los artículos de línea del pedido de un cliente se cubren con el primer envío. La medida se calcula de la siguiente manera:

$$\text{LIFR} = \text{Número de líneas de pedido enviadas en el primer envío} / \text{número de líneas de pedido}$$

Considere el cliente que realiza un pedido que consiste en diez productos (una línea de pedido por producto). Ahora, en el escenario donde el fabricante envía ocho de los productos (líneas de pedido) en un envío inicial y, luego, sigue con el envío de los dos productos restantes unos días después, el LIFR para esta orden de compra es de 80 por ciento. En otras palabras, tan sólo 80 por ciento del inventario asociado con este pedido estaba disponible para proporcionar valor inmediato al fabricante, porque el otro 20 por ciento de líneas de pedido no estaban en inventario ni disponibles.

Además de las tasas de cumplimiento en el nivel de la línea del pedido, las empresas a menudo también las miden a nivel de SKU (número de SKU enviadas en el primer envío/número de SKU) e incluso al nivel del valor monetario (Valor de las líneas de pedido enviadas en el primer envío/Valor total del pedido).

Medidas de velocidad

Quizá la categoría más popular de medidas de desempeño de la administración del inventario sea el conjunto de medidas que evalúan la velocidad del inventario. Como vimos en el capítulo 1, “Introducción a los inventarios”, el inventario se utiliza a menudo como un indicador de la salud general y la vitalidad de las operaciones de la cadena de suministro de una empresa. Considerando que el énfasis principal de las cadenas de suministro es mover el producto hacia el cliente, de tal manera que el inventario pueda convertirse en ventas, las medidas que captan si el inventario se está moviendo realmente, y la velocidad a la que se mueve, son de importancia significativa. Las medidas de velocidad se refieren a la rapidez con que el cliente acepta y paga el inventario.

La rotación del inventario se convierte en una de las medidas más adoptadas y utilizadas de la eficacia en la administración del inventario. Como ya se mencionó, los consultores e investigadores de la cadena de suministro a menudo la utilizan para evaluar la velocidad de los procesos y las operaciones de la cadena de suministro de una empresa. Una vez más, se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Rotación del inventario} = \text{Costo de bienes vendidos} / \text{Inventario promedio}$$

donde

$$\text{Inventario promedio} = (\text{Inventario inicial} + \text{Inventario final}) / 2$$

La rotación del inventario se interpreta mejor como el número de veces que el inventario de una empresa “circula” o pasa por su red de cadena de suministro en un año. Por ejemplo, si la rotación del inventario es 12, esto significa que el inventario promedio se mueve a través de la red una vez al mes; la rotación del inventario de 4 significa que el inventario promedio circula a través de la cadena de suministro cada trimestre. Un objetivo común de administración del inventario se centra en mejorar la rotación del inventario aumentando la cantidad de rotaciones, en promedio, en un año. La baja rotación del inventario significa que una empresa está almacenando demasiado inventario, causando una disminución en la rapidez o la velocidad de la cadena de suministro, lo cual quizá restrinja innecesariamente el acceso al efectivo que la empresa podría utilizar para invertir en actividades más lucrativas.

Otra medida popular de la velocidad son los *días de inventario disponible* (DOI, por las siglas de *days of inventory on-hand*) que esencialmente es una interpolación adicional de la medida de rotaciones del inventario, pero utiliza la evaluación de velocidad en días en lugar de en rotaciones. Hay algunas maneras de calcular los DOI:

$$\text{DOI} = 365/\text{Rotaciones del inventario}$$

O bien:

$$\text{DOI} = \text{Inventario promedio}/(\text{Costo de bienes vendidos}/365); \text{ donde}$$

$$\text{Inventario promedio} = (\text{Inventario inicial} + \text{Inventario final})/2$$

Los DOI miden el promedio de días que un producto o una línea de productos pasa en el inventario. Si los días promedio de inventario disponible son pocos, se dice que la organización tiene una alta velocidad de inventario, lo que sugiere una cadena de suministro eficiente. Además, las empresas con un bajo DOI requieren menos capital de trabajo para invertir en inventario, lo cual permite ahorrar capital de trabajo para ser utilizado en otros fines.

Otra métrica de la velocidad que ha crecido en popularidad es el *ciclo de efectivo a efectivo* (C2C, por sus siglas de *cash-to cash cycle*), que también se conoce como el ciclo de conversión en efectivo, y expresa el periodo en días que tarda una empresa en convertir los insumos de recursos, como inventarios, en flujos de efectivo. En esencia, el C2C intenta captar la cantidad de tiempo que cada dólar de insumo neto está atado en el proceso de producción y ventas antes de convertirlo en efectivo mediante ventas a clientes. Esta métrica se compone de la cantidad de tiempo asociada con la venta de inventario (días de inventario), la recaudación de cuentas por cobrar (días de ventas pendientes) y el pago de las facturas de la empresa (días de pago pendiente). Por lo tanto, el C2C se calcula como

$$\text{C2C} = \text{DOI} + \text{DSO} - \text{DPO}$$

donde

$$\text{DOI} = \text{Inventario promedio}/(\text{Costo de bienes vendidos}/365)$$

$$\text{DSO} = \text{Promedio de cuentas por cobrar}/(\text{Ventas}/365)$$

$$\text{DPO} = \text{Promedio de cuentas por pagar}/(\text{Costo de bienes vendidos}/365)$$

Cuanto más corto sea el ciclo, menos tiempo el capital estará atado en la cadena de suministro. Por supuesto, el C2C es más que un reflejo del inventario, ya que está impulsado no sólo por lo bien que la organización administra su inventario, sino también por cómo se manejan el pago y los términos de las cuentas por cobrar. Sin embargo, se considera una medida extremadamente importante de la velocidad del inventario, pues capta cuánto tiempo le toma al inventario convertirse de efectivo que sale en efectivo que entra.

Medidas de varianza

Las medidas de varianza son evaluaciones de la precisión del inventario. Por lo tanto, esta categoría de mediciones se centra en la medida en que los registros del inventario se administran correctamente y son una representación real de los niveles de inventario de la empresa. Los fundamentos de

las medidas de varianza son el recuento de ciclos y la administración de inventarios perpetuos. Por lo tanto, los registros del inventario se mantienen continuamente, y partes del inventario se cuentan físicamente como una comparación.

No hay medios predominantes para medir la varianza del inventario, pero en su forma más sencilla, estas medidas captan el grado de diferencia (o varianza) entre el inventario disponible y en el registro. Algunos métodos implican

$$\text{Varianza del inventario} = |\text{Recuento de inventario} - \text{Inventario en registro}| / \text{Recuento de inventario}$$

Por consiguiente, el valor absoluto de la diferencia entre el recuento físico y la cantidad registrada se divide entre la cantidad del recuento físico. Esto se puede multiplicar por 100 para obtener un porcentaje. Por ejemplo, considere la empresa que tiene 95 artículos en inventario con base en el recuento de ciclos y 100 artículos por sus registros de inventario. La varianza del inventario sería $5/95$, o aproximadamente 5 por ciento.

Otros métodos implican comparar el valor de la diferencia del inventario en dólares (es decir, el valor absoluto de la diferencia entre el valor monetario del inventario contado contra el valor monetario del inventario registrado) e incluso una extensión de este método, donde al valor monetario se le asigna un valor positivo o negativo dependiendo de la dirección de cualquier diferencia. Por ejemplo, una empresa que cuenta físicamente con 100 artículos valorados en \$5, pero esperaba 95 artículos en \$5, encontraría que su inventario está \$25 por encima, o +\$25. Si la empresa había esperado 101 artículos, su inventario estaría \$5 por debajo, o -\$5.

En general, esos métodos para captar la varianza proporcionan a las organizaciones una instantánea del grado de exactitud reflejado en los registros utilizados para administrar el inventario perpetuo. Estas medidas son de particular importancia en la industria minorista, donde las imprecisiones de inventario pueden tener impactos significativos en las ventas perdidas. Además, la adopción de técnicas de conteo de ciclos más avanzadas, como el aprovechamiento de la tecnología de identificación por radiofrecuencia, ofrece una visibilidad más inmediata para registrar las inexactitudes y los posibles problemas de variación.

Sistemas y marcos de referencia de medición

Más allá de la articulación de medidas que se utilizan a menudo para captar el desempeño en la administración del inventario, también es importante destacar las formas en las cuales muchas empresas obtienen visibilidad para estas medidas. Con tantos artículos en inventario que se deben administrar, medidas de inventario disponibles y aspectos interrelacionados asociados con la medición del desempeño de la cadena de suministro, el seguimiento y monitoreo de las medidas suele ser abrumador. Muchas empresas han encontrado que es beneficioso ir más allá de medir el desempeño del inventario y han aplicado marcos de referencia de administración a su supervisión del desempeño del inventario.

Administración por excepción

La *administración por excepción* (MBE, por las siglas de *management by exception*) es la práctica de examinar el desempeño financiero y operacional de una empresa y de señalar a la atención de la administración solamente aquellos resultados que representan diferencias significativas con los umbrales de medición presupuestados o esperados. Por ejemplo, un gerente de reabastecimiento podría estar obligado a notificar a la alta gerencia de aquellas SKU cuyo porcentaje de existencias pendientes de surtir cayera por debajo del 95 por ciento. O bien, la administración podría solicitar que se le haga saber acerca de los escenarios donde las medidas de variación del inventario alcanzan un punto en que la magnitud de las imprecisiones esté por encima o por debajo de un umbral de \$1,000 dólares.

Es fácil ver que el propósito general del concepto de administración por excepción es tan sólo administrar las variaciones más importantes de la dirección planeada y los resultados del negocio. La MBE puede ser beneficiosa porque reduce la cantidad de resultados financieros y operativos que la gerencia debe revisar, lo cual permite un proceso de medición de inventario más eficiente. Sin embargo, un inconveniente potencial de la administración por excepción es el hecho de que las excepciones se basan en un presupuesto o un umbral contra el cual se comparan los resultados. Si las expectativas y los presupuestos no están bien formulados, sus varianzas quizá les resultan irrelevantes o les llamen la atención sobre cuestiones que podrían desviar la atención de las áreas de administración más importantes. Asimismo, la MBE a menudo puede requerir un nivel adicional de supervisión, ya que la compilación de excepciones puede requerir atención de tiempo completo de una parte responsable.

Tableros de medición

Para administrar las medidas de desempeño por excepción, muchas organizaciones han encontrado benéfico adoptar e implementar sistemas de tableros. En esencia, los tableros de medición del desempeño son sistemas que ayudan a representar visualmente los KPI (medidas de inventario) y a brindar un medio para obtener una instantánea de esos KPI. Muchos sistemas de tablero usan técnicas avanzadas de codificación por colores para indicar posibles áreas problemáticas o excepciones. Por lo tanto, es posible que la gerencia supervise los sistemas de tableros para participar en la administración del desempeño del inventario sólo por excepciones. El tablero puede, por ejemplo, indicar que el LIFR se ha metido en una “zona roja”, en la cual la medida de desempeño del LIFR se ha situado por debajo de un nivel considerado aceptable. La gerencia puede determinar los mejores planes de acción para abordar este problema e investigar las posibles causas.

Otro marco de referencia popular de medición del desempeño es el *cuadro de mando integral* (BSC, por las siglas de *balanced scorecard*),¹⁰ que es un sistema de planeación y administración del desempeño utilizado ampliamente para alinear los procesos y las actividades empresariales con la visión y la estrategia de la empresa. Según los desarrolladores Kaplan y Norton, el propósito del BSC es monitorear los KPI respecto de la dirección estratégica de la empresa mezclando medidas estratégicas de desempeño no financiero con métricas financieras tradicionales, dando así a los gerentes y

ejecutivos una visión más “equilibrada” del desempeño organizacional. Esto se hace comparando cada medida con un valor objetivo dentro de un único informe conciso, permitiendo así la administración por excepción. Según Eckerson,¹¹ una de las principales diferencias entre el tablero de medición del desempeño y el concepto de BSC es que el primero rastrea el desempeño, mientras que el BSC rastrea el progreso. En esencia, el cuadro de mando integral también da luz a la visión y la misión de la empresa, ya que ambos elementos siempre deben ser la base para la preparación de un cuadro de mando integral.

Aunque el concepto de cuadro de mando integral no se desarrolló específicamente para la medición del desempeño de la cadena de suministro, se ha convertido en un marco de referencia popular para articular los objetivos y el desempeño de las operaciones de la cadena de suministro de una empresa. El BSC considera cuatro categorías de desempeño: financiero, de servicio al cliente, de procesos internos de negocios y de aprendizaje/crecimiento. En un contexto de BSC de cadena de suministro, estas categorías se usan para rastrear la forma como la empresa está administrando los costos y el servicio de la cadena de suministro. Debido a que el inventario es una parte tan grande de los costos de la cadena de suministro y tiene un impacto tan importante en los resultados del servicio de la cadena de suministro, la aplicación del BSC a la administración de la cadena de suministro capta inevitablemente el desempeño del inventario.

El aspecto financiero del BSC se centra en el desempeño financiero de la empresa. Este elemento del BSC, por lo tanto, implicaría varias de las medidas del inventario ya mencionadas, en particular medidas como ventas respecto del capital de trabajo y el margen bruto del rendimiento sobre la inversión en inventario. En otras palabras, las medidas del inventario que se centran específicamente en los aspectos financieros del desempeño del inventario se considerarán en el componente financiero del BSC.

El componente del BSC del cliente se ocupa de lo bien que la organización puede atender a los clientes e influir en las percepciones positivas de ellos. Por lo tanto, las medidas relacionadas con el inventario, como las tasas de cumplimiento y los porcentajes de existencias pendientes de surtir serían adecuadas aquí, ya que esas mediciones son evaluaciones de lo bien que la empresa está manteniendo niveles de inventario que permitan el cumplimiento de los pedidos de los clientes.

Medidas como aquellas que destacan la exactitud y la velocidad del inventario podrían considerarse aspectos del componente de los procesos internos de negocios del BSC. Esta sección se centra en lo bien que la empresa está administrando sus operaciones y en el grado en que los procesos se ejecutan de manera eficiente. Por lo tanto, las categorías de medida de inventario antes mencionadas se usan a menudo aquí, porque las métricas como la rotación del inventario y la varianza del inventario proporcionan una instantánea de qué tan adecuadamente se está administrando la empresa.

Por último, el BSC capta el desempeño respecto de lo bien que la empresa se ha desarrollado en términos de innovación, crecimiento e iniciativas de mejora. Esto se puede aplicar claramente a la administración del inventario, ya que proporciona un marco de referencia para permitir las evaluaciones no sólo de la forma como se administra el inventario, sino también de las mejoras relativas en cuanto al desempeño de la administración del inventario.

En general, el BSC ha demostrado ser una herramienta útil para organizar las mediciones del desempeño del inventario. Como se mencionó al inicio de este capítulo, hay varias métricas de desempeño del inventario que una empresa puede utilizar, y marcos de referencia como el BSC ayudan a las organizaciones a garantizar que las medidas sean relevantes y estratégicamente adecuadas desde el punto de vista administrativo.

Notas

1. Ellram, Lisa M. y Martha C. Cooper. "Supply Chain Management: It's All About the Journey, Not the Destination". *Journal of Supply Chain Management* 50.1 (2014): 8-20. Greer, Bertie M. y Peter Theuri. "Linking Supply Chain Management Superiority to Multifaceted Firm Financial Performance". *Journal of Supply Chain Management* 48.3 (2012): 97-106.
2. Ellinger, Alexander E., *et al.* "Supply Chain Management Competency and Firm Financial Success". *Journal of Business Logistics* 32.3 (2011): 214-226.
3. Bliemel, Friedhelm. "Inventory Decisions by Trade-Off Analysis: A New Approach in Product-Oriented Marketing Strategies". *Journal of Business Logistics* 1.2 (1979): 103-119. Sheffi, Yosef, Babak Eskandari y Haris N. Koutsopoulos. "Transportation Mode Choice Based on Total Logistics Costs". *Journal of Business Logistics* 9.2 (1988): 137-154. Zinn, Walter y Howard Marmorstein. "Comparing Two Alternative Methods of Determining Safety Stock Levels: The Demand and the Forecast Systems". *Journal of Business Logistics* 11.1 (1990): 95-110.
4. Campbell, James F. "Designing Logistics Systems by Analyzing Transportation, Inventory and Terminal Cost Tradeoffs". *Journal of Business Logistics* 11.1 (1990): 159-179.
5. Eroglu, Cuneyt y Christian Hofer. "Lean, Leaner, Too Lean? The Inventory Performance Link Revisited". *Journal of Operations Management* 29.4 (2011): 356-369. Hofer, Christian, Cuneyt Eroglu y Adriana Rossiter Hofer. "The Effect of Lean Production on Financial Performance: The Mediating Role of Inventory Leanness". *International Journal of Production Economics* 138.2 (2012): 242-253. Eroglu, Cuneyt y Christian Hofer. "Inventory Types and Firm Performance: Vector Autoregressive and Vector Error Correction Models". *Journal of Business Logistics* 32.3 (2011): 227-239.
6. Waller, Matthew A., Pratibha A. Dabholkar y Julie J. Gentry. "Postponement, Product Customization, and Market-Oriented Supply Chain Management". *Journal of Business Logistics* 21.2 (2000): 133-160.
7. Stassen, Robert E. y Matthew A. Waller. "Logistics and Assortment Depth in the Retail Supply Chain: Evidence from Grocery Categories". *Journal of Business Logistics* 23.1 (2002): 125-143.
8. Ingene, Charles A. y Robert F. Lusch. "The Declining Rate of Return on Capital in US Retailing". *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management* 11.1 (1981): 25-39.

9. Observe la diferencia entre esta métrica y el PPIS, que se estudió en el capítulo 2.
10. Kaplan, Robert S. y David P. Norton. "Using the Balanced Scorecard as a Strategic Management System". *Harvard Business Review* 74.1 (1996): 75-85.
11. Eckerson, Wayne W. "Deploying Dashboards and Scorecards". *The Data Warehouse Institute* (2006): 1-24.



Índice

A

- administración de la cadena de suministro
 - importancia del inventario, 5-6
 - papel del inventario, 4-5
- administración de registros del inventario, 150-151
- administración del inventario
 - registros del inventario, 150-151
 - varios artículos, 129-131
 - varios niveles, 131-134
 - costos variables de pedidos, 134-135
- administración del inventario de productos de consumo y minorista, 168
 - cruce de andén (*cross docking*), 168-169
 - disposición de los anaqueles, 171-172
 - introducciones de nuevos artículos, 170
 - surtido, 169-170
 - tarimas, cajas de paquetes, paquetes interiores y unidades, 170
- administración del inventario de varios artículos, 129-131
- administración del inventario de varios niveles, 131-134
 - sin costos fijos de pedido, 134-135
- administración por excepción (MBE), 184
- agrupación de riesgos, 155-157
 - contra efecto látigo (*bullwhip*), 159
- aleatoriedad en la demanda, 115-116
 - distribuciones empíricas de la demanda y el plazo de entrega, 116-118

- almacenamiento, 149
- Amazon.com, 165
- análisis de la compensación, 176
 - compensación
 - entre inventario y transporte, 176-177
 - entre tamaño del lote e inventario, 178
 - entre variedad de productos e inventario, 177-178
- aplazamiento, 160-162
 - del inventario, 160-162
- arancel de aduanas armonizado de Estados Unidos (HTSUS), 167
- archivo de estatus del inventario (ISF), 141

B

- Benetton, 161
- BOM (lista de materiales), 142
- BSC (cuadro de mando integral), 185-186

C

- cajas de paquetes, 170
- calibración, simulaciones de inventario, 127-128
- cantidad de pedido periódica (POQ), 141
- cantidad del pedido, costo total anual en función de la cantidad de pedido, 52-59
- carga en camión (TL), 53
- C2C (ciclo de efectivo a efectivo), 182
- centros de distribución (DC), 151
- ciclo de efectivo a efectivo (C2C), 182

- clasificación del inventario ABC, 140
 - clasificación Gartner, 175
 - Coca-Cola, 177-178
 - compensación entre inventario y transporte, 176-177
 - compensación entre tamaño del lote e inventario, 178
 - compensación entre transporte e inventario, 176-177
 - compensación entre variedad de productos e inventario, 177-178
 - compensaciones de costos, 54
 - compras reales, 70
 - Consejo de Profesionales de Administración de la Cadena de Suministro (CSCMP), 1
 - consignación, 163
 - inversa, 163-164
 - control del inventario, 31
 - agregado, 143-148
 - costo total anual en función de la cantidad del pedido, 52-59
 - análisis de compensación*, 60-63
 - tasa de cumplimiento*, 59-60
 - demanda durante el plazo de entrega, 40-51
 - descuentos por cantidad, 64-65
 - incertidumbre en los procesos del inventario, 31-32
 - distribuciones empíricas*, 32-34
 - distribuciones normales*, 36
 - procesos de reabastecimiento del inventario, 36-38
 - posición del inventario*, 38-39
 - unidades esperadas por ciclo de reabastecimiento, 51-52
 - control del inventario agregado, 143-148
 - costo(s)
 - de almacenamiento, 23
 - de oportunidad, 22
 - del inventario, 22-23
 - costos fijos y variables de pedidos*, 25
 - inventario pendiente de surtir*, 25-27
 - inversión, costo y valor*, 23-24
 - efecto látigo (*bullwhip*), 159
 - por merma, 23
 - costo total anual en función de la cantidad de pedido, 52-59
 - análisis de la compensación, 60-63
 - tasa de cumplimiento, 59-60
 - costos de almacenamiento, 23
 - costos de oportunidad, 22
 - costos del inventario pendiente de surtir, 25-27
 - costos fijos y variables de pedidos, 25
 - CPFR (planeación, pronóstico y reabastecimiento colaborativos), 164
 - C(Q), curva de costos, 55
 - cruce de andén (*cross docking*), 168-169
 - CSCMP (Consejo de Profesionales de Administración de la Cadena de Suministro), 1
 - cuadro de mando integral (BSC), 185-186
 - curva de costos, 55
- ## D
- datos en espera, 78
 - DC (centro de distribución), 151
 - Dc (costo de la demanda anual por unidad), 64
 - demanda, 69
 - contra ventas, 121-122
 - distribuciones empíricas, 116-118
 - durante los tiempos de espera de los centros de distribución minoristas, 31
 - incertidumbre de la, 70-73
 - probabilidad acumulativa, 71
 - tendencia de la demanda, 104
 - demanda durante el plazo de entrega
 - control del inventario, 40-51
 - errores de pronóstico, 43-44
 - inventario disponible, 44-45
 - desafíos al proceso titular, 151-152
 - descuentos por cantidad, 64-65
 - disposición de estantería, venta minorista, 171-172
 - disposición de los anaqueles minoristas, 171-172
 - distribución acumulativa de Poisson, 49
 - distribución de Poisson de la demanda, 121
 - distribución gamma, 48
 - simulaciones del inventario en Excel, 121
 - distribuciones censuradas, 137-140
 - distribuciones empíricas
 - demanda y plazo de entrega, 116-118
 - incertidumbre en los procesos del inventario, 32-34
 - distribuciones normales, incertidumbre en los procesos del inventario, control de inventario, 36
 - DOI (días de inventario disponible), 182
 - dosificación del pedido, efecto látigo (*bullwhip*), 158
 - DRP (planeación de necesidades de distribución), 143
 - DSD (entrega directa a las tiendas), 168
 - duración de ejecución de la simulación, 123
-

E

- efecto látigo (*bullwhip*), 158-160
 - contra agrupación de riesgos, 159
 - costos, 159
- entrega directa a las tiendas (DSD), 168
- equilibrio de periodo parcial (PPB), 141
- error(es)
 - de ejecución, simulaciones de inventario, 125
 - de pronóstico, demanda durante el plazo de entrega, 43-44
- errores de ejecución, simulaciones del inventario, 125
- errores de pronóstico, demanda durante el plazo de entrega, 43-44
- especulación, 162
- estimación de ITF (funciones de rendimiento del inventario), 146-148
- Excel, simulaciones del inventario, 118-119
 - calibración, 127-128
 - demanda contra ventas, 121-122
 - distribución
 - de Poisson de la demanda*, 121
 - gamma*, 121
 - duración de la corrida de simulación, 123
 - errores de ejecución, 125
 - inventarios inicial y final, 120
 - medición del inventario, 123
 - número de repeticiones, 124
 - plazo de entrega y pedidos, 122
 - variaciones en el modelo, 126-127

F

- FIFO (primero en entrar, primero en salir), 24
- flujo del inventario de la cadena de suministro
 - agrupación de riesgos, 155-157
 - aplazamiento de inventario, 160-162
 - consignación, 163
 - inversa*, 163-164
 - CPFR (planeación, pronóstico y reabastecimiento colaborativos), 164
 - efecto látigo (*bullwhip*), 158-160
 - empujar contra jalar, 164-165
 - fusión en tránsito, 162
 - impacto de la cadena de suministro global, 166-168
 - optimización de la colocación del inventario, 165-166

- separación de canales, 165
- VMI (inventario administrado por el proveedor), 162-163

- FOQ (cantidad de pedido fijo), 141
- funciones de rendimiento del inventario (ITF), 143-148
 - estimación de, 146-148
- fusión en tránsito, 162

G

- GMROI (margen bruto del rendimiento sobre la inversión en inventario), 178

H

- Hewlett-Packard (HP), inventario pendiente de surtir, 26
- HTSUS (arancel de aduanas armonizado de Estados Unidos), 167

I

- ILFR (índice de reabastecimiento a nivel de artículo), 11
- impacto de la cadena de suministro global, 166-168
- impuesto sobre el valor agregado (IVA), 167
- incertidumbre
 - con distribuciones
 - empíricas*, 32-34
 - normales*, 36
 - en la demanda y el pronóstico, 70-73
 - en procesos de inventario, control del inventario, 31-32
 - medición de, 79-80
- índice de reabastecimiento a nivel de artículo (ILFR), 11
- índices estacionales, 97
- integral de pérdida, 51
- introducciones de nuevos artículos, 170
- inventario(s), 1
 - administración de la cadena de suministro, importancia de la, 5-6
 - almacenamiento, 149
 - costos del, 22-23
 - fijos y variables del pedido*, 25
 - inventario pendiente de surtir*, 25-27
 - inversión, costo y valor*, 23-24

definido
perspectiva de administración de riesgos, 3-4
perspectiva de la eficiencia en la administración de la cadena de suministro, 2-3
perspectiva de las NIF, 2
perspectiva equilibrada, 4
 papel en la administración de la cadena de suministro, 4-5
 perpetuo, 24
 tipos de, 9-11
inventario de bienes terminados, 21
inventario de ciclo, 11-13
inventario de demostración, 18
inventario de materia prima, 20
inventario de partes de repuesto, 22
inventario de seguridad, 13-15
inventario de trabajo en proceso, 20-21
inventario en tránsito, 15-17
inventario estacional, 19
inventario minorista en la bodega, 18-19
inventario promocional, 17
reabastecimiento de inventario comprado por impulso con varias ubicaciones, 20
reabastecimiento de inventario minorista en anaquel, 19
inventario de bienes terminados, 21
inventario de ciclo, 11-13
inventario de demostración, 18
inventario de la trastienda minorista, 18-19
inventario de materia prima, 20
inventario de partes de repuesto, 22
inventario de seguridad, 13-15
inventario de trabajo en proceso, 20-21
inventario del periodo de protección (PPIS), 41
inventario disponible, demanda durante el plazo de entrega, 44-45
inventario en tránsito, 15-17
inventario estacional, 19
inventario perpetuo, 24
inventario promedio, 179
inventario promocional, 17
inversión, costos del inventario, 23-24
ISF (archivo del estatus del inventario), 141
ITF (funciones de rendimiento del inventario), 143-148
 estimación de, 146-148
IVA (impuesto sobre el valor agregado), 167

K

KPI (indicadores de desempeño clave), 175, 184

L

L4L (lote por lote), 141

LIFR (índice de reabastecimiento de artículos en línea), 184

lote por lote (L4L), 141

LTL (menos que una carga de camión), 53, 168-169

M

mantenimiento, inventario de piezas de repuesto, 22

MAPE (error porcentual absoluto medio), 80

marcos de referencia, medición del desempeño del inventario, 183

margen bruto del rendimiento sobre la inversión del inventario (GMROI), 178

masa de probabilidad, 49

MBE (administración por excepción), 184

medición del desempeño del inventario, 175-176

análisis de compensación, 176

compensación entre inventario y transporte, 176-177

compensación entre tamaño del lote e inventario, 178

compensación entre variedad de productos e inventario, 177-178

MBE (administración por excepción), 184

modelo 4-V, 183

tableros de medición, 184-186

tipos de medidas, 178

medición del inventario, simulaciones de inventario, 123

medición de la incertidumbre, 79-80

medidas de la varianza, modelo 4-V, 182-183

medidas de valor, modelo 4-V, 179-181

medidas de velocidad, modelo 4-V, 181-182

medidas de volumen, modelo 4-V, 179

menos de una carga de camión (LTL), 53

métodos de series de tiempo, 73

datos en espera, 78

medición de la incertidumbre, 79-80

mover promedios, 73-75

promedios simples, 75-76

pronósticos
ajustados por estaciones, 89-102
ingenuos, 75
 sobre las observaciones de ajuste, 77-78
 suavizamiento exponencial, 81-85
ajustado a la tendencia, 86-88
 tendencia ajustada, 88-89

métricas, inventario, 5-6

modelo 4-V, 179, 182

medidas
de valor, 179-181
de varianza, 182-183
de velocidad, 181-182
de volumen, 179

modelo del vendedor de periódicos, 135-137
 distribuciones censuradas, 137-140

modelo EOQ, 57

modelos aditivos, 107-108

modelos casuales, 103

pronósticos
modelos aditivos y multiplicativos, 107-108
regresión, 103-107
suposiciones de regresión, 108-109

modelos multiplicativos, 107-108

mover promedios, 73-75

MPS (programa maestro de producción), 141-142

MRP (planeación de los requisitos de materiales), 140-142

N

NIF (normas de información financiera), 2

NMFC (National Motor Freight Classification), 53

NMFTA (National Motor Freight Traffic Association), 53

O

observaciones de sobreajuste, 77-78

optimización de la colocación del inventario, 165-166

P

paquetes interiores, 170

pedidos, plazo de entrega y, simulaciones del inventario, 122

periodo de protección, 11

perspectiva de administración de riesgos, inventario, 3-4

perspectiva de la eficiencia en la administración de la cadena de suministro, inventario, 2-3

perspectiva equilibrada, inventario, 4

planeación de necesidades de distribución (DRP), 143

planeación de los requisitos de materiales (MRP), 140-142

planeación de ventas y de operaciones (S&OP), 5

planeación, pronóstico y reabastecimiento colaborativos (CPFR), 164

plazo de entrega
 distribuciones empíricas, 116-118
 pedidos y, simulaciones de inventario, 122

POQ (cantidad de pedido periódica), 141

POS (punto de venta), 5, 131

posición del inventario, 38-39

PPB (equilibrio de periodo parcial), 141

PPIS (inventario del periodo de protección), 41

primero en entrar, primero en salir (FIFO), 24

probabilidad acumulada de la demanda, 71

proceso de reabastecimiento de revisión continua, 131

proceso descentralizado de reabastecimiento del inventario, 132

procesos de reabastecimiento, 10

procesos de reabastecimiento del inventario, 36-38
 posición de inventario, 38-39
 simulaciones de eventos discretos, 112-115
 unidades esperadas por ciclo de reabastecimiento, 51-52

procesos del inventario, simulaciones de eventos discretos, 112-115
 aleatoriedad en la demanda, 115-116
 simulación del inventario en Excel. *Vea*
 simulaciones del inventario en Excel

programa maestro de producción (MPS), 141-142

promedios simples, 75-76

pronóstico(s), 69
 incertidumbre en los, 70-73
 métodos de series de tiempo, 73
datos en espera, 78
medir la incertidumbre, 79-80
promedios simples, 75-76
pronóstico ingenuo, 75
pronósticos ajustados estacionalmente, 89-102
sobre las observaciones de ajuste, 77-78

suavizamiento exponencial, 81-85
suavizamiento exponencial ajustado a la tendencia, 86-88
tendencia ajustada, 88-89
 modelos casuales, 103
aditivos y multiplicativos, 107-108
regresión, 103-107
suposiciones de regresión, 108-109
pronósticos ajustados por estaciones, 89-102
pronósticos ingenuos, 75
punto de venta (POS), 5, 131

Q

Q,ROP (punto fijo del pedido), 11
 demanda durante el plazo de entrega, 47
 inventario de ciclo, 11-13
 inventario de seguridad, 13-15
 procesos de reabastecimiento del inventario, 34-37

R

reabastecimiento de inventario comprado por impulso con varias ubicaciones, 20
 reabastecimiento de inventario minorista en anaqueles, 19
 rebajas, 161
 reducción de costos, 23
regresión, 103-107
 suposiciones de regresión, 108-109
 relación de varianzas, efecto látigo (*bullwhip*), 159
 rendimiento sobre activos (ROA), 175
 repeticiones, simulaciones del inventario, 124
 ROA (rendimiento sobre activos), 175
 ROP, demanda durante el plazo de entrega, 45-46

S

S&OP (planeación de ventas y operaciones), 5
 separación por canales, 165
 servicio, 10
simulaciones de eventos discretos, 50
 aleatoriedad en la demanda, 115-116
 procesos de reabastecimiento del inventario, 112-115

simulaciones del inventario en Excel, 118-119
 calibración de, 127-128
 demanda contra ventas, 121-122
 distribución
 de Poisson de la demanda, 121
 gamma, 121
 duración de la corrida de simulación, 123
 errores de ejecución, 125
 inventarios inicial y final, 120
 medición del inventario, 123
 número de repeticiones, 124
 plazo de entrega y pedidos, 122
 variaciones en el modelo, 126-127
sin costos fijos de pedido, administración del inventario multiescalones, 134-135
sistema centralizado de administración del inventario, 133
sistema kanban, 165
sistemas de inventario de empujar, 164-165
sistemas de inventario de jalar, 164-165
SKU (unidad individual de inventario), 12, 129
suavizamiento exponencial, 81-85
 ajustado a la tendencia, 86-88
suavizamiento exponencial ajustado a la tendencia, 86-88
 suposiciones de regresión, 108-109
 surtido, 169-170

T

tableros de medición, 184-186
 tableros de medición, cuadro de mando integral, 184-186
 tarimas, 170
 tasa de cumplimiento, costo anual total en función de la cantidad de pedido, 59-60
 tendencia ajustada, 88-89
 tendencia de la demanda, 104
tipos de inventario, 9-11
 inventario
 de bienes terminados, 21
 de ciclo, 11-13
 de demostración, 18
 de materia prima, 20
 de piezas de repuesto, 22
 de seguridad, 13-15
 de trabajo en proceso, 20-21

de trastienda minorista, 18-19

en tránsito, 15-17

estacional, 19

promocional, 17

reabastecimiento de inventario

comprado por impulso con varias ubicaciones, 20

minorista en anaqueles, 19

tipos de medidas, medición del rendimiento del inventario, 178

TL (carga en camión), 53

(T,OUL), 11

demanda durante el plazo de entrega, 46

inventario de ciclo, 11-13

inventario de seguridad, 13-15

transporte aéreo, inventario en tránsito, 17

transporte marítimo, inventario en tránsito, 17

U

U(I), 130

unidad individual de inventario (SKU), 12, 129

unidades, 170

unidades esperadas por ciclo de reabastecimiento, control del inventario, 51-52

V

valor, costos del inventario, 23-24

***Value Dime and Five*, 55**

variaciones en el modelo, simulaciones del inventario, 126-127

ventas contra demanda, 121-122

VMI (inventario administrado por el proveedor), 162-163

Siglas utilizadas en este libro

BOM	lista de materiales (<i>bill of materials</i>)
BSC	cuadro de mando integral (<i>balanced scorecard</i>)
<i>bullwhip</i>	efecto látigo
C(Q)	curva de costos
C2C	ciclo de efectivo a efectivo (<i>cash-to cash cycle</i>)
CPFR	planeación, pronóstico y reabastecimiento colaborativos (<i>collaborative planning, forecasting, and replenishment</i>)
CSCMP	Consejo de Profesionales de Administración de la Cadena de Suministro (<i>Council of Supply Chain Management Professionals</i>)
DC	centro de distribución (<i>distribution center</i>)
DDLT	demanda durante el plazo de entrega (<i>demand during lead time</i>)
DOI	días de inventario disponible (<i>days of inventory on hand</i>)
DOS	días de suministro (<i>days of supply</i>)
DRP	planeación de necesidades de distribución (<i>distribution requirements planning</i>)
DSD	entrega directa a las tiendas (<i>direct store delivery</i>)
EDDLT	demanda esperada durante el plazo de entrega (<i>expected demand during the lead time</i>)
FE	error de pronóstico (<i>forecast error</i>)
FIFO	primero en entrar, primero en salir (<i>first-in, first-out</i>)
FOB	flete prepagado en el origen
FOQ	cantidad de pedido fija (<i>fixed order quantity</i>)
FTZ	zona de libre comercio (<i>foreign trade zone</i>)
GMROI	margen bruto del rendimiento sobre la inversión del inventario (<i>gross margin return on inventory investment</i>)
HTSUS	arancel de aduanas armonizado de Estados Unidos (<i>harmonized tariff schedule of the United States</i>)
ILFR	índice de reabastecimiento a nivel de artículo (<i>item-level fill rate</i>)
IP	posición de inventario (<i>inventory position</i>)
ISF	archivo de estatus del inventario (<i>inventory status file</i>)
ITF	funciones de rendimiento del inventario (<i>inventory throughput functions</i>)
IVA	impuesto al valor agregado
JIT	justo a tiempo (<i>just-in-time</i>)

KPI	indicadores de desempeño clave (<i>key performance indicators</i>)
L4L	lote por lote
LIFO	último en entrar, primero en salir (<i>last-in, first-out</i>)
LIFR	índice de reabastecimiento de artículos en línea (<i>line item fill rate</i>)
LTL	menos de una carga de camión (<i>less-than-truckload</i>)
MAD	desviación media absoluta (<i>mean absolute deviation</i>)
MAPE	error porcentual absoluto medio (<i>mean absolute percent error</i>)
MBE	administración por excepción (<i>management by exception</i>)
MPS	programa maestro de producción (<i>master production schedule</i>)
MRP	planeación de los requisitos de materiales (<i>material requirements planning</i>)
NIF	Normas de información financiera
NMFC	National Motor Freight Classification
NMFTA	National Motor Freight Traffic Association
OLS	mínimos cuadrados ordinarios (<i>ordinaty least squares</i>)
OOS%	porcentaje de inventario pendiente de surtir (<i>percentage out of stock</i>)
POQ	cantidad de pedido periódica (<i>periodic order quantity</i>)
POS	punto de venta (<i>point of sale</i>)
PPB	equilibrio de periodo parcial (<i>part period balancing</i>)
PPIS	inventario del periodo de protección (<i>protection period in-stock</i>)
PPRC	planeación, pronóstico y reabastecimiento colaborativos
Q,ROP	punto fijo del pedido (<i>fixed order point</i>)
RBS	inventario minorista en la bodega (<i>retail backroom stock</i>)
ROA	rendimiento sobre activos (<i>return on assets</i>)
ROP	punto de pedido (<i>reorder point</i>)
S&OP	planeación de ventas y de operaciones (<i>sales and operations planning</i>)
SIR	proporción entre ventas e inventario (<i>sales to inventory ratio</i>)
SKU	unidad individual de inventario (<i>stock-keeping-unit</i>)
SS	inventario de seguridad <i>safety stock</i>
SWC	ventas respecto del capital de trabajo (<i>sales to working capital</i>)
T,OUL	pedido a nivel (<i>order up to level</i>)
TL	carga en camión (<i>truckload</i>)
VMI	inventario administrado por el proveedor (<i>vendor managed inventory</i>)
σ_{FE}	desviación estándar del error de pronóstico

¿Cuál es el número de existencias que deben mantenerse para satisfacer el servicio a los clientes? ¿Cómo reducir las existencias para disminuir los costos de la empresa? ¿Qué decisiones tomar en cada parte del proceso de un inventario en beneficio de la empresa? Éstas y otras inquietudes del proceso de inventarios se responden en *Administración de inventarios* de los expertos en la materia: Matthew A. Waller y Terry L. Esper, especialistas de renombre mundial, en colaboración con el Consejo de Profesionales de Gestión de la Cadena de Suministro (CSCMP).

Este libro es una guía completa que ilustra los principios y estrategias para el flujo eficiente de inventarios a lo largo de la cadena de suministro. Presenta los conceptos fundamentales y críticos que afectan la gestión de la cadena de suministro y analiza la necesidad fundamental del inventario. Detalla la forma como cada decisión afecta el valor del producto y las variables que deben tomarse en cuenta en cada nivel del proceso para elegir la mejor decisión a corto, mediano y largo plazos.

Sin duda este texto se convertirá en material imprescindible para los alumnos que cursen cualquier asignatura relacionada con la administración de inventarios, pero también será una referencia básica para los profesionales en su práctica diaria.

Entre los temas sobresalientes de este texto destacan los siguientes:

- Inventario básico y conceptos.
- Elementos clave para la administración de inventarios.
- Flujos estratégicos.
- Planeación y manejo de inventarios.
- Marcos de evaluación para el desarrollo del proceso de administración de inventarios.

Para más información sobre este libro visite:

www.pearsonenespañol.com/waller

www.pearsonenespañol.com

ISBN 978-607-32-4113-7



9 786073 241137