

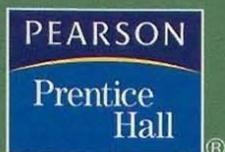
Administración de operaciones ^{8e}

Lee
Krajewski

Procesos y cadenas de valor

Larry
Ritzman

Manoj
Malhotra



7

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, usted podrá:

1. Entender la teoría de restricciones.
2. Definir capacidad y utilización, y su relación con las mediciones financieras del desempeño.
3. Identificar los cuellos de botella.
4. Aplicar la teoría de restricciones a las decisiones sobre la mezcla de productos.
5. Describir las economías y deseconomías de escala.
6. Identificar un método sistemático para la planificación de la capacidad.
7. Describir cómo los modelos, simulación y árboles de decisiones de las filas de espera pueden ayudar a tomar decisiones sobre capacidad.



Después de que las tasas hipotecarias bajaron de manera radical, Eastern Financial Florida Credit Union recibió infinidad de solicitudes de personas que querían refinanciar sus préstamos de vivienda. Para solucionar el cuello de botella, los gerentes de la compañía implementaron los principios de la teoría de restricciones.

CAPÍTULO 7

Administración de restricciones

EASTERN FINANCIAL FLORIDA CREDIT UNION

Eastern Financial Florida Credit Union (EFFCU) es la unión de crédito más grande en el sur de Florida y la tercera más importante en ese estado de la Unión Americana, con 1800 millones de dólares en activos. Tiene 21 sucursales en el sur de Florida y la región de Tampa Bay, atiende a más de 900 compañías que son socias de la unión de crédito y ofrece servicios financieros a más de 197,000 socios particulares, o clientes. Los últimos tres años han sido muy intensivos en cuanto se refiere al refinanciamiento de hipotecas, en virtud de que las tasas cayeron a su nivel más bajo en 40 años. Durante este tiempo, 92% de los acreedores hipotecarios tenían razones económicas para refinanciar. Debido a estas tasas históricas, el departamento de préstamos hipotecarios de EFFCU tuvo que hacer frente al problema de tener más solicitudes de préstamos (compra y refinanciamiento) de las que podía procesar de manera oportuna. Como resultado, EFFCU no podía comprometerse a fijar una fecha de cierre hasta que el proceso estaba ya muy avanzado, los tiempos de espera eran demasiado largos, las prioridades

cambiaban constantemente y era necesario gastar mucho dinero. Estas condiciones crearon un ambiente de trabajo tenso en el que era difícil responder a las solicitudes urgentes de los socios. EFFCU necesitaba ayuda.

En diciembre de 2002, la compañía decidió implementar la teoría de restricciones (TOC, del inglés theory of constraints) y sus principios relacionados para crear un entorno en el que los compromisos con los socios podían cumplirse sin trastornar el flujo de trabajo. Posteriormente, la compañía descubrió que el cuello de botella en el flujo de trabajo se estaba formando en su departamento de seguros. A fin de administrar esta restricción, se adoptaron medidas para garantizar que nunca le faltara trabajo al departamento de seguros y que siempre tuviera expedientes para trabajar con ellos; además, se impartió capacitación interfuncional y respaldo para ayudar al departamento cuando fuera necesario. Al tomar todas las demás decisiones en torno de las necesidades del departamento de seguros, la capacidad de EFFCU para tramitar los préstamos y cerrarlos puntualmente mejoró de manera muy considerable.



Para recursos adicionales del capítulo, consulte el CD-ROM del estudiante o el sitio Web complementario (ambos en inglés) en www.pearsoneducacion.net/krajewski

La implementación de la TOC en EFFCU se inició en marzo de 2003. Todos los empleados que trabajaban en el proceso de primera hipoteca recibieron capacitación y los sistemas de incentivos se alinearon con la forma en que dichos empleados observaban el plan de mejoramiento. Cuando al cabo de tres meses las tasas hipotecarias cayeron al nivel más bajo en los últimos 40 años, EFFCU pudo satisfacer la gran demanda de préstamos, mientras que muchas otras instituciones no lo lograron. Las fechas de cierre de las hipotecas se cumplieron a una tasa mejor que 99%, y las quejas de los socios disminuyeron espectacularmente, incluso en el momento

más álgido de la crisis de refinanciamiento. Además, con el flujo de trabajo mejorado, se redujo la necesidad de que los empleados trabajaran tiempo extra.

No es de sorprender que las utilidades de EFFCU aumentaran. La compañía está pensando ahora en implementar iniciativas similares en su área de préstamos sobre el valor líquido de la vivienda. Se ha comprometido a seguir un plan continuo para administrar aún mejor los flujos de trabajo, acortar todavía más los tiempos de espera y satisfacer más a sus socios.

Fuente: "Eastern Financial Florida Credit Union: Gaining a Competitive Advantage for Mortgage Lending", www.goldratt.com/efcu.htm; y www.efcu.org, junio de 2005.

restricción

Cualquier factor que limita el desempeño de un sistema y restringe su producción.

capacidad

La tasa de producción máxima de un proceso o sistema.

cuello de botella

Recurso de restricción de capacidad (CCR) cuya capacidad disponible limita la aptitud de la organización para satisfacer el volumen de productos, la mezcla de productos o la fluctuación de la demanda requerida por el mercado.

Suponga que una empresa reestructuró uno de sus procesos por medio de la reingeniería y, pese a todo, los resultados fueron decepcionantes. Los costos siguen siendo altos y la satisfacción de los clientes sigue siendo baja. ¿Cuál podría ser el problema? La respuesta podría ser las restricciones que quedan en uno o más pasos en los procesos de la empresa. Una **restricción** es cualquier factor que limita el desempeño de un sistema y restringe su producción, en tanto que **capacidad** es la tasa de producción máxima de un proceso o sistema. Cuando existen restricciones en cualquiera de los pasos, como ocurrió en Eastern Financial Florida Credit Union, la capacidad puede desequilibrarse, es decir, puede haber demasiada capacidad en algunos departamentos y muy poca en otros. En consecuencia, la producción total del sistema resulta afectada.

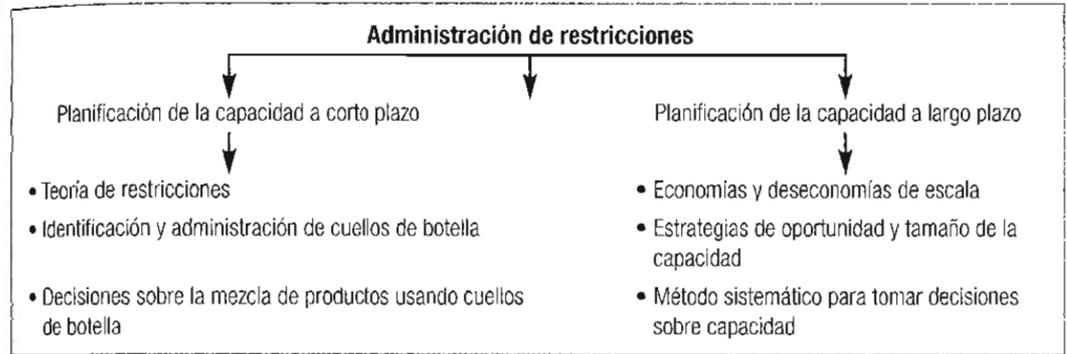
Las restricciones pueden presentarse en cualquier punto de la cadena de suministro, con los proveedores o clientes de la empresa, o dentro de uno de los procesos de la compañía, como el de desarrollo de productos y servicios o surtido de pedidos. Srikanth y Umbile (1997) identifican tres tipos de restricciones: físicas (por lo general, capacidad de máquinas, mano de obra o estaciones de trabajo o escasez de materiales, pero podría ser espacio o calidad), de mercado (la demanda es menor que la capacidad), o administrativas (políticas, indicadores de medición o modos de pensar que crean restricciones que entorpecen el flujo de trabajo). **Cuello de botella** es un tipo especial de restricción que se relaciona con la falta de capacidad de un proceso y, por tanto, también se conoce en ciertas condiciones como *recurso de restricción de capacidad* (CCR, del inglés *capacity constraint resource*). Se define específicamente como cualquier recurso cuya capacidad disponible limita la aptitud de la organización para satisfacer el volumen de productos, la mezcla de productos o la fluctuación de la demanda requerida por el mercado. Un sistema o proceso empresarial tiene por lo menos una restricción o cuello de botella; de lo contrario, su producción sería ilimitada.

Los gerentes son responsables de asegurar que la empresa tenga la capacidad necesaria para satisfacer la demanda presente y futura. De lo contrario, la organización no podría aprovechar las oportunidades para crecer y obtener utilidades. Por lo tanto, realizar ajustes para superar las restricciones es parte importante del trabajo. La experiencia de Eastern Financial Florida Credit Union y otras organizaciones que se desenvuelven en el campo del cuidado de la salud, la banca y la industria manufacturera demuestra la importancia que la administración de las restricciones y los planes de capacidad reviste para el futuro de la organización.

➤ ADMINISTRACIÓN DE RESTRICCIONES EN LA ORGANIZACIÓN ◀

Las decisiones relacionadas con las restricciones y capacidad de un proceso deben tomarse a la luz de la función que el proceso desempeña dentro de la organización y la cadena de valor en su conjunto, porque aumentar o reducir la capacidad de un proceso tiene impacto en los demás procesos de la cadena. Por ejemplo, para ampliar su capacidad en 1989, FedEx compró Flying Tigers, una empresa de aviones de carga de la región Asia-Pacífico. Debido al auge de China en la actividad económica, la decisión ha resultado ser acertada. Sin embargo, el aumento de la capacidad de aviones por sí sola no es la razón por la que la decisión fue exitosa. FedEx también evaluó su proceso de relaciones con los clientes para ver si existía un volumen suficiente de clientes que justificara la medida. La compañía también examinó su proceso de reparto terrestre para ver si era capaz de manejar cargas de trabajo mayores. Toda la cadena de valor, desde la entrada del pedido hasta la entrega, tuvo que diseñarse para ser eficaz.

El ejemplo de FedEx y Flying Tigers muestra que las empresas deben administrar sus restricciones y tomar decisiones sobre la capacidad al nivel del proceso individual, así como al nivel de la organización. Las decisiones detalladas y las opciones que se toman dentro de cada uno de estos niveles afectan dónde se presentarán las restricciones de recursos o cuellos de botella, tanto dentro como entre líneas departamentales. Solucionar un cuello de botella en una parte de una organización tal vez no produzca el efecto deseado si no se atiende también un cuello de botella en otra parte de la organización. Los gerentes de todas las empresas deben entender cómo identificar y administrar los cuellos de botella, cómo relacionar las mediciones de capacidad y desempeño de un proceso con las de otro, y cómo usar esa información para determinar la mejor mezcla de productos de la empresa. Además, estas decisiones deben tomarse a la luz de varios aspectos a largo plazo, como las economías y deseconomías de escala de la empresa, los colchones de capacidad, las estrategias de oportunidad y tamaño y el equilibrio entre el servicio al cliente y la utilización de la capacidad. Este capítulo, organizado de acuerdo con el tipo de decisiones que se toman para diferentes horizontes de tiempo en la administración de las restricciones, explica cómo los gerentes pueden tomar mejor dichas decisiones. La primera parte del capítulo se centra en cómo utilizar mejor la capacidad disponible en el corto plazo, en tanto que en la segunda parte se explica cómo revisar los niveles de capacidad y determinar cuándo agregar o reducir capacidad para el largo plazo. Las cuestiones de corto y largo plazo asociadas con la administración de las restricciones y la capacidad son importantes, y deben entenderse en conjunto.



➤ LA TEORÍA DE RESTRICCIONES ◀

La teoría de restricciones (TOC, del inglés *theory of constraints*) es un método sistemático de administración que se centra en administrar activamente las restricciones que impiden el progreso de la empresa hacia su meta de maximizar el total de fondos o ventas con valor agregado menos los descuentos y los costos variables. Eli Goldratt, un reconocido analista de sistemas empresariales, desarrolló la teoría hace casi tres décadas. Ésta describe un proceso deliberado para identificar y superar las restricciones. El proceso se centra no sólo en la eficiencia de los procesos individuales, sino también en los cuellos de botella que limitan el sistema en su conjunto. EFFEUCU, en la viñeta de introducción, siguió esta teoría para mejorar sus operaciones.

Los métodos de la TOC aumentan las utilidades de la empresa con mayor eficacia que los métodos tradicionales de contabilidad de costos porque son más sensibles al mercado. La mayoría de los métodos de contabilidad de costos se centran en maximizar la producción de los procesos individuales en el corto plazo, en lugar de centrarse en lograr que los materiales fluyan con rapidez a través de todo el sistema. Sin embargo, este método no incrementa las utilidades en todo el sistema si se crean cuellos de botella. Para aumentar las utilidades, las empresas deben estudiar el panorama general: cómo pueden mejorar sus procesos para aumentar los flujos de trabajo de la empresa en su conjunto o reducir sus niveles de inventarios y personal.

MEDICIÓN DE LA CAPACIDAD, UTILIZACIÓN Y DESEMPEÑO EN LA TOC

Como es lógico, un gerente tiene que medir la capacidad de los procesos para administrar las restricciones a corto plazo y aplicar la TOC. Ninguna medición de la capacidad es aplicable a todas las situaciones. Un comerciante minorista mide la capacidad en función del valor monetario de las ventas anuales generadas por metro cuadrado, mientras que una aerolínea usa como medida de capacidad el número de asientos-millas disponibles (ASM) al mes. Un teatro mide la capacidad por el número de sus localidades y un taller tiene como medida de capacidad el número de horas máquina. En general, la capacidad se expresa en cualquiera de estas dos formas: en términos de las mediciones de salida del producto o como mediciones de los insumos.

Mediciones de capacidad basadas en la producción Las mediciones basadas en la producción son más útiles cuando se aplican a procesos individuales dentro de la empresa, o cuando la

USO DE LAS OPERACIONES PARA COMPETIR

Las operaciones como arma competitiva
Estrategia de operaciones
Administración de proyectos

ADMINISTRACIÓN DE PROCESOS

Estrategia de procesos
Análisis de procesos
Desempeño y calidad de los procesos
Administración de restricciones
Distribución de los procesos
Sistemas esbeltos

ADMINISTRACIÓN DE CADENAS DE VALOR

Estrategia de cadena de suministro
Localización
Administración de inventarios
Pronósticos
Planificación de ventas y operaciones
Planificación de recursos
Programación

teoría de restricciones (TOC)
Método sistemático de administración que se centra en administrar activamente las restricciones que impiden el progreso de la empresa hacia su meta.

empresa provee una cantidad relativamente pequeña de servicios y productos estandarizados. Los procesos de alto volumen, como los de una fábrica de automóviles, son un buen ejemplo. En este caso, la capacidad se mide en función del número de automóviles que se fabrican al día. Sin embargo, muchos procesos producen más de un servicio o producto. A medida que aumenta el grado de personalización y variedad en la mezcla de productos, las mediciones de la capacidad basadas en la producción resultan menos útiles. Entonces, las mediciones basadas en los insumos son la opción habitual para medir la capacidad.

Mediciones de capacidad basadas en los insumos Las mediciones basadas en los insumos se utilizan generalmente en procesos flexibles de bajo volumen, como los que se asocian con un fabricante de muebles a la medida. En este caso, el fabricante de muebles podría medir la capacidad en términos de los insumos, como el número de estaciones de trabajo o la cantidad de trabajadores. El problema con las mediciones basadas en los insumos es que la demanda se expresa invariablemente como una tasa de producción. Si el fabricante de muebles quiere mantenerse al día con la demanda, tiene que convertir la demanda anual de muebles en las horas de mano de obra y el número de empleados necesarios para llenar esas horas. Más adelante en este capítulo se explicará con precisión cómo se realiza esta conversión de insumos a salida de productos.

Utilización La utilización es el grado hasta el cual se usa actualmente el equipo, el espacio o la mano de obra y se mide como la razón de la tasa promedio de producción a la capacidad máxima (expresada como un porcentaje):

$$\text{Utilización} = \frac{\text{Tasa promedio de producción}}{\text{Capacidad máxima}} \times 100\%$$

La tasa promedio de producción y la capacidad deben medirse en los mismos términos, ya sea en tiempo, clientes, unidades o dinero. La tasa de utilización indica la necesidad de agregar capacidad adicional o eliminar aquella que es innecesaria. La principal dificultad para calcular la utilización radica en definir la *capacidad máxima*, es decir, el denominador de la razón. Un número, como atender a 40 clientes al día, no indica cuánto tiempo puede sostenerse esa tasa. Ser capaz de atender a 40 clientes durante un pico de una semana es muy diferente de sostener esa capacidad durante seis meses. Aquí nos referimos a la capacidad máxima como el nivel más alto de producción que un proceso puede sostener razonablemente durante un periodo largo, con horarios de trabajo realistas para los empleados y el equipo que ya está instalado. En algunos procesos, este nivel de capacidad implica una operación de un turno; en otros, implica una operación de tres turnos. Es posible que un proceso funcione más allá de su nivel de capacidad usando métodos marginales de producción, como tiempo extra, turnos adicionales, reducción temporal de las actividades de mantenimiento, personal de apoyo y subcontratación. Aun cuando todas las opciones mencionadas ayudan a cubrir picos temporales de producción, no es posible sostenerlas por mucho tiempo. Los empleados no quieren trabajar demasiadas horas extra por periodos prolongados, por lo que la calidad decae. Además, los costos asociados con el tiempo extra incrementan los costos globales de la empresa.

Cuando los procesos se operan cerca (o incluso temporalmente por encima) de su capacidad, el resultado es bajo nivel de satisfacción de los clientes, utilidades mínimas e incluso pérdidas de dinero a pesar de los altos niveles de ventas. Esto fue lo que sucedió con los fabricantes de aviones estadounidenses a finales de la década de 1980, crisis que terminó cuando Boeing adquirió McDonnell Douglas en 1997 para acabar con los costos exorbitantes y las utilidades en picada.

Mediciones del desempeño en TOC Para comprender cabalmente el impacto de la utilización en el desempeño, es importante entender las mediciones pertinentes de desempeño y capacidad en el nivel operativo, así como su relación con las mediciones financieras, entendidas en un sentido amplio, al nivel de la empresa. Estas mediciones y relaciones son cruciales para aplicar con éxito los principios de la TOC y se definen en la tabla 7.1.

Desde la perspectiva de la TOC, toda inversión de capital en el sistema, incluida la inversión en maquinaria y materiales de trabajo en proceso, representa inventario porque todas podrían, en potencia, venderse para ganar dinero. Producir un producto o servicio que no conduce a una venta no aumenta el rendimiento de una empresa, pero sí incrementa su inventario y gastos de operación. Siempre es mejor administrar el sistema para que la utilización se maximice en el recurso cuello de botella a fin de maximizar también el rendimiento.

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LA TOC

El principal concepto en el que se basa la TOC es que los cuellos de botella deben programarse para maximizar su producción de servicios o productos, sin dejar de cumplir con las fechas de terminación prometidas. Por ejemplo, la fabricación de rastrillos para jardinería incluye la operación de unir un arco al cabezal. Los cabezales de los rastrillos deben proccsarse en la prensa troqueladora, soldarse al arco, limpiarse y ensamblarse en el mango, para formar así el rastrillo completo, el cual se empaqueta y, finalmente, se envía a Sears, Home Depot o Wal-Mart, de acuerdo con un programa específico de

utilización

El grado hasta el cual se usa actualmente el equipo, el espacio o la mano de obra y se mide como la razón de la tasa promedio de producción a la capacidad máxima.

TABLA 7.1

Cómo se relacionan las medidas de operación de la empresa con las mediciones financieras

Medidas de operación	Perspectiva de la TOC	Relación con las mediciones financieras
Inventario (I)	Todo el dinero invertido en un sistema para comprar cosas que se propone vender.	Una disminución en I produce un aumento en las utilidades netas, ROI y los flujos de efectivo.
Producción (P)	Tasa a la cual un sistema genera dinero por medio de las ventas.	Un incremento en P produce un aumento en las utilidades netas, ROI y los flujos de efectivo.
Gastos de operación (GO)	Todo el dinero que un sistema gasta para convertir el inventario en producción.	Una disminución en GO produce un aumento en las utilidades netas, ROI y los flujos de efectivo.
Utilización (U)	El grado hasta el cual se usa actualmente el equipo, el espacio o la mano de obra, y se mide como la razón de la tasa promedio de producción a la capacidad máxima, expresada como un porcentaje.	Un incremento en U en el cuello de botella produce un aumento en las utilidades netas, ROI y los flujos de efectivo.

reparto. Suponga que los compromisos de entrega de todos los estilos de rastrillos para el mes entrante indican que la máquina soldadora estará ocupada al 105% de su capacidad, en tanto que los demás procesos se utilizarán únicamente al 75% de su respectiva capacidad. De acuerdo con la TOC, la máquina soldadora es un recurso cuello de botella, en tanto que los procesos de troquelado, limpieza, colocación del mango, empaque y envío son recursos que no constituyen cuellos de botella. Cualquier tiempo ocioso en la máquina soldadora debe eliminarse para maximizar la producción. Por lo tanto, la dirección tendrá que centrar la atención en la programación de la máquina soldadora.

Los siete principios fundamentales de la TOC que giran en torno del uso y programación eficientes de los cuellos de botella, y el mejoramiento del flujo y producción, se resumen en la tabla 7.2. La aplicación práctica de la TOC abarca los siguientes pasos:

1. *Identificar el o los cuellos de botella del sistema.* En el ejemplo del rastrillo, el cuello de botella está en la máquina soldadora porque ésta restringe la capacidad de la empresa para cumplir con el programa de envíos y, en consecuencia, restringe los fondos totales con valor agregado. Un poco más adelante en este mismo capítulo se estudiarán con mayor detalle otras maneras de identificar los cuellos de botella.
2. *Explotar el o los cuellos de botella.* Crear programas que maximicen la producción del o los cuellos de botella. En el ejemplo del rastrillo, esto consistiría en programar la máquina soldadora con miras a maximizar su utilización, cumpliendo con los compromisos de envío en el mayor grado posible. También es necesario asegurar que sólo partes de buena calidad se pasen al cuello de botella.
3. *Subordinar todas las demás decisiones al paso 2.* Los recursos que no constituyen cuellos de botella deberán programarse de modo que apoyen el programa del cuello de botella y no produzcan más de lo que este último puede manejar. Es decir, la prensa troqueladora no debe producir un volumen mayor que el que la máquina soldadora sea capaz de manejar y las actividades de limpieza y otras operaciones posteriores deben basarse en la tasa de producción de la máquina soldadora.
4. *Elevar el o los cuellos de botella.* Si el cuello de botella sigue siendo una restricción para la producción después de que las mejoras de programación descritas en los pasos 1 a 3 se han

TABLA 7.2

Siete principios fundamentales de la teoría de restricciones

1. La atención debe centrarse en equilibrar el flujo y no en equilibrar la capacidad.
2. La maximización de la producción y la eficiencia de cada recurso no maximiza la producción de todo el sistema.
3. Una hora perdida en un cuello de botella o un recurso restringido es una hora perdida para todo el sistema. En contraste, una hora ahorrada en un recurso que no constituye un cuello de botella en un espejismo, porque no contribuye a que todo el sistema sea más productivo.
4. Se necesita inventario sólo al frente de los cuellos de botella para impedir que queden ociosos, y frente a los puntos de ensamblaje y envío para proteger los programas de los clientes. Debe evitarse generar inventarios en cualquier otra parte.
5. El trabajo, trátese de materiales, información que se procesará, documentos o clientes, debe introducirse en el sistema sólo con la frecuencia que los cuellos de botella lo necesiten. Los flujos del cuello de botella deben ser iguales a la demanda del mercado. Ajustar todo de acuerdo con el recurso más lento minimiza el inventario y los gastos de operación.
6. Activar un recurso que no constituye un cuello de botella (usarlo para mejorar la eficiencia que no incrementa la producción) no es lo mismo que utilizar el recurso cuello de botella (que sí conduce a una mejor producción). La activación de los recursos que no constituyen cuellos de botella no puede incrementar la producción ni promover un mejor desempeño de las mediciones financieras descritas en la tabla 7.1.
7. Toda inversión de capital debe considerarse desde la perspectiva de su impacto global en la producción (P), inventario (I) y gastos de operación (GO).

implementado, la gerencia debe considerar la posibilidad de incrementar la capacidad del cuello de botella. Por ejemplo, si la operación de soldadura sigue siendo una restricción después de agotar las mejoras al programa, habrá que considerar la posibilidad de incrementar su capacidad agregando otro turno u otra máquina soldadora. Hay otros mecanismos disponibles para incrementar la capacidad del cuello de botella, que se explicarán un poco más adelante.

5. *No permitir que la inercia se imponga.* Las medidas tomadas en los pasos 3 y 4 mejorarán la producción de la máquina soldadora y, tal vez, alterarán las cargas de trabajo de otros procesos. En consecuencia, es posible que la(s) restricción(es) del sistema se desplacen. Entonces, todo el proceso deberá repetirse para identificar y administrar el nuevo conjunto de restricciones.

Encontrará detalles sobre el método de programación utilizado en la TOC en Simons y Simpson (1997). Debido a su potencial para mejorar el desempeño de manera espectacular, muchos fabricantes han aplicado los principios de la teoría de restricciones, entre otros, National Semiconductor, Dresser Industries, Allied-Signal, Bethlehem Steel, Johnson Controls y Rockwell Automotive. Todos los fabricantes que implementan los principios de la TOC también pueden modificar radicalmente el modo de pensar de empleados y gerentes. En lugar de centrarse exclusivamente en sus propias funciones, ven el "panorama general" y dónde pueden hacerse otras mejoras en el sistema. Esta ventaja se evidencia con la experiencia de Bal Seal Engineering (véase la Práctica administrativa 7.1).

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA

7.1

EL USO DE LOS PRINCIPIOS DE LA TOC BENEFICIA A BAL SEAL ENGINEERING

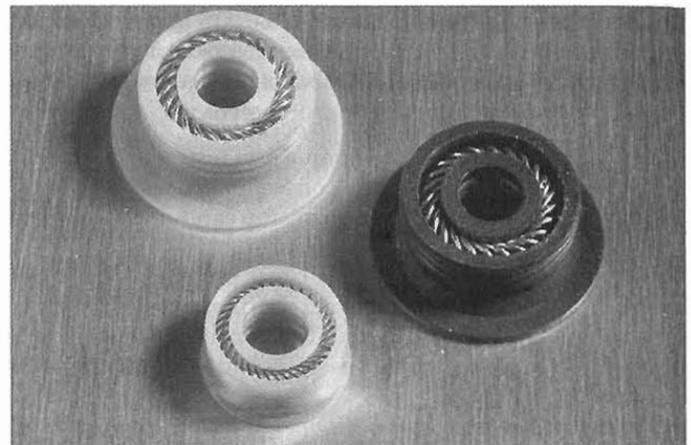
Bal Seal Engineering diseña y produce juntas y resortes para las industrias aeroespacial, automovilística, equipo médico y dental, transporte, y aparatos electrónicos. Bal Seal tiene oficinas tanto en Estados Unidos como en Europa. Sus ingenieros se especializan en soluciones únicas de sellado y ofrecen una variedad considerable de productos. Sus procesos de manufactura son por lotes.

Antes de que las prácticas de la TOC se implementaran en Bal Seal, las mediciones de mejoramiento sólo se centraban en la eficiencia de cada departamento en lo individual. Como resultado, Bal Seal tenía muchas dificultades con inventarios excesivos, tiempos de espera muy largos y todo un equipo de producción que trabajaba normalmente entre 55 y 58 horas por semana. A pesar de operar muy por encima de la capacidad, la tasa de envíos puntuales se ubicaba apenas en el rango de 80 y 85%.

¿Qué estaba sucediendo? Bal Seal formó un equipo y aprendió la TOC y los procesos de pensamiento crítico asociados con esta teoría. Los resultados fueron espectaculares y sumamente notorios. Casi de inmediato, los inventarios acumulados empezaron a agotarse. Algunos trabajadores de producción se preocuparon, porque tener inventario desperdigado por todas partes les daba una sensación de seguridad. También les preocupaban los índices de eficiencia y una posible reducción de los salarios. Un miembro del equipo de diseño se reunió con cada uno de los trabajadores directos de producción y explicó que no había de qué preocuparse si no tenían nada que hacer. En esta nueva forma de utilización de la capacidad y administración de las tasas de producción, sólo la restricción debía mantenerse productiva todo el tiempo. Los demás centros de trabajo estaban ligados a esa restricción y su labor consistía en estar disponibles y listos para cuando llegara el trabajo.

Bajo la TOC, empezó a aparecer capacidad extra por todas partes, salvo en la restricción. Mientras que la compañía había sido capaz de producir un máximo de 65,000 partes por semana, después de la TOC, la producción total aumentó a 100,000 por semana. Incluso a esta elevada tasa de producción, los centros de trabajo que no constituían restricción operaban muy por debajo de su capacidad la mayor parte del tiempo. Otros efectos casi inmediatos fueron las reducciones en los tiempos de respuesta al cliente (de seis semanas a ocho días) y una mejora en los envíos puntuales de hasta 97%. La satisfacción de los clientes aumentó, aunque al principio los clientes se preguntaban si el desempeño de Bal Seal era sólo una condición temporal. El tiempo demostró la permanencia de las mejoras.

Sin embargo, las mejoras que produjo la TOC provocaron otros cambios en la empresa. Los trabajadores estaban acostumbrados a recibir continuamente el pago de entre 15 y 18 horas de tiempo extra por semana. A medida



Juntas para ejes rotativos Juntas de blindaje EMI Juntas PTFE para movimientos alternativos

que el desempeño de la planta de Bal Seal mejoraba y la producción aumentaba, los trabajadores temieron la pérdida de ingresos. Para mitigar esos temores, la gerencia pagó a los trabajadores la misma cantidad que recibían anteriormente, a pesar de que la semana laboral era más corta. Fue una situación en la que todos salieron ganando: la gerencia obtuvo una mayor producción y los trabajadores ganaron más tiempo libre, sin merma de sus ingresos netos.

Las mejoras en las mediciones del desempeño operativo y financiero (tabla 7.1) con la aplicación de la TOC en Bal Seal Engineering fueron espectaculares. Las utilidades netas se duplicaron, los gastos de operación disminuyeron, los tiempos de espera más cortos y la mejor atención a los clientes redujeron en una verdadera ventaja competitiva. Ahora que el proceso de surtido de pedidos ha quedado limpio y ordenado, el siguiente reto consiste en recomponer el proceso de relaciones con los clientes, ya que los vendedores de Bal Seal se encargaban antes de tomar los pedidos. La meta es que los vendedores tengan más iniciativa, aumenten su contacto con los clientes y busquen negocios adicionales para aprovechar la tasa más alta de producción de la planta. Ahí también hay lecciones de la TOC que pueden aplicarse.

IDENTIFICACIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE LOS CUELLOS DE BOTELLA

Los cuellos de botella en una empresa pueden ser internos o externos, y típicamente representan un proceso o un paso que tiene la capacidad menor y la **tasa de producción (por unidad de tiempo)** mayor, es decir, el tiempo total que dura un proceso de principio a fin. Hay varias maneras de identificar dónde se produce un cuello de botella en un proceso de servicio o manufactura determinado. El cuello de botella puede presentarse en la estación de trabajo con el mayor tiempo total por unidad procesada, o la estación de trabajo con la utilización promedio más alta y la mayor carga de trabajo total, o la estación de trabajo donde aun una de reducción de un solo minuto en el tiempo de procesamiento reduce la tasa promedio de producción del proceso entero. El ejemplo 7.1 ilustra cómo identificar un paso o actividad cuello de botella en un proceso de aprobación de préstamos en un banco.

tasa de producción (por unidad de tiempo)
El tiempo total que dura un proceso de principio a fin.

Identificación del cuello de botella en un proceso de servicio

EJEMPLO 7.1

Los gerentes del First Community Bank quieren acortar el tiempo que se necesita para tramitar y aprobar las solicitudes de crédito de los clientes. El diagrama de flujo de este proceso, que consiste en varias actividades, cada una de las cuales realiza un empleado diferente del banco, se muestra en la figura 7.1. Las solicitudes de préstamo se reciben en la actividad o paso 1, donde se revisan para ver si están completas y se ponen en orden. En el paso 2, los préstamos se clasifican en distintas categorías de acuerdo con el monto del préstamo y si éste se solicita por motivos personales o comerciales. Aunque la verificación del historial de crédito comienza en el paso 3, los datos de la solicitud de préstamo se introducen en paralelo en el sistema de información para efectos de mantenimiento de registros en el paso 4. El banco conserva estos datos incluso si la solicitud de préstamo se rechaza finalmente. La decisión de aprobar o rechazar el préstamo se toma en el paso 5. Si el préstamo se aprueba, todo el papeleo para abrir la nueva cuenta de préstamo se realiza en el paso 6. El tiempo que tarda cada paso se indica entre paréntesis.

Suponiendo que no hay ningún tiempo de espera entre los pasos, ¿cuál de éstos es el cuello de botella? A la gerencia también le interesa conocer el máximo número posible de cuentas de préstamo que el banco puede terminar de procesar en una jornada de cinco horas.

SOLUCIÓN

El cuello de botella se define como el paso en el que una reducción de un solo minuto reduce la tasa promedio de producción (por unidad de tiempo). Usando esta definición, se puede ver que el paso 2 es el cuello de botella en el proceso de aprobación de préstamos, porque una reducción en el contenido de trabajo de este paso reduce la tasa total de producción por unidad de tiempo.

Se necesitan $10 + 20 + \max(15, 12) + 5 + 10 = 60$ minutos para completar una solicitud de préstamo aprobada. Aunque se supone que no hay tiempo de espera antes de ningún paso, en la práctica los procesos no siempre se desarrollan con esa fluidez. Por tanto, el tiempo real que se necesita para tramitar y aprobar un préstamo es de más de 60 minutos, debido a la llegada no uniforme de las solicitudes, las variaciones en los tiempos reales de procesamiento y otros factores relacionados.

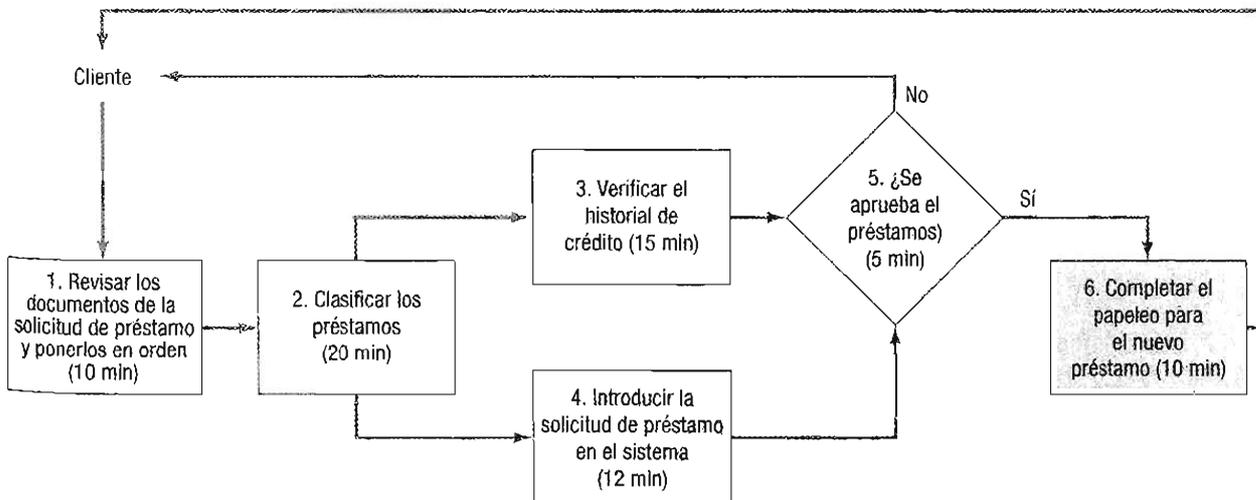


FIGURA 7.1 | Procesamiento de solicitudes de préstamo en el First Community Bank

La capacidad para tramitar los préstamos se obtiene traduciendo los "minutos por cliente" en el paso cuello de botella a "clientes por hora". En el First Community Bank, son tres clientes por hora porque en el paso 2, que es el cuello de botella, se puede procesar la solicitud de un solo cliente cada 20 minutos (60/3).

Punto de decisión El paso 2 es la restricción o cuello de botella. Si todos los préstamos se aprueban, el banco podrá completar un máximo de sólo 3 cuentas de préstamo por hora, o 15 nuevas cuentas de préstamo en una jornada laboral de cinco horas.

Un proceso de mostrador que tiene un alto grado de contacto con los clientes y divergencia no tiene los flujos lineales sencillos que se muestran en el ejemplo 7.1. Sus operaciones pueden dar servicio a muchos tipos diferentes de clientes, y las demandas de cualquiera de las operaciones pueden variar considerablemente de un día para otro. Aun así, es posible identificar los cuellos de botella si se calcula la utilización promedio de cada operación. Sin embargo, la variabilidad de la carga de trabajo también crea *cuellos de botella flotantes*. En una semana, la mezcla de trabajo puede hacer que la operación 1 se convierta en un cuello de botella, y la mezcla de la semana siguiente puede hacer que la operación 3 sea el cuello de botella. Este tipo de variabilidad incrementa la complejidad de la programación del trabajo de cada día. En esta situación, la gerencia prefiere que las tasas de utilización sean bajas, pues éstas le permiten una mayor holgura para absorber incrementos inesperados de la demanda.

Si múltiples productos o servicios intervienen en el proceso, por lo general se necesita tiempo adicional para los cambios de un producto o servicio al siguiente, lo que a su vez incrementa la sobrecarga en la estación de trabajo donde se realiza el cambio. El **tiempo de preparación** es el lapso que se requiere para cambiar o reajustar un proceso u operación a fin de que empiece a elaborar otro producto o servicio. El ejemplo 7.2 ilustra cómo se puede identificar un cuello de botella en un entorno manufacturero cuando los tiempos de preparación son insignificantes y la estación de trabajo que tiene la mayor carga total actúa como cuello de botella.

tiempo de preparación

El lapso que se requiere para cambiar o reajustar un proceso u operación a fin de que empiece a elaborar otro producto o servicio.

EJEMPLO 7.2

Identificación del cuello de botella en un proceso manufacturero

Diablo Electronics fabrica cuatro productos únicos (A, B, C y D) que se producen y ensamblan en cinco estaciones de trabajo diferentes (V, W, X, Y y Z) usando un proceso por lotes pequeños. En cada estación de trabajo hay un obrero que trabaja un solo turno al día en su estación de trabajo asignada. Los tiempos de preparación de los lotes son insignificantes. Un diagrama de flujo denota la ruta que sigue cada producto a través del proceso de manufactura, como se ilustra en la figura 7.2, donde también se indican el precio, la demanda semanal y los tiempos de procesamiento por unidad de cada producto. Los triángulos invertidos representan las partes compradas y las materias primas consumidas por unidad en las distintas estaciones de trabajo. Diablo puede fabricar y vender hasta el límite de la demanda semanal y no incurre en ninguna penalización si no es capaz de satisfacer toda la demanda.

¿Cuál de las cinco estaciones de trabajo, V, W, X, Y o Z, tiene la mayor carga total de trabajo y, por tanto, constituye el cuello de botella en Diablo Electronics?

SOLUCIÓN

No es necesario usar la utilización para determinar el cuello de botella, ya que el denominador de la razón de utilización es igual para cada estación de trabajo, con un obrero por máquina en cada paso del proceso. Por tanto, para identificar el cuello de botella se calculan las cargas de trabajo agregadas en cada estación de trabajo.

La empresa necesita satisfacer la mayor demanda posible por semana de los productos. Cada semana está formada por 2400 minutos de tiempo disponible de producción. El tiempo de procesamiento en cada estación para un producto determinado se multiplica por el número de unidades demandadas por semana para obtener la carga de capacidad. Se suman las cargas de todos los productos que pasan por la estación de trabajo y luego se comparan con la capacidad existente de 2400 minutos.

Estación de trabajo	Carga del producto A	Carga del producto B	Carga del producto C	Carga del producto D	Carga total (min)
V	$60 \times 30 = 1,800$	0	0	0	1,800
W	0	0	$80 \times 5 = 400$	$100 \times 15 = 1,500$	1,900
X	$60 \times 10 = 600$	$80 \times 20 = 1,600$	$80 \times 5 = 400$	0	2,600
Y	$60 \times 10 = 600$	$80 \times 10 = 800$	$80 \times 5 = 400$	$100 \times 5 = 500$	2,300
Z	0	0	$80 \times 5 = 400$	$100 \times 10 = 1,000$	1,400

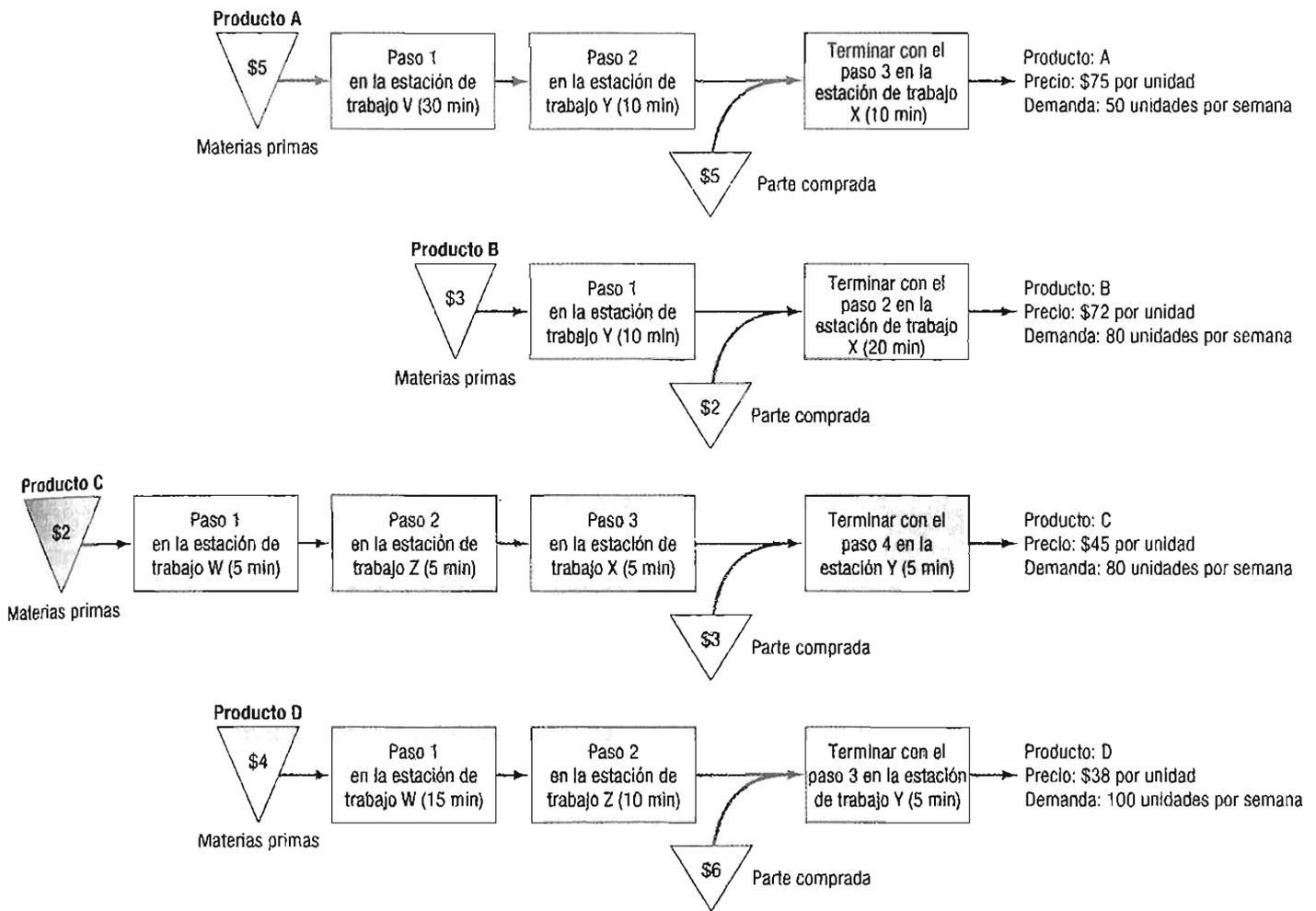


FIGURA 7.2 | Diagrama de flujo de los productos A, B, C y D

Punto de decisión La estación de trabajo X es el cuello de botella en Diablo Electronics porque la carga de trabajo agregada en X es superior a las cargas de trabajo agregadas de las estaciones de trabajo V, W, Y y Z y la capacidad máxima disponible de 2400 minutos por semana.

La identificación de los cuellos de botella se dificulta mucho más cuando los tiempos de preparación son largos y el grado de divergencia en el proceso es mayor que el que se muestra en el ejemplo 7.2. Una vez más, es probable que la variabilidad en las cargas de trabajo cree cuellos de botella flotantes, en especial si la mayoría de los procesos comprenden múltiples operaciones y, con frecuencia, sus capacidades no son idénticas. En la práctica, estos cuellos de botella también pueden determinarse si se pregunta a los trabajadores y supervisores de la planta dónde pueden localizarse los cuellos de botella y se busca el material apilado frente a las diferentes estaciones de trabajo.

La clave para preservar la capacidad del cuello de botella radica en monitorear cuidadosamente los programas a corto plazo y mantener los recursos cuello de botella tan ocupados como resulte práctico. Los gerentes deben minimizar el tiempo ocioso en los cuellos de botella que provocan los retrasos en otras partes del sistema y asegurar que el cuello de botella cuente con todos los recursos que necesita para mantenerse ocupado. Cuando se realiza un cambio en la preparación en un cuello de botella, el número de unidades o clientes procesados antes del siguiente cambio debe ser grande en comparación con el número procesado en operaciones menos críticas. Maximizar el número de unidades procesadas por preparación implica menos preparaciones al año y, por tanto, menos tiempo total perdido en hacer las preparaciones. El número de preparaciones también depende de la variedad requerida de productos; más variedad exige cambios con mayor frecuencia.

Hay varias maneras de ampliar la capacidad a largo plazo de las operaciones en los cuellos de botella. Se pueden realizar inversiones en equipo nuevo y en ampliaciones de las instalaciones físicas. La capacidad de los cuellos de botella también puede ampliarse si se operan más horas a la semana, por ejemplo, contratando más empleados y pasando de una operación de un solo turno a varios turnos, o contratando más empleados y operando la planta seis o siete días a la semana en lugar de cinco días a la semana. Los gerentes también pueden aliviar los cuellos de botella con el rediseño de los procesos, ya sea mediante la *reingeniería de procesos* o el *mejoramiento de procesos*, o comprando maquinaria adicional o máquinas que admitan más capacidad.

Los principios de la TOC que se han descrito tienen una base relativamente amplia y son de aplicación común. Son útiles para evaluar procesos individuales, así como los grandes sistemas de fabricantes y proveedores de servicio. Las organizaciones de servicio, como Delta Airlines, United Airlines y la Fuerza Aérea de Estados Unidos utilizan la TOC en su beneficio. La Práctica administrativa 7.2 muestra cómo los principios de la TOC mejoraron los flujos en el sistema de cuidado de la salud de la Fuerza Aérea estadounidense, así como en muchos hospitales de Estados Unidos.

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA

7.2

ADMINISTRACIÓN DE RESTRICCIONES EN EL CUIDADO DE LA SALUD

En virtud de que la población de Estados Unidos está aumentando y la generación de la posguerra está envejeciendo, la capacidad del cuidado de la salud en la Unión Americana está llegando al límite. Los hospitales de todo el país no tienen suficientes camas, espacio en el departamento de urgencias (DU) y personal. Parte del problema es que la ampliación de las instalaciones de un hospital (construir nuevos edificios, etcétera) puede tardar entre dos y cinco años y tiene un costo sumamente alto. Esta situación deja pocas oportunidades a los administradores de los hospitales, que no tienen más remedio que tratar de maximizar la capacidad a corto plazo.

Una encuesta realizada en 2005 entre 487 directores generales de hospitales reveló que más de 75% de los encuestados trataban de hacer frente al problema identificando los cuellos de botella o las ineficiencias. Dos terceras partes de los encuestados dijeron que intentaban lograrlo mediante la reducción de la duración total de la estancia de los pacientes y acelerando el paso de los pacientes por el sistema, lo que puede liberar la capacidad de un hospital entre 15 y 25%. El Institute of Healthcare Improvement realizó un estudio de 60 hospitales de Estados Unidos y el Reino Unido, que mostró iniciativas que incluían aligerar el flujo de pacientes que necesitaban cirugía optativa (programándolos en las horas de menos movimiento), reducir los tiempos de espera de los pacientes admitidos en los departamentos de urgencias, trasladar a los pacientes de la unidad de cuidados intensivos a las unidades médicas o quirúrgicas de manera oportuna y cambiar a los pacientes a la condición de "pacientes hospitalizados" o trasladarlos a instituciones de cuidados a largo plazo con mayor rapidez.

El Sistema del Cuidado de la Salud de la Fuerza Aérea de Estados Unidos aplica también estas estrategias. Con 120 centros médicos y una base de pacientes de aproximadamente 3 millones de personas, se esfuerza continuamente por mejorar su desempeño. Se formó un equipo para rediseñar el proceso en el cuidado de la salud. Los integrantes del equipo provenían de todos los niveles de la Fuerza Aérea, incluidos el cuartel general, los niveles de alto mando y cada uno de los hospitales.

El equipo identificó cuellos de botella en las salas de operaciones, la parte que registraba los costos más altos y generaba los mayores ingresos de todos sus procesos. Mediante la aplicación de los principios de la TOC, el equipo



Un técnico quirúrgico, un cirujano ortopedista y un cirujano general se preparan para operar a un paciente en una instalación de la línea de vanguardia en apoyo a la operación Libertad Duradera. La Fuerza Aérea de Estados Unidos entiende que los cirujanos son la clave de la operación óptima de sus procesos en el cuidado de la salud.

mejoró el desempeño del sistema al trazar planes que subordinaban todos los demás recursos a este proceso clave. En otro caso, el Grupo Médico 366° de la Fuerza Aérea de Estados Unidos aplicó los principios de la TOC para reducir el tiempo de espera en las citas rutinarias de atención primaria, de un promedio de 17 días a 4.5 días. Mejor aún, el grupo pudo lograr esta mejora sin que el grupo médico incurriera en ningún costo adicional.

DECISIONES SOBRE LA MEZCLA DE PRODUCTOS USANDO CUELLOS DE BOTELLA

Los gerentes pueden sentirse tentados a producir los productos con los márgenes de utilidad más altos o las mejores ventas unitarias. El problema que presenta este método es que la tasa de producción real de la empresa y la rentabilidad general dependen más del margen de utilidad generado en el cuello de botella que en el de cada producto fabricado. El ejemplo 7.3 ilustra este concepto.

Determinación de la mezcla de productos usando cuellos de botella

EJEMPLO 7.3

La alta dirección de Diablo Electronics desea mejorar la rentabilidad mediante la aceptación del conjunto correcto de pedidos, y recabó algunos datos financieros adicionales. Cada trabajador gana un salario de \$18 por hora. Los costos variables generales ascienden a \$8,500 por semana. La planta opera un turno diario de 8 horas, o 40 horas a la semana. En la actualidad, se toman decisiones para aceptar la mayor cantidad posible del producto que tiene el margen más alto de utilidad (hasta el límite de la demanda), seguido por el producto que tiene el segundo margen más alto de utilidad, y así sucesivamente hasta que no queda más capacidad disponible. Debido a que la empresa no puede satisfacer toda la demanda, la mezcla de productos debe elegirse con cuidado. Pedro Rodríguez, el recién contratado supervisor de producción, conoce bien la teoría de restricciones y la programación basada en los cuellos de botella. Pedro cree que, en efecto, la rentabilidad puede mejorar si se explotan los cuellos de botella para determinar la mezcla de productos. ¿Cuál sería el cambio en las utilidades si, en lugar del método que tradicionalmente usa Diablo Electronics, se siguiera el método basado en los cuellos de botella que ha propuesto Pedro para seleccionar la mezcla de productos?

SOLUCIÓN

Regla de decisión 1: Seleccionar la mejor mezcla de productos de acuerdo con el margen más alto de utilidad total de cada producto.

Paso 1: Calcule el margen de utilidad por unidad de cada producto como se muestra aquí.

	A	B	C	D
Precio	\$75.00	\$72.00	\$45.00	\$38.00
Materias primas y partes compradas	-10.00	-5.00	-5.00	-10.00
Mano de obra	-15.00	-9.00	-6.00	-9.00
= Margen de utilidad	\$50.00	\$58.00	\$34.00	\$19.00

Al ordenar las cifras de mayor a menor, la secuencia del margen de utilidad por unidad de estos productos es B, A, C, D.

Paso 2: Asigne los recursos V, W, X, Y y Z a los productos en el orden decidido en el paso 1. Satisfaga cada demanda hasta toparse con el recurso cuello de botella (la estación de trabajo X). Reste los minutos de los 2400 minutos disponibles para cada semana en cada etapa.

Centro de trabajo	Minutos al inicio	Minutos restantes después de fabricar 80 B	Minutos restantes después de fabricar 60 A	Sólo se pueden fabricar 40 C	Aún se pueden fabricar 100 D
V	2,400	2,400	600	600	600
W	2,400	2,400	2,400	2,200	700
X	2,400	800	200	0	0
Y	2,400	1,600	1,000	800	300
Z	2,400	2,400	2,400	2,200	1,200

La mejor mezcla de productos de acuerdo con este método tradicional es pues, 60 A, 80 B, 40 C y 100 D.

Paso 3: Calcule la rentabilidad de la mezcla de productos seleccionada.

Utilidades	
Ingresos	$(60 \times \$75) + (80 \times \$72) + (40 \times \$45) + (100 \times \$38) = \$15,860$
Materiales	$(60 \times \$10) + (80 \times \$5) + (40 \times \$5) + (100 \times \$10) = -\$2,200$
Mano de obra	$(5 \text{ trabajadores}) \times (8 \text{ horas/día}) \times (5 \text{ días/semana}) \times (\$18/\text{hora}) = -\$3,600$
Gastos Generales	$= -\$8,500$
Utilidad	$\underline{\$1,560}$

Observe que en ausencia de tiempo extra, el costo de la mano es fijo y equivale a \$3,600 por semana, sin impactar la mezcla de productos seleccionada. La fabricación de la mezcla de productos 60 A, 80 B, 40 C y 100 D produce utilidades de \$1,560 por semana.

Regla de decisión 2: Seleccionar la mejor mezcla de productos de acuerdo con el margen de utilidad en dólares por minuto de tiempo de procesamiento en el cuello de botella, esto es, la estación de trabajo X. Esta regla aprovechará los principios descritos en la teoría de restricciones y obtendrá el mayor beneficio monetario del cuello de botella.

Paso 1: Calcule el margen de utilidad/minuto de procesamiento en la estación de trabajo X, el cuello de botella:

	Producto A	Producto B	Producto C	Producto D
Margen de utilidad	\$50.00	\$58.00	\$34.00	\$19.00
Tiempo en el cuello de botella	10 minutos	20 minutos	5 minutos	0 minutos
Margen de utilidad por minuto	\$5.00	\$2.90	\$6.80	No definido

Al ordenar las cifras de mayor a menor margen de utilidad/minuto en el cuello de botella, la secuencia de manufactura de estos productos es D, C, A, B, que es el inverso del orden anterior. El producto D se programa primero porque no consume ningún recurso en el cuello de botella.

Paso 2: Asigne los recursos V, W, X, Y y Z a los productos en el orden decidido en el paso 1. Satisfaga cada demanda hasta toparse con el recurso cuello de botella (la estación de trabajo X). Reste los minutos de los 2400 minutos disponibles para cada semana en cada etapa.

Centro de trabajo	Minutos al inicio	Minutos restantes después de fabricar 100 D	Minutos restantes después de fabricar 80 C	Minutos restantes después de fabricar 60 A	Sólo se pueden fabricar 70 B
V	2,400	2,400	2,400	600	600
W	2,400	900	500	500	500
X	2,400	2,400	2,000	1,400	0
Y	2,400	1,900	1,500	900	200
Z	2,400	1,400	1,000	1,000	1,000

La mejor mezcla de productos de acuerdo con este método basado en el cuello de botella es pues 60 A, 70 B, 80 C y 100 D.

Paso 3: Calcule la rentabilidad de la mezcla de productos seleccionada.

Utilidades	
Ingresos	$(60 \times \$75) + (70 \times \$72) + (80 \times \$45) + (100 \times \$38) = \$16,940$
Materiales	$(60 \times \$10) + (70 \times \$5) + (80 \times \$5) + (100 \times \$10) = -\$2,350$
Mano de obra	$(5 \text{ trabajadores}) \times (8 \text{ horas/día}) \times (5 \text{ días/semana}) \times (\$18/\text{hora}) = -\$3,600$
Gastos Generales	$= -\$8,500$
Utilidad	$\underline{\$2,490}$

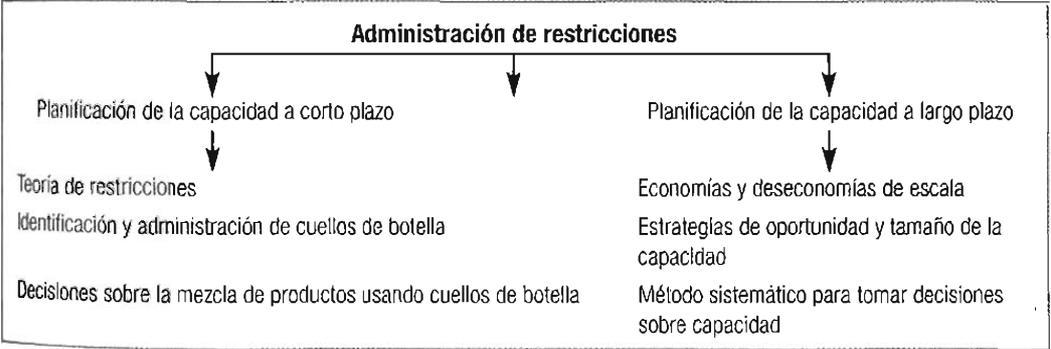
La fabricación de la mezcla de productos 60 A, 70 B, 80 C y 100 D produce utilidades de \$2,490 por semana.

Punto de decisión Si se centra la atención en los recursos cuello de botella al aceptar los pedidos de los clientes y determinar la mezcla de productos, la secuencia en que se seleccionan los productos que se fabricarán se invierte de **B, A, C, D** a **D, C, A, B**. En consecuencia, la mezcla de productos cambia de 60 A, 80 B, 40 C y 100 D a 60 A, 70 B 80 C y 100 D. El incremento en las utilidades que reporta el uso del método de programación basado en el cuello de botella es de \$930 (\$2,490 – \$1,560), o casi 60% más que con el método tradicional.

También podría utilizarse la programación lineal (véase el suplemento E) para encontrar la mejor mezcla de productos en el ejemplo 7.3. Sin embargo, hay que hacer notar que en el problema del ejemplo 7.3 no había tiempos de preparación significativos. De ser así, éstos tienen que tomarse en consideración no sólo para identificar el cuello de botella, sino también para determinar la mezcla de productos. El ejercicio de aprendizaje por experiencia de Min-Yo Garment Company al final de este capítulo presenta una ilustración interesante de cómo se determina la mezcla de productos cuando los tiempos de preparación son significativos. Así, los principios en los que se basa la teoría de restricciones pueden explotarse para tomar mejores decisiones sobre la mezcla de productos más rentable para la empresa.

PLANIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD PARA HORIZONTES TEMPORALES MÁS LARGOS

Los planes referentes a la capacidad se trazan en dos niveles, como lo ilustra el marco de administración de restricciones, que están estrechamente interrelacionados. Hasta el momento, se ha visto cómo administrar las restricciones y la capacidad que existen actualmente en el sistema; sin embargo, los planes de capacidad a corto plazo también se centran en el tamaño de la fuerza de trabajo, los presupuestos de tiempo extra, los inventarios y otros tipos de decisiones que se explorarán con mayor detalle en capítulos posteriores sobre la operación de las cadenas de valor. En contraste, los planes de capacidad a largo plazo contemplan inversiones en nuevas instalaciones y equipo en el nivel organizacional y requieren la participación y aprobación de la alta dirección porque sus efectos no son fácilmente reversibles. Estos planes se extienden por lo menos dos años hacia el futuro, pero, en ocasiones, un proyecto de construcción puede requerir mucho más tiempo y, como resultado, la planificación abarca horizontes de tiempo más largos.



La planificación a largo plazo es fundamental para el éxito de una organización. La capacidad excesiva puede ser tan terrible como la capacidad insuficiente. A menudo, industrias enteras fluctúan con el tiempo entre demasiada y muy poca capacidad, como se ha evidenciado en las industrias de las líneas de aviación y los cruceros en los últimos 20 años. Al elegir una estrategia de capacidad, los gerentes deben analizar preguntas como las siguientes: ¿Cuánto “colchón” se necesita para manejar la demanda incierta y variable? ¿Debemos expandir la capacidad anticipándonos a la demanda, o es mejor esperar hasta que esta última se perfila con mayor certeza? Se requiere un método sistemático para contestar estas y otras preguntas similares, y para formular una estrategia de capacidad que sea apropiada para cada situación.

ECONOMÍAS DE ESCALA

Un concepto que se conoce como **economías de escala** expresa que el costo unitario promedio de un bien o servicio puede reducirse cuando su tasa de producción se incrementa. La Práctica administrativa 7.3 ilustra la importancia de las economías de escala para la industria de la aviación en China y Sudamérica, donde las líneas aéreas han obtenido resultados diferentes en estas dos

economías de escala

Concepto que expresa que el costo unitario promedio de un bien o servicio puede reducirse cuando su tasa de producción se incrementa.

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA

7.3

ECONOMÍAS DE ESCALA EN ACCIÓN

China Southern Airlines

En vista de la feroz batalla por la participación en el mercado de la aviación comercial de China, China Southern Airlines tiene un poderoso objetivo: ser la aerolínea más fuerte de China. La clave para alcanzar este objetivo, según el presidente de la compañía, Wang Changshun, radica en aprovechar las economías de escala. Después de que China instituyó las reformas comerciales y abrió sus puertas al comercio a principios de la década de 1980, la industria de la aviación civil de China empezó a florecer. La industria estaba dominada por varias aerolíneas menores, agobiadas por los altos costos de operación debido a su tamaño pequeño. A pesar del creciente tráfico de pasajeros, la rentabilidad era baja y el servicio se deterioraba. Sin embargo, una aerolínea, China Southern Airlines (CSA) implementó una estrategia para aumentar sus economías de escala. En 1998, CSA compró Guizhou Airlines y la convirtió en una base de aviación en el suroeste de China. En 2000, la fusión con Zhong Yuan Airlines produjo un aumento considerable en la participación de mercado de CSA en Zhengzhou a más de 64%. En ese mismo año, CSA empezó a obtener utilidades. Además, sus activos totales se duplicaron y el número de pasajeros transportados aumentó en 26%. En 2003, CSA adquirió China Northern Airlines y China Xinjiang Airlines. También firmó un "memorando de acuerdo" el 8 de agosto de 2004, con una alianza global de compañías de aviación de todo el mundo, llamada SKY. Entre los socios de SKY figuran Delta Air Lines, Dragonair, KLM, Japan Air System y Vietnam Airlines.

La reestructuración y adquisiciones ayudaron a CSA a reducir sus costos de operación y a concentrar sus campañas de marketing en las rutas principales. Como resultado, la compañía dio servicio a 40 millones de pasajeros en 2004, convirtiéndose en uno de los principales transportistas de pasajeros en el mundo. CSA opera ahora 540 rutas, que incluyen vuelos a unos 435 destinos nacionales. Las rutas internacionales de la compañía abarcan sobre todo el sureste de Asia, pero la aerolínea también vuela a Los Ángeles, Ámsterdam y Osaka. Entre todas las aerolíneas chinas, cuenta con la flotilla más grande y el mayor número de bases, las redes nacionales más extensas y las frecuencias de vuelo más altas. Famosa por los excelentes servicios que brinda a sus pasajeros, la aerolínea ganó el Premio Diamante Cinco Estrellas por los servicios en vuelo y ha sido reconocida como la mejor línea aérea de China por la revista *TTG Asia*.

Aerolíneas sudamericanas

A mediados de la década de 1990, muchas de las aerolíneas de la región de América Latina ampliaron su capacidad porque esperaban que la demanda aumentara. En cambio, ésta se redujo tras la crisis de devaluación en Brasil a principios de 1999. Al mismo tiempo, las aerolíneas enfrentaban una mayor competencia de las compañías de aviación estadounidenses, que disfrutaban de economías de escala más amplias. En los vuelos nacionales en Brasil, durante el primer trimestre de 2000, se registró sólo 58% de asientos reservados, muy por debajo del 65% que se creía necesario para alcanzar el punto de equilibrio. Sin tener el volumen suficiente para repartir los costos fijos, los resultados fueron inevitables.



Un jet de China Southern Airlines despegando del Aeropuerto Internacional de Chitose, Hokkaido en Japón. La ampliación de la capacidad ayudó a CSA a obtener economías de escala y a conseguir una mayor participación en el mercado nacional de China.

Una de esas aerolíneas, Aerolíneas Argentinas, redujo radicalmente el número de vuelos nacionales e internacionales que ofrecía. Después de reestructurar sus operaciones, Aerolíneas Argentinas decidió, a mediados de 2002, cubrir de nuevo algunas de las rutas internacionales que había abandonado. Mientras tanto, Vasp, una de las cuatro principales aerolíneas de Brasil, anunció que suspendería sus vuelos a América del Norte y Europa luego de que Boeing exigiera que le devolviera algunos aviones porque Vasp no cumplía con los pagos de arrendamiento de las aeronaves.

TAM y Transbrasil, dos de las grandes aerolíneas de Brasil, analizaron la posibilidad de establecer una "sociedad de operación" para reducir el traslapo entre sus vuelos, medida que muchos pensaron que conduciría a la larga a una fusión, recortes y ahorros en costos para las dos compañías. Por desgracia para Transbrasil, el acuerdo no llegó a concretarse y la compañía dejó de operar en diciembre de 2001. Se declaró en quiebra dos años después. Aunque TAM ha sido rentable, sigue siendo una aerolínea nacional, incapaz de lograr asociarse con otras compañías para aumentar sus economías de escala. En 2005, el plan de TAM para fusionarse con Varig (con la que TAM había compartido anteriormente 60% de sus vuelos) se vino abajo. El presidente del Banco de Desarrollo de Brasil dejó entrever que en el mercado brasileño sólo había lugar para una sola aerolínea local grande y puso como ejemplo a Canadá y México, donde en cada caso, dos grandes aerolíneas locales se fusionaron. Con el debilitamiento de la economía regional de América del Sur, una consolidación de la industria beneficiaría a las aerolíneas que sobreviven, debido a los altos volúmenes asociados con las economías de escala fuertes.

Fuentes: "China Southern Airlines President Addresses IATA Confab", *Business Wire*, 7 de junio de 2002;

http://en.wikipedia.org/wiki/China_Southern_Airlines, junio de 2005; www.hoovers.com, junio de 2005; "Rival Operations", *Wall Street Journal*, 6 de junio de 1990; "South American Airlines", *The Economist*, 6 de mayo de 2000; "Transbrasil Will Probably Lose Operating Certificate", *Aviation Daily*, 12 de octubre de 2002; www.tamairlines.com, junio de 2005.

regiones del mundo. Cuatro razones principales explican por qué las economías de escala hacen que los costos disminuyan cuando la producción aumenta: (1) los costos fijos se distribuyen entre más unidades; (2) los costos de construcción se reducen; (3) los costos de los materiales comprados disminuye, y (4) se encuentran ventajas en los procesos.

Distribución de los costos fijos A corto plazo, ciertos costos no varían cuando cambia la tasa de producción. Entre estos costos fijos figuran los de calefacción, el servicio de la deuda y los salarios de la gerencia. La depreciación de la planta y el equipo con los que ya cuenta la empresa también representa un costo fijo en términos de contabilidad. Cuando la tasa de producción se incrementa y, por lo tanto, también aumenta la tasa de utilización de una instalación, el costo unitario promedio se reduce porque los costos fijos se distribuyen entre más unidades.

Reducción de los costos de construcción Ciertas actividades y gastos son necesarios para construir instalaciones pequeñas y grandes por igual: permisos de construcción, honorarios de arquitectos, alquiler del equipo de construcción y otros similares. Cuando el tamaño de la instalación se duplica, por lo general no se duplican los costos de construcción.

Disminución de los costos de los materiales comprados Los altos volúmenes suelen reducir los costos de los servicios y materiales comprados. Con esos altos volúmenes, el comprador está en una posición más fuerte para negociar y tiene la oportunidad de aprovechar descuentos por cantidad. Los comerciantes minoristas, como Wal-Mart y Toys "R" Us, obtienen economías de escala considerables porque sus tiendas nacionales e internacionales compran y venden volúmenes enormes de cada uno de sus artículos.

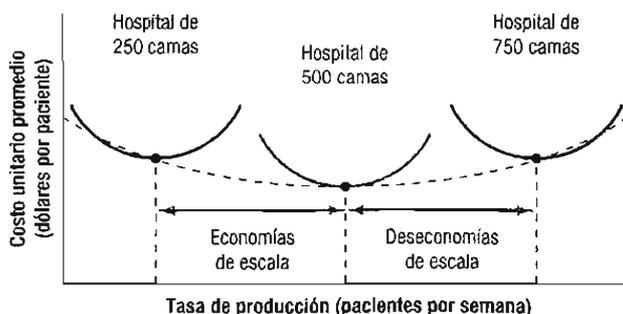
Descubrimiento de otras ventajas en los procesos La producción en grandes volúmenes ofrece muchas oportunidades para reducir los costos. Con una tasa de producción más alta, el proceso cambia y se convierte en un proceso lineal, en el que los recursos se destinan a productos individuales. Es posible que las compañías puedan justificar los gastos que implica la adquisición de una tecnología más eficiente o de equipo más especializado. Algunas de las ventajas de dedicar recursos a ciertos productos o servicios en lo individual son las siguientes: acelerar el efecto de aprendizaje, disminuir los inventarios, mejorar el diseño de los procesos y puestos de trabajo y reducir el número de cambios en el sistema para pasar de un producto a otro.

DESECONOMÍAS DE ESCALA

En un momento dado, las dimensiones de una instalación pueden llegar a ser tan grandes que se empiezan a generar **deseconomías de escala**; es decir, el costo promedio por unidad se eleva a medida que se incrementa el tamaño de la instalación. La razón de esto es que el tamaño excesivo puede traer consigo complejidad, pérdida de enfoque e ineficiencias que elevan el costo unitario promedio de un producto o servicio. Demasiados niveles de empleados y burocracia ocasionan que la gerencia pierda el contacto con los empleados y los clientes. La organización se vuelve menos ágil y pierde la flexibilidad necesaria para responder a los cambios de la demanda. Muchas compañías grandes llegan a estar tan absortas en el análisis y la planificación que realizan menos innovaciones y evitan los riesgos. El resultado es que, en numerosas industrias, las compañías pequeñas superan el desempeño de las corporaciones gigantescas.

La figura 7.3 ilustra la transición de las economías de escala a las deseconomías de escala. El hospital de 500 camas obtiene economías de escala porque su costo unitario promedio en su *mejor nivel de operación*, representado por el punto en el centro de la curva de en medio, es menor que el costo unitario promedio del hospital de 250 camas. Sin embargo, una expansión adicional para convertirlo en un hospital de 750 camas produce costos unitarios promedio más altos y deseconomías de escala. Una de las razones por las que el hospital de 500 camas disfruta de mayores economías de escala que el de 250 camas es que el costo requerido para su construcción y equipamiento es menor que el doble del costo requerido para el hospital más pequeño. El hospital de 750 camas disfrutaría de ahorros similares. Sus costos unitarios promedio más altos sólo pueden explicarse por la presencia de deseconomías de escala, las que son mayores que los ahorros registrados en los costos de construcción.

La figura 7.3 no significa que el tamaño óptimo para todos los hospitales sea de 500 camas. El tamaño óptimo dependerá del número de pacientes que cada uno de los hospitales tenga que atender por semana. Por una parte, los servicios de un hospital en una comunidad pequeña tendrían costos más bajos si se eligiera una capacidad de 250 camas, en lugar de 500. Por otra parte, suponiendo la misma estructura de costos, una comunidad grande será atendida con más eficiencia por dos hospitales de 500 camas, que por una sola instalación de 1000 camas.



deseconomías de escala

Se presentan cuando el costo promedio por unidad se eleva a medida que se incrementa el tamaño de la instalación.

FIGURA 7.3

Economías y deseconomías de escala

➤ ESTRATEGIAS PARA DETERMINAR LA OPORTUNIDAD Y EL TAMAÑO DE LA CAPACIDAD ◀

Antes de tomar decisiones sobre la capacidad, los gerentes de operaciones tienen que examinar tres dimensiones de la estrategia de capacidad: (1) el tamaño de los colchones de capacidad; (2) la oportunidad y la magnitud de la expansión, y (3) la vinculación de la capacidad de los procesos con otras decisiones de operación.

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LOS COLCHONES DE CAPACIDAD

Las tasas de utilización promedio no deben acercarse demasiado a 100% en el largo plazo, aunque esto puede ocurrir de vez en cuando en los procesos cuello de botella en el corto plazo. En esos casos, la meta de la TOC es maximizar la utilización del cuello de botella. Si la demanda sigue aumentando con el tiempo, habrá que incrementar la capacidad a largo plazo en el cuello de botella, así como proporcionar algún tipo de protección contra la incertidumbre. Cuando las tasas de utilización promedio se aproximan a 100%, por lo general es señal de que es necesario incrementar la capacidad o disminuir la aceptación de pedidos a fin de evitar un descenso de la productividad. El **colchón de capacidad** es la cantidad de capacidad de reserva que se usa en un proceso para hacer frente a los incrementos repentinos de la demanda o las pérdidas temporales de la capacidad de producción; es una medida de la cantidad por la cual la utilización promedio (en términos de la capacidad total) es inferior a 100%. Específicamente,

$$\text{colchón de capacidad} = 100\% - \text{tasa de utilización (\%)}$$

El tamaño apropiado del colchón varía para cada industria. En la industria del papel, que es intensiva en términos de capital y cuyas máquinas llegan a costar cientos de millones de dólares cada una, resultan preferibles los colchones muy por debajo de 10%. La industria hotelera, menos intensiva en capital, alcanza el punto de equilibrio con una utilización de entre 60 y 70% (un colchón de 40 a 30%), y empieza a tener problemas de atención a los clientes cuando el colchón se reduce a 20%. En la industria de los cruceros, más intensiva en capital, a la que pertenece, por ejemplo, la empresa Carnival Cruise Line, se prefieren colchones muy pequeños de hasta 5%. Los colchones grandes son especialmente importantes en los procesos de mostrador, en los que los clientes esperan tiempos de entrega rápidos.

Las empresas han observado que los colchones grandes resultan apropiados cuando la demanda varía. En ciertas industrias de servicios (por ejemplo, la de abarrotes), la demanda en algunos días de la semana es previsiblemente más alta que en otros, e incluso los cambios de una hora a hora son típicos. Los tiempos de espera muy prolongados no son aceptables porque los clientes se impacientan cuando tienen que esperar algo más que unos cuantos minutos en la fila de salida para pagar sus compras en un supermercado. Para ofrecer un servicio rápido al cliente, es necesario que los supermercados mantengan un colchón de capacidad suficientemente grande para permitirles manejar la demanda máxima. También se requieren colchones grandes cuando la demanda futura es incierta, sobre todo si la flexibilidad de los recursos es baja. Las simulaciones y el análisis de las filas de espera (véase el suplemento B, "Simulación", y el suplemento C, "Filas de espera") pueden ayudar a los gerentes a prever mejor la relación entre el colchón de capacidad y la atención al cliente.

Otro tipo de incertidumbre en torno a la demanda se presenta cuando la mezcla de productos cambia. A pesar de que la demanda total podría permanecer estable, es factible que la carga cambie imprevisiblemente de un centro de trabajo a otro en respuesta a los cambios de la mezcla. Los colchones de capacidad grandes también son útiles cuando hay incertidumbre en la oferta. Con frecuencia, la capacidad registra incrementos considerables porque es necesario comprar una máquina completa, incluso si sólo se requiere una fracción de su capacidad disponible, lo que a su vez crea un colchón grande. Las empresas también necesitan construir una capacidad excedente a fin de compensar el ausentismo de los empleados, las vacaciones, los días feriados y otras causas de retrasos. Si una empresa tiene costos elevados de tiempo extra y con frecuencia necesita depender de subcontratistas, tal vez necesite incrementar sus colchones de capacidad.

El argumento a favor de los colchones pequeños es sencillo: la capacidad que no se utiliza cuesta dinero. Para las compañías intensivas en términos de capital, minimizar el colchón de capacidad es una necesidad vital. Algunos estudios indican que las empresas con alta intensidad de capital obtienen un bajo rendimiento de la inversión cuando el colchón de capacidad es alto. Sin embargo, esta fuerte correlación no existe en el caso de empresas intensivas en términos de mano de obra. Su rendimiento de la inversión es más o menos el mismo porque la inversión menor en equipo hace que un alto grado de utilización resulte menos crítico. Los colchones pequeños tienen otras ventajas. En ocasiones, cuando se implementa un colchón pequeño, la empresa puede descubrir ineficiencias que eran difíciles de detectar cuando los colchones eran más grandes. Dichas ineficiencias podrían deberse a ausentismo de los empleados o a problemas provocados por proveedores informales. Una vez que los gerentes y trabajadores han identificado ese tipo de problemas, frecuentemente encuentran la forma de corregirlos.

colchón de capacidad

La cantidad de capacidad de reserva que se usa en un proceso para hacer frente a los incrementos repentinos de la demanda o las pérdidas temporales de la capacidad de producción; es una medida de la cantidad por la cual la utilización promedio (en términos de la capacidad total) es inferior a 100%.

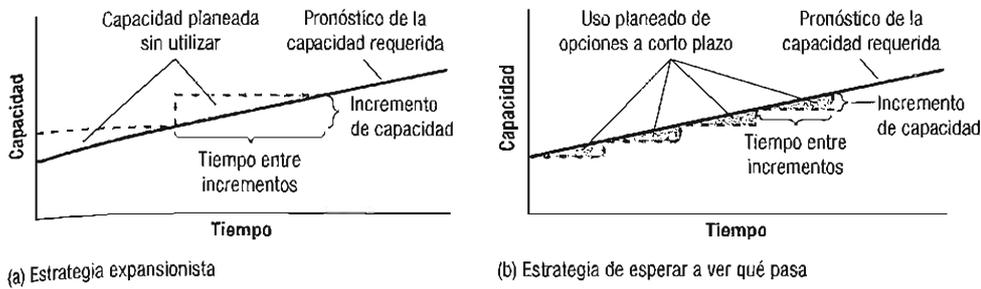


FIGURA 7.4

Dos estrategias de capacidad

OPORTUNIDAD Y MAGNITUD DE LA EXPANSIÓN

La segunda cuestión de la estrategia de capacidad se refiere a cuándo expandirla y en qué medida. La figura 7.4 ilustra dos estrategias extremas: la *estrategia expansionista*, que supone saltos grandes e infrecuentes de la capacidad, y la *estrategia de esperar a ver qué pasa*, que implica saltos más pequeños y frecuentes.

La oportunidad y magnitud de la expansión están relacionadas entre sí; es decir, si la demanda crece y el tiempo entre dos incrementos aumenta, la magnitud de los incrementos también debe aumentar. La estrategia expansionista, que se mantiene adelante de la demanda, minimiza la posibilidad de perder ventas por capacidad insuficiente. La estrategia de esperar a ver qué pasa se rezaga con respecto a la demanda y depende de opciones a corto plazo, como el uso de tiempo extra, trabajadores eventuales, subcontrataciones, agotar el inventario y aplazar el mantenimiento preventivo del equipo, para compensar cualquier déficit.

Varios factores favorecen la estrategia expansionista. Por lo general, la expansión genera economías de escala y una tasa de aprendizaje más rápida, lo cual ayuda a las empresas a reducir sus costos y competir en precios. Esta estrategia puede incrementar la participación de mercado de la compañía o funcionar como una forma de marketing preventivo. Al realizar una gran expansión de su capacidad o anunciar que la misma es inminente, la empresa se adelanta a la expansión de otras compañías. Éstas tendrán que sacrificar una parte de su participación de mercado o arriesgarse a abrumar a la industria con una capacidad excesiva. Sin embargo, para tener éxito, la empresa que se adelanta a las demás debe gozar de credibilidad para convencer a la competencia de que llevará a cabo sus planes (y tendrá que enviar señales acerca de dichos planes antes de que la competencia tenga tiempo para actuar).

La estrategia conservadora de esperar a ver qué pasa consiste en expandirse en incrementos pequeños, como sucede cuando se decide renovar las instalaciones actuales en lugar de construir otras nuevas. Puesto que la estrategia de esperar a ver qué pasa es posterior a la demanda, reduce los riesgos de las expansiones excesivas basadas en pronósticos de demanda demasiado optimistas, tecnología obsoleta o suposiciones inexactas acerca de la competencia.

Sin embargo, esta estrategia tiene otros riesgos, como que algún competidor se adelante o ser incapaz de responder si la demanda es inesperadamente alta. Los críticos afirman que la estrategia de esperar a ver qué pasa es una estrategia a corto plazo típica de ciertos estilos de administración estadounidenses. Los gerentes que eligen la vía rápida del progreso corporativo tienden a asumir menos riesgos. Logran ascensos tratando de no cometer grandes errores y maximizando las utilidades y el rendimiento de la inversión a corto plazo. La estrategia de esperar a ver qué pasa se ajusta a esta perspectiva a corto plazo, pero puede mermar la participación de mercado en el largo plazo.

La gerencia tiene la posibilidad de escoger una de estas dos estrategias o alguna de las muchas que se sitúan entre ambos extremos. Con estrategias ubicadas en la porción central más moderada, las compañías pueden expandirse más frecuentemente (en menor escala) que con la estrategia expansionista, sin quedar a la zaga de la demanda como sucede con la estrategia de esperar a ver qué pasa. Una estrategia intermedia podría ser la de *emular al líder* y expandirse cuando otros lo hacen. Si los otros cometen un error y se expanden demasiado, también lo cometerá el emulador, pero todos compartirán la zozobra provocada por el exceso de capacidad.

VINCULACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LOS PROCESOS CON OTRAS DECISIONES

Las decisiones sobre capacidad deben estar estrechamente vinculadas a los procesos y cadenas de valor de toda la organización. Cuando los gerentes toman decisiones acerca del diseño de los procesos, la determinación del grado de flexibilidad de los recursos e inventario, y la localización de las instalaciones, deben considerar el impacto en los colchones de capacidad. A la larga, estos últimos protegen a la organización contra la incertidumbre, lo mismo que la flexibilidad de los recursos, los inventarios y los tiempos más prolongados de entrega al cliente. Si se hace un cambio en cualquier área de decisión, es posible que el colchón de capacidad tenga que modificarse para compensar. Por ejemplo, los colchones de capacidad de un proceso pueden reducirse si se pone menos énfasis en las entregas rápidas (*prioridades competitivas*), si las pérdidas de rendimiento

(calidad) disminuyen, o si la inversión en equipo intensivo en capital o la flexibilidad de los trabajadores aumentan (*diseño de procesos*). Los colchones de capacidad también pueden reducirse en la planificación de las ventas y operaciones se usa más para uniformar la tasa de producción; por ejemplo, si la compañía está dispuesta a subir los precios cuando tiene poco inventario y a bajar los precios cuando tiene mucho inventario.

► UN MÉTODO SISTEMÁTICO PARA LAS DECISIONES A LARGO PLAZO SOBRE CAPACIDAD ◀

La TOC prescribe cómo administrar mejor la capacidad existente al nivel del proceso; sin embargo, es preciso tomar decisiones a largo plazo para planificar la capacidad de cada proceso. Típicamente, dicha planificación incluye cuántas máquinas deben comprarse para un departamento determinado, o cuántos trabajadores deben asignarse a un proceso. Una vez ordenadas, puede pasar hasta un año, o más tiempo en algunos casos, para que las máquinas se entreguen. De ahí que se requiera un método sistemático para planificar las decisiones a largo plazo sobre capacidad, mientras que la empresa invoca los principios de la TOC para administrar las operaciones cotidianas de manera continua.

Aun cuando cada situación es diferente, un procedimiento de cuatro pasos generalmente ayuda a los gerentes a tomar buenas decisiones sobre capacidad. (Para describir este procedimiento, se supondrá que la administración ya realizó los pasos preliminares de determinar la capacidad existente del proceso y evaluar si el actual colchón de capacidad es apropiado).

1. Estimar las necesidades futuras de capacidad.
2. Identificar las brechas de capacidad, comparando las necesidades de capacidad con la capacidad disponible.
3. Trazar planes alternativos para cerrar esas brechas.
4. Evaluar cada alternativa, tanto en términos cualitativos como cuantitativos, y tomar la decisión final.

PASO 1: ESTIMAR LAS NECESIDADES DE CAPACIDAD

La **necesidad de capacidad** es lo que debe ser la capacidad del proceso en algún periodo futuro para satisfacer la demanda de los clientes (externos o internos), dado el colchón de capacidad deseado para la empresa. Las necesidades grandes son prácticas para procesos o estaciones de trabajo que, en potencia, podrían convertirse en cuellos de botella en el futuro, y la gerencia puede incluso planificar colchones más grandes de lo normal.

Las necesidades de capacidad se expresan en una de dos maneras: con una medición de producción o con una medición de insumos. De un modo u otro, la base para la estimación son los pronósticos de demanda, productividad, competencia y cambio tecnológico. Normalmente, es necesario hacer estos pronósticos para varios periodos en un **horizonte de planificación**, que es el conjunto de periodos consecutivos considerados para efectos de planificación. Los planes de capacidad a largo plazo tienen que tomar en consideración más tiempo futuro (quizá toda una década) que los planes a corto plazo. Desafortunadamente, cuanto más lejos se mira, tanto mayor es la probabilidad de que el pronóstico sea inexacto.

Uso de mediciones de producción La forma más sencilla de expresar las necesidades de capacidad es como una tasa de producción. Como se explicó anteriormente, las mediciones de producción son apropiadas para procesos de alto volumen que tienen poca variedad de productos o divergencia del proceso. Aquí, los pronósticos de demanda para los años venideros se usan como base para extrapolar las necesidades de capacidad hacia el futuro. Si se espera que la demanda se duplique en los próximos cinco años (y el actual colchón de capacidad es apropiado), las necesidades de capacidad también aumentarán al doble. Por ejemplo, si las necesidades actuales de capacidad de un proceso son 50 clientes diarios, las necesidades dentro de cinco años serán de 100 clientes diarios. Si el colchón de capacidad deseado es de 20%, la gerencia debe planificar la capacidad suficiente para atender a $[100/(1 - 0.2)] = 125$ clientes dentro de cinco años.

Uso de mediciones de insumos Las mediciones de producción pueden ser insuficientes en las siguientes situaciones:

- La variedad de productos y la divergencia del proceso son altas.
- La mezcla de productos o servicios está cambiando.
- Se espera que los índices de productividad cambien.
- Se esperan efectos de aprendizaje considerables.

En tales casos, es más apropiado calcular las necesidades de capacidad usando una medición de los insumos, como el número de empleados, máquinas, computadoras o camiones. El uso de una medición de insumos para la necesidad de capacidad reúne los pronósticos de la demanda, los estimados del tiempo de procesamiento y el colchón de capacidad deseado. Cuando sólo se procesa un servicio o producto en una operación y el periodo es un año específico, la necesidad de capacidad, M , es:

necesidad de capacidad

Lo que debe ser la capacidad del proceso en algún periodo futuro para satisfacer la demanda de los clientes (externos o internos), dado el colchón de capacidad deseado para la empresa.

horizonte de planificación

El conjunto de periodos consecutivos considerados para efectos de planificación.

$$\text{Necesidad de capacidad} = \frac{\text{Horas de procesamiento requeridas para la demanda del año}}{\text{Horas disponibles de una sola unidad de capacidad (como un empleado o máquina) por año, después de deducir el colchón deseado}}$$

$$M = \frac{Dp}{N[1 - (C/100)]}$$

donde

- D = pronóstico de demanda para el año (número de clientes atendidos o unidades de producto)
- p = (tiempo de procesamiento (en horas por cliente atendido o unidad producida)
- N = número total de horas por año, durante las cuales funciona el proceso
- C = colchón de capacidad deseado (expresado como porcentaje)

M es el número de unidades requeridas del insumo y debe calcularse para cada año en el horizonte de tiempo. El tiempo de procesamiento, p, depende del proceso y los métodos seleccionados para realizar el trabajo. El denominador es el número total de horas, N, disponible para el año de una unidad de capacidad (un empleado o máquina), multiplicado por una proporción que toma en cuenta el colchón de capacidad deseado, C. La proporción es simplemente 1.0 - C, donde C se convierte de un porcentaje a una proporción, dividiéndolo entre 100. Por ejemplo, un colchón de capacidad de 20% significa que 1.0 - C es igual a 0.80.

Si se van a fabricar múltiples productos, se necesitará tiempo adicional de preparación. El tiempo de preparación total se calcula dividiendo el pronóstico del número de unidades por año, D, entre el número de unidades producidas en cada lote (el número de unidades procesadas entre una preparación y otra), con lo cual se obtiene el número de operaciones de preparación por año, y multiplicándolo después por el tiempo que requiere cada preparación. Por ejemplo, si la demanda anual es de 1200 unidades y el tamaño promedio del lote es 100, habrá 1200/100 = 12 operaciones de preparación por año. Tomando en cuenta tanto el tiempo de procesamiento como el tiempo de preparación para múltiples servicios (productos), se obtiene:

$$\text{Necesidad de capacidad} = \frac{\text{Horas de procesamiento y preparación requeridas para la demanda del año, sumando todos los servicios o productos}}{\text{Horas disponibles de una sola unidad de capacidad por año, después de deducir el colchón deseado}}$$

$$M = \frac{[Dp + (D/Q)s]_{\text{producto 1}} + [Dp + (D/Q)s]_{\text{producto 2}} + \dots + [Dp + (D/Q)s]_{\text{producto n}}}{N[1 - (C/100)]}$$

donde

- Q = número de unidades en cada lote
- s = tiempo de preparación (en horas) por lote

Qué hacer cuando M no es un número entero depende de cada situación. Por ejemplo, es imposible comprar una fracción de máquina. En este caso, se debe redondear la parte fraccional, a menos que sea más rentable usar opciones a corto plazo, como tiempo extra o quedarse sin inventario para cubrir los déficit. Si, en cambio, la unidad de capacidad es el número de empleados en un proceso, puede obtenerse un valor de 23.6 usando sólo 23 empleados y una cantidad moderada de tiempo extra (equivalente a tener 60% de otro trabajador de tiempo completo). Aquí, el valor fraccional debe conservarse como información útil.

Estimación de las necesidades de capacidad cuando se usan mediciones de insumos

EJEMPLO 7.4

Un centro de copiado, establecido en un edificio de oficinas, elabora informes encuadernados para dos clientes. El centro produce múltiples copias (el tamaño del lote) de cada informe. El tiempo de procesamiento para obtener, ordenar y encuadernar cada copia depende del número de páginas, entre otros factores. El centro funciona 250 días al año, con un turno de ocho horas. La gerencia considera que un colchón de capacidad de 15% (mayor que el margen de tolerancia incorporado a los estándares de tiempo) resulta mejor. En la actualidad, el centro cuenta con tres máquinas copiadoras. Tomando como base la información de la siguiente tabla, determine cuántas máquinas se necesitan en ese centro de copiado.



TUTOR 7.1

El tutor 7.1 en el CD ROM del estudiante contiene otro ejemplo para practicar el cálculo de las necesidades de capacidad cuando se usan mediciones de insumos.

Concepto	Cliente X	Cliente Y
Pronóstico de demanda anual (copias)	2,000	6,000
Tiempo estándar de procesamiento (copias/hora)	0.5	0.7
Tamaño promedio del lote (copias por informe)	20	30
Tiempo estándar de preparación (horas)	0.25	0.40

SOLUCIÓN

$$\begin{aligned}
 M &= \frac{[Dp + (D/Q)s]_{\text{producto 1}} + [Dp + (D/Q)s]_{\text{producto 2}} + \dots + [Dp + (D/Q)s]_{\text{producto n}}}{N[1 - (C/100)]} \\
 &= \frac{[2,000(0.5) + (2,000/20)(0.25)]_{\text{cliente X}} + [6,000(0.7) + (6,000/30)(0.40)]_{\text{cliente Y}}}{[(250 \text{ día/año})(1 \text{ turno/día})(8 \text{ horas/turno})][1.0 - (15/100)]} \\
 &= \frac{5,305}{1,700} = 3.12
 \end{aligned}$$

Redondeando el resultado al siguiente número entero, encontramos que se necesitan cuatro máquinas.

Punto de decisión La capacidad del centro de copiado está llegando al límite y ya no tiene el colchón de capacidad deseado de 15%. Como la gerencia no quiere que la atención a los clientes se deteriore, decidió usar tiempo extra como solución a corto plazo para manejar los pedidos atrasados. Si la demanda continúa al nivel actual o crece, se adquirirá la cuarta máquina.

brecha de capacidad

Diferencia positiva o negativa entre la demanda proyectada y la capacidad actual.

caso base

El acto de no hacer nada y perder los pedidos de la demanda que rebase la capacidad actual.

flujo de efectivo

La diferencia entre los flujos de fondos que entran y salen de una organización durante un periodo, incluyendo ingresos, costos y modificaciones en los activos y pasivos.

PASO 2: IDENTIFICAR LAS BRECHAS DE CAPACIDAD

Una **brecha de capacidad** es cualquier diferencia (positiva o negativa) entre la demanda proyectada y la capacidad actual. Para identificar las brechas es necesario emplear la medida de capacidad apropiada. Las complicaciones comienzan cuando intervienen múltiples operaciones y varios insumos de recursos. Expandir la capacidad en algunas operaciones puede incrementar la capacidad general. Sin embargo, si una operación es un cuello de botella, la capacidad solo podrá expandirse si la capacidad de esa operación cuello de botella se expande.

PASO 3: GENERAR ALTERNATIVAS

El paso siguiente es trazar planes alternativos para hacer frente a las brechas proyectadas. Una alternativa, que se conoce como **caso base**, consiste en no hacer nada y simplemente perder los pedidos de la demanda que rebase la capacidad actual. Otras alternativas son diversas opciones de oportunidad y tamaño para agregar nueva capacidad, como la estrategia expansionista y la de esperar a ver qué pasa, que se ilustran en la figura 7.4. Otras posibilidades son: expandirse a un lugar diferente o recurrir a opciones a corto plazo, como el uso de tiempo extra, trabajadores temporales y subcontratación.

PASO 4: EVALUAR LAS ALTERNATIVAS

En este paso final, el gerente evalúa cada alternativa, tanto en términos cuantitativos como cualitativos.

Intereses cualitativos En términos cualitativos, el gerente estudia cómo encaja cada alternativa en la estrategia general de capacidad y otros aspectos de la empresa que no están incluidos en el análisis financiero. La incertidumbre en torno a la demanda deberá ser motivo de interés particular, así como la reacción de la competencia, el cambio tecnológico y la estimación de costos. Algunos de esos factores no pueden cuantificarse y es necesario evaluarlos con base en el buen juicio y experiencia. Otros sí son cuantificables, y el gerente puede analizar cada alternativa usando diferentes suposiciones acerca del futuro. Un conjunto de suposiciones podría representar el peor caso posible, es decir, cuando la demanda es escasa, la competencia se intensifica y los costos de construcción son más altos de lo esperado. Otro conjunto de suposiciones podría corresponder a la visión más optimista del futuro. Este tipo de análisis condicional permite al gerente formarse una idea de las consecuencias de cada alternativa antes de tomar la decisión final.

Intereses cuantitativos Cuantitativamente, el gerente estima el cambio que produciría en los flujos de efectivo cada una de las alternativas en el horizonte de tiempo pronosticado, y lo compara con el caso base. Se llama **flujo de efectivo** a la diferencia entre los flujos de fondos que entran y salen de una organización durante un periodo, incluyendo ingresos, costos y modificaciones en los activos y pasivos. En este caso, al gerente sólo le interesa calcular los flujos de efectivo que sean atribuibles al proyecto.

EJEMPLO 7.5**Evaluación de las alternativas**

Los negocios del Grandmother's Chicken Restaurant están en auge. La propietaria espera servir un total de 80,000 comidas en el transcurso de este año. Aun cuando la cocina funciona al 100% de su capacidad, el comedor puede dar cabida a 105,000 comensales al año. La demanda pronosticada para los cinco años próximos es de 90,000 comidas durante el año entrante, seguidas por un aumento de 10,000 comidas en cada uno de los años subsiguientes. Una posible alternativa sería ampliar ahora tanto la cocina como el comedor para expandir la capacidad de ambos a 130,000 comidas

al año. La inversión inicial ascendería a \$200,000 y tendría que hacerse al final de este año (el año 0). El precio promedio por cada comida es de \$10, y el margen de utilidad antes de impuestos es de 20%. La cifra de 20% se obtuvo al determinar que, de los \$10 que cuesta cada comida, \$6 cubren los costos variables y \$2 se destinan a pagar los costos fijos (distintos de la depreciación). Los \$2 restantes son la utilidad antes de impuestos.

¿Cómo son los flujos de efectivo de este proyecto (antes de impuestos) previstos para los próximos cinco años en comparación con los del caso base de no hacer nada?

SOLUCIÓN

Recuerde que el caso base (es decir, no hacer nada) se traduce en la pérdida de todas las ventas potenciales después de 80,000 comidas. Con la nueva capacidad, el flujo de efectivo sería igual al número de comidas extra que el restaurante podría servir con una capacidad de 130,000 comidas, multiplicado por una utilidad de \$2 por comida. En el año 0, el único flujo de efectivo es -\$200,000 correspondiente a la inversión inicial. En el año 1, la demanda de 90,000 comidas podrá satisfacerse por completo con la capacidad ampliada, por lo que el flujo de efectivo incremental es $(90,000 - 80,000)($2) = $20,000$. Las cifras correspondientes a los siguientes años se presentan a continuación:

- Año 2: Demanda = 100,000; flujo de efectivo = $(100,000 - 80,000)($2) = $40,000$
- Año 3: Demanda = 110,000; flujo de efectivo = $(110,000 - 80,000)($2) = $60,000$
- Año 4: Demanda = 120,000; flujo de efectivo = $(120,000 - 80,000)($2) = $80,000$
- Año 5: Demanda = 130,000; flujo de efectivo = $(130,000 - 80,000)($2) = $100,000$

Si la nueva capacidad fuera menor que la demanda esperada en cualquier año, habría que restar la capacidad del caso base de la nueva capacidad (en lugar de la demanda). La propietaria debe tomar en cuenta el valor del dinero en el tiempo y aplicar técnicas como los métodos del valor presente neto o la tasa interna de rendimiento (véase el suplemento J, "Análisis financiero", en el CD-ROM del estudiante, en inglés). Por ejemplo, el valor presente neto (NPV, del inglés net present value) de este proyecto a una tasa de descuento de 10% se calcula a continuación y es igual a \$13,051.76.

$$\begin{aligned} NPV &= -200,000 + [(20,000/(1.1))] + [40,000/(1.1)^2] + [60,000/(1.1)^3] + [80,000/(1.1)^4] + [100,000/(1.1)^5] \\ &= -200,000 + \$18,181.82 + \$33,057.85 + \$45,078.89 + \$54,641.07 + \$62,092.13 \\ &= \$13,051.76 \end{aligned}$$

Punto de decisión Antes de decidirse por esta alternativa de capacidad, la propietaria debe examinar también los aspectos cualitativos, como la localización futura de los competidores. Además, el ambiente hogareño del restaurante podría perderse con la expansión. Adicionalmente, sería conveniente considerar otras alternativas (véase el problema resuelto 3).



TUTOR 7.2

El tutor 7.2 en el CD-ROM del estudiante contiene otro ejemplo para practicar la proyección de los flujos de efectivo para efectos de las decisiones sobre capacidad.

➤ **HERRAMIENTAS PARA LA PLANIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD** ◀

La planificación de la capacidad requiere pronósticos de demanda que abarquen un periodo prolongado. Por desgracia, la precisión de los pronósticos disminuye a medida que el horizonte de pronóstico se alarga. Además, la necesidad de prever lo que hará la competencia acrecienta la incertidumbre en los pronósticos de la demanda. Finalmente, la distribución de la demanda durante un periodo cualquiera no es uniforme: en ese tiempo pueden presentarse (y a menudo se presentan) crestas y valles de demanda. Estas realidades imponen la necesidad de usar colchones de capacidad. En esta sección se presentarán tres herramientas que abordan con más formalidad la incertidumbre y variabilidad de la demanda: (1) los modelos de filas de espera; (2) la simulación, y (3) los árboles de decisiones. Los modelos de filas de espera y la simulación toman en cuenta el comportamiento independiente y aleatorio de muchos clientes, tanto en función de sus tiempos de llegada como de las necesidades de procesamiento. Los árboles de decisiones permiten prever ciertos acontecimientos, como las actividades de la competencia.

MODELOS DE FILAS DE ESPERA

Con frecuencia, los modelos de filas de espera son útiles para la planificación de la capacidad; por ejemplo, para seleccionar el colchón de capacidad apropiado para un proceso en el que hay un alto nivel de contacto con el cliente. Las filas de espera tienden a formarse frente a ciertos centros de trabajo, como el mostrador de boletos en un aeropuerto, un centro de máquinas o una computadora central. La razón es que los tiempos de llegada entre dos trabajos o clientes sucesivos varían y el tiempo de procesamiento también varía de un cliente a otro. Los modelos de filas de espera usan distribuciones de probabilidades para ofrecer estimaciones del tiempo de retraso promedio de los clientes, la longitud promedio de las filas de espera y la utilización del centro de trabajo. Los gerentes usan esta información para elegir la capacidad más rentable, hallando un equilibrio entre la atención al cliente y el costo de agregar capacidad.

El suplemento C, "Filas de espera", que se presenta a continuación de este capítulo, ofrece una exposición más completa de estos modelos. Allí se presentan fórmulas para estimar varias características importantes de una fila de espera, como el tiempo promedio de espera del cliente y la utilización promedio de la instalación para diferentes diseños de instalaciones. Por ejemplo, una instalación puede estar diseñada para que se formen una o varias filas de espera en cada operación y para que los clientes circulen por una o múltiples operaciones. Dada la capacidad de cálculo de estas fórmulas y las estimaciones de costos para hacer evaluaciones de los tiempos de espera y de ocio, los gerentes pueden seleccionar diseños rentables y niveles de capacidad que también proporcionen el nivel deseado de atención al cliente.

La figura 7.5 muestra los resultados obtenidos en POM para Windows para filas de espera. Un profesor que se reúne con sus alumnos durante el horario de oficinas tiene una tasa de llegadas de tres estudiantes por hora y una tasa de servicio de seis estudiantes por hora. Los resultados muestran que el colchón de capacidad es de 50% (1 - utilización promedio del servidor de 0.50). Este resultado se espera porque la tasa de producción es del doble de la tasa de llegadas. Lo que resulta inesperado es que el estudiante típico pasa 0.33 horas ya sea formado en la fila o hablando con el profesor, y la probabilidad de tener dos o más estudiantes en la oficina es de 0.125. Estas cifras pueden ser sorprendentemente altas, dado el colchón de capacidad tan grande.

SIMULACIÓN

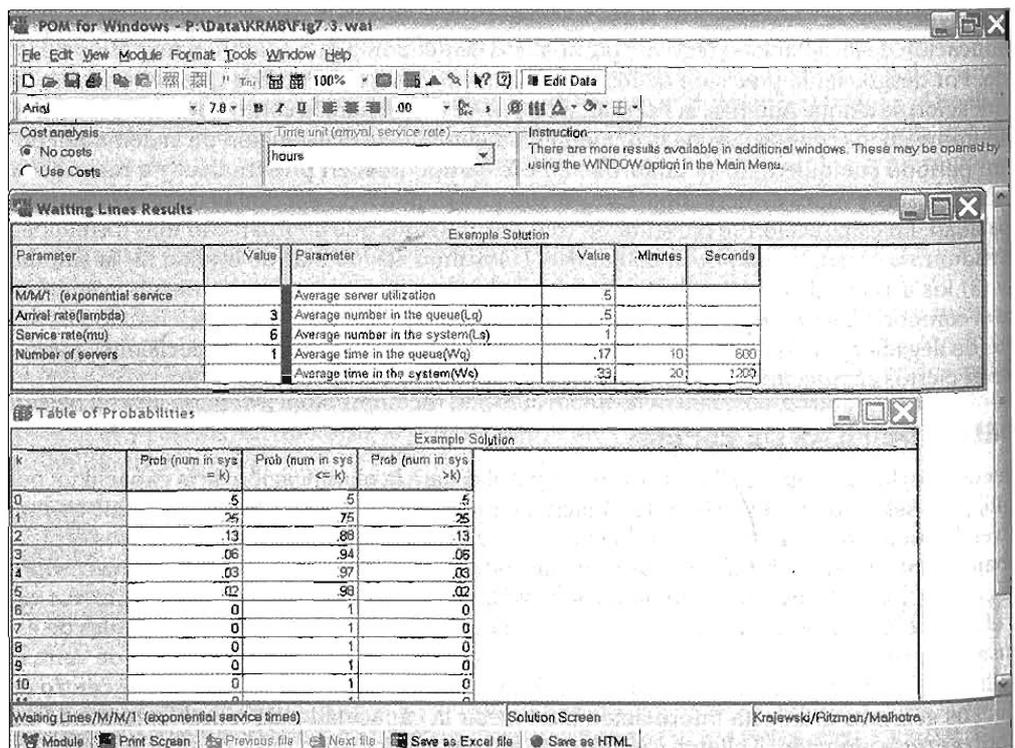
Los problemas más complejos de filas de espera deben analizarse con simulación (véase el suplemento B, "Simulación"). Esta técnica identifica los cuellos de botella del proceso y los colchones de capacidad correspondientes, aun en procesos complejos con patrones de demanda aleatorios y picos de demanda previsible durante un día típico. El paquete de simulación SimQuick, que se incluye en el CD-ROM del estudiante, permite crear modelos y sistemas dinámicos. Existen otros paquetes de simulación, como Extend, Simprocess, ProModel y Witness.

ÁRBOLES DE DECISIONES

Un árbol de decisiones puede ser especialmente valioso para evaluar diferentes alternativas de expansión de la capacidad cuando la demanda es incierta y cuando intervienen decisiones secuenciales (véase el suplemento A, "Toma de decisiones"). Por ejemplo, la dueña del Grandmother's Chicken Restaurant (ejemplo 7.5) puede ampliar ahora el restaurante y descubrir en el cuarto año que el crecimiento de la demanda es mucho mayor de lo pronosticado. En ese caso, tendrá que decidir si debe expandirse más. En términos de costos de construcción y tiempo de inactividad, es probable que dos ampliaciones resulten mucho más costosas que la construcción de una sola instalación grande desde el principio. Sin embargo, hacer una ampliación grande ahora que el crecimiento de la demanda es bajo significa una utilización también baja de las instalaciones. Esto depende en buena medida de la demanda.

FIGURA 7.5

Resultados de POM para Windows para una fila de espera en horarios de oficina



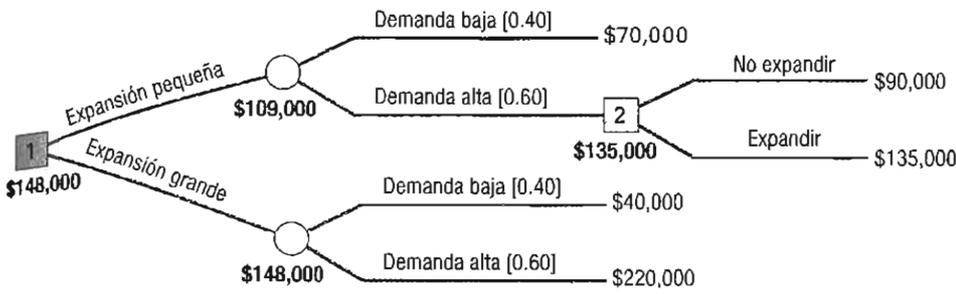


FIGURA 7.6

Árbol de decisiones para la expansión de la capacidad

La figura 7.6 muestra un árbol de decisiones para esta visión particular del problema y aporta nueva información. El crecimiento de la demanda puede ser alto o bajo, con probabilidades de 0.4 y 0.6, respectivamente. La expansión inicial en el primer año (nodo cuadrado 1) sólo puede ser pequeña o grande. El segundo nodo de decisión (nodo cuadrado 2), correspondiente a si se debe hacer o no una ampliación en alguna fecha posterior, se alcanza solamente si la expansión inicial es pequeña y la demanda resulta ser alta. Si la demanda es alta y la expansión inicial fue pequeña, se deberá tomar una decisión acerca de una posible segunda ampliación en el cuarto año. Se estiman los resultados para cada rama del árbol. Por ejemplo, si la expansión inicial es grande, el beneficio económico es de \$40,000 o \$220,000, dependiendo de si la demanda es baja o alta. Al ponderar estos resultados de acuerdo con las probabilidades, se obtiene un valor esperado de \$148,000. Como este resultado esperado es mayor que el resultado de \$109,000 correspondiente a la expansión inicial pequeña, la mejor decisión es hacer una ampliación grande en el primer año.

Para soporte de software en el análisis de árboles de decisiones, véase SmartDraw, análisis de decisiones Precision Tree y Decision Programming Language.

> CD-ROM DEL ESTUDIANTE Y RECURSOS EN INTERNET (EN INGLÉS) <

El CD-ROM del estudiante y el sitio Web complementario (ambos en inglés) en www.pearsoneducacion.net/krajewski contienen muchas herramientas, actividades y recursos diseñados para este capítulo.

> ECUACIONES CLAVE <

1. Utilización, expresada como un porcentaje:

$$\text{Utilización} = \frac{\text{Tasa promedio de producción}}{\text{Capacidad máxima}} \times 100\%$$

2. Colchón de capacidad, C, expresado como un porcentaje:

$$C = 100\% - \text{tasa de utilización (\%)}$$

3. a. Necesidad de capacidad para un servicio o producto:

$$M = \frac{Dp}{N[1 - (C/100)]}$$

b. Necesidad de capacidad para múltiples servicios o productos:

$$M = \frac{[Dp + (D/Q)s]_{\text{producto 1}} + [Dp + (D/Q)s]_{\text{producto 2}} + \dots + [Dp + (D/Q)s]_{\text{producto n}}}{N[1 - (C/100)]}$$

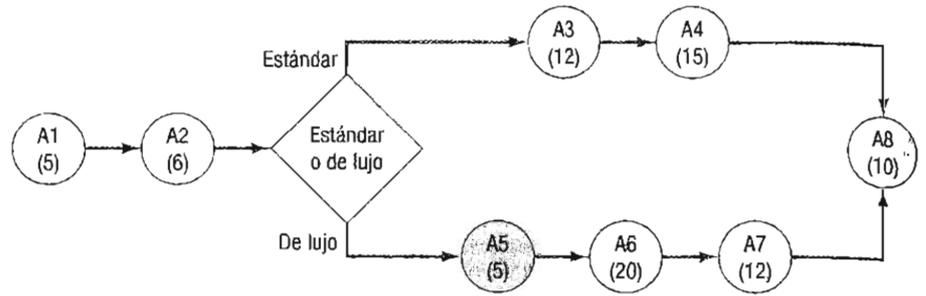
> TÉRMINOS CLAVE <

brecha de capacidad 272	economías de escala 265	tasa de producción (por unidad de tiempo) 259
capacidad 254	flujo de efectivo 272	teoría de restricciones (TOC) 255
caso base 272	horizonte de planificación 270	tiempo de preparación 260
colchón de capacidad 268	necesidad de capacidad 270	utilización 256
cuello de botella 254	restricción 254	
deseconomías de escala 267		

> PROBLEMA RESUELTO 1 <

Bill's Car Wash ofrece dos tipos de lavado: estándar y de lujo. El flujo del proceso para ambos tipos de clientes se muestra en el siguiente diagrama. Los dos tipos de lavado se procesan primero en los pasos A1 y A2. El lavado estándar continúa en los pasos A3 y A4, mientras que el de lujo se pro-

cesa en los pasos A5, A6 y A7. Las dos ofertas terminan en la estación de secado (A8). Las cifras entre paréntesis indican los minutos que se requieren para que esa actividad procese un cliente.



- ¿Qué paso es el cuello de botella en el proceso de lavado de automóviles estándar y de lujo?
- ¿Qué capacidad (medida en función de clientes atendidos por hora) tiene Bill's Car Wash para procesar clientes estándar y de lujo? Suponga que no hay clientes esperando en los pasos A1, A2 y A8.
- Si 60% de los clientes son estándar y 40% de lujo, ¿cuál es la capacidad promedio del lavado de automóviles en términos de clientes por hora?
- ¿Dónde esperaría usted que los clientes del lavado estándar se toparan con filas de espera, suponiendo que siempre están entrando clientes nuevos en el establecimiento y que no hay clientes del lavado de lujo? ¿Dónde tendrían que esperar los clientes del lavado de lujo, suponiendo que no hubiera clientes estándar?

SOLUCIÓN

- El paso A4 es el cuello de botella en el proceso de lavado estándar y el paso A6 es el cuello de botella en el proceso de lavado de lujo, porque estos pasos son los que tardan más tiempo en el flujo.
- La capacidad para lavados estándar es de 4 clientes por hora porque el paso cuello de botella A4 puede procesar un cliente cada 15 minutos (60/15). La capacidad del proceso de lavado de lujo es de 3 clientes por hora (60/20). Estas capacidades se obtienen traduciendo los "minutos por cliente" de cada actividad cuello de botella en "clientes por hora".
- La capacidad promedio de lavado de automóviles es de $[(0.60 \times 4) + (0.40 \times 3)] = 3.6$ clientes por hora.
- Los clientes del lavado estándar esperarían antes de los pasos A1, A2, A3 y A4 porque las actividades que los preceden inmediatamente tienen una tasa de producción más alta (es decir, tiempos de procesamiento más cortos). Los clientes del lavado de lujo tendrían que esperar antes de los pasos A1, A2 y A6 por las mismas razones. A1 se incluye en ambos tipos de lavado porque la tasa de llegada de los clientes siempre puede rebasar la capacidad de A1.

➤ **PROBLEMA RESUELTO 2** ⚡

Se le ha encomendado la tarea de integrar un plan de capacidad para una operación crítica que constituye un cuello de botella en Surefoot Sandal Company. La medida de la capacidad es el número de máquinas. Se fabrican tres productos (sandalias para caballeros, damas y niños). Los estándares de tiempo (de procesamiento y preparación), el tamaño de los lotes y los pronósticos de demanda se presentan en la siguiente tabla. La empresa trabaja dos turnos de 8 horas, 5 días a la semana, 50 semanas al año. Se sabe por experiencia que un colchón de capacidad de 5% es suficiente.

Estándares de tiempo				
Producto	Procesamiento (h/par)	Preparación (h/par)	Tamaño del lote (pares/lote)	Pronóstico de demanda (pares/año)
Sandalias para caballero	0.05	0.5	240	80,000
Sandalias para dama	0.10	2.2	180	60,000
Sandalias para niño	0.02	3.8	360	120,000

- a. ¿Cuántas máquinas se necesitan?
- b. Si la operación tiene actualmente dos máquinas, ¿cuál es la brecha de capacidad?

SOLUCIÓN

a. El número de horas de operación al año, *N*, es:

$$N = (2 \text{ turnos/día})(8 \text{ horas/turno})(250 \text{ días/máquina-año}) = 4,000 \text{ horas/máquina-año}$$

El número de máquinas necesarias, *M*, es la suma de los requisitos de horas máquina para los tres productos, dividida entre el número de horas productivas disponibles en una máquina:

$$M = \frac{[Dp+(D/Q)s]_{\text{caballeros}} + [Dp+(D/Q)s]_{\text{damas}} + [Dp+(D/Q)s]_{\text{niños}}}{N[1-(C/100)]}$$

$$= \frac{[80,000(0.05) + (80,000/240)0.5] + [60,000(0.10) + (60,000/180)2.2] + [120,000(0.02) + (120,000/360)3.8]}{4,000[1-(5/100)]}$$

$$= \frac{14,567 \text{ horas/año}}{3,800 \text{ horas/máquina-año}} = 3.83 \text{ o } 4 \text{ máquinas}$$

b. La brecha de capacidad es de 1.83 máquinas (3.83 – 2). Deben comprarse dos máquinas más, a menos que la gerencia decida recurrir a opciones de corto plazo para cerrar la brecha.

El *solver* de necesidades de capacidad en OM Explorer confirma estos cálculos, como muestra la figura 7.7, usando sólo el escenario “Esperado” para los pronósticos de demanda.

Turnos/día	2	Componentes	<input type="text" value="3"/>
Horas/turno	8	▲	Más componentes
Días/semana	5	▼	Menos componentes
Semanas/año	50		
Colchón (como %)	5%		
Capacidad actual	2		

FIGURA 7.7

Uso del *solver* de necesidades de capacidad para el problema resuelto 2

Componentes:	Procesamiento (h/unidad)	Preparación (h/lote)	Tamaño del lote (unidades/lote)	Pronósticos de demanda		
				Pesimista	Esperado	Optimista
Sandalias para caballero	0.05	0.5	240		80,000	
Sandalias para dama	0.10	2.2	180		60,000	
Sandalias para niño	0.02	3.8	360		120,000	

Horas productivas de una unidad de capacidad en un año 3,800

	Pesimista		Esperado		Optimista	
	Proceso	Preparación	Proceso	Preparación	Proceso	Preparación
Sandalias para caballero	0	0.0	4,000	166.7	0	0.0
Sandalias para dama	0	0.0	6,000	733.3	0	0.0
Sandalias para niño	0	0.0	2,400	1,266.7	0	0.0
Total de horas requeridas	0	0.0	12,400	2,166.7	0	0.0
Total de necesidades de capacidad (M)		0.00		3.83		0.00
Redondeado		0		4		0
Escenarios que pueden satisfacerse con el sistema/capacidad actual				Pesimista, optimista		
Si la capacidad aumenta en		0%				
Capacidad actual ampliada		3,800				
Total de necesidades de capacidad (M)		0.00		3.83		0.00
Redondeado		0		4		0
Escenarios que pueden satisfacerse con la capacidad actual ampliada:				Pesimista, optimista		

PROBLEMA RESUELTO 3

El caso base del Grandmother's Chicken Restaurant (véase el ejemplo 7.5) consiste en no hacer nada. La capacidad de la cocina en el caso base es de 80,000 comidas al año. Una alternativa para la capacidad del Grandmother's Chicken Restaurant es hacer una expansión en dos etapas. En esta alternativa, la cocina se amplía al final del año 0, aumentando su capacidad de 80,000 comidas al año a la misma que existe en el área del comedor (105,000 comidas al año). Si las ventas del primer y segundo años cumplen las expectativas, tanto la capacidad de la cocina como la del comedor se incrementarán al final del tercer año a 130,000 comidas al año. Este nivel mejorado de capacidad debe bastar hasta el quinto año. La inversión inicial sería de \$80,000 al final del año 0, y se haría una inversión adicional de \$170,000 al final del tercer año. La utilidad antes de impuestos es de \$2 por comida. ¿Cómo son los flujos de efectivo, antes de impuestos, de esta alternativa hasta el quinto año en comparación con el caso base?

SOLUCIÓN

La tabla 7.3 muestra las entradas y salidas de efectivo. El flujo de efectivo del tercer año es atípico en dos aspectos. Primero, porque el flujo de ingresos de efectivo, por concepto de ventas, es de \$50,000, en lugar de \$60,000. El incremento en ventas con respecto al caso base es de 25,000 comidas (105,000 - 80,000), en vez de 30,000 comidas (110,000 - 80,000), porque la capacidad del restaurante se queda un poco corta en relación con la demanda. Segundo, porque al final del tercer año se produce una salida de efectivo por \$170,000, cuando se lleva a cabo la segunda etapa de expansión. El flujo neto de efectivo para el tercer año es de \$50,000 - \$170,000 = -\$120,000.

Para efectos de comparación, el NPV de este proyecto, a una tasa de descuento de 10%, se calcula como sigue, y es igual a menos \$2,184.90.

$$\begin{aligned}
 NPV &= -80,000 + (20,000/1.1) + [40,000/(1.1)^2] - [120,000/(1.1)^3] + [80,000/(1.1)^4] \\
 &\quad + [100,000/(1.1)^5] \\
 &= -\$80,000 + \$18,181.82 + \$33,057.85 - \$90,157.77 + \$54,641.07 + \$62,092.13 \\
 &= -\$2,184.90
 \end{aligned}$$

En términos puramente monetarios, la expansión en una sola etapa parece ser una mejor alternativa que esta expansión en dos etapas. Sin embargo, también deben tomarse en consideración otros factores cualitativos, como se mencionó anteriormente.

TABLA 7.3 Flujos de efectivo para la expansión en dos etapas del Grandmother's Chicken Restaurant

Año	Demanda proyectada (comidas/año)	Capacidad proyectada (comidas/año)	Cálculo del flujo de efectivo incremental comparado con el caso base (80,000 comidas/año)	Entrada (salida) de efectivo
0	80,000	80,000	Incrementar la capacidad de la cocina a 105,000 comidas =	(\$80,000)
1	90,000	105,000	90,000 - 80,000 = (10,000 comidas)(\$2/comida) =	\$20,000
2	100,000	105,000	100,000 - 80,000 = (20,000 comidas)(\$2/comida) =	\$40,000
3	110,000	105,000	105,000 - 80,000 = (25,000 comidas)(\$2/comida) =	\$50,000
			Incrementar la capacidad total a 130,000 comidas =	(\$170,000)
				(\$120,000)
4	120,000	130,000	120,000 - 80,000 = (40,000 comidas)(\$2/comida) =	\$80,000
5	130,000	130,000	130,000 - 80,000 = (50,000 comidas)(\$2/comida) =	\$100,000

PREGUNTAS PARA DISCUSION

1. Identifique un proceso que vea todos los días, como el del almuerzo en la cafetería o el viaje de su casa a la escuela o trabajo. ¿Cuáles son los cuellos de botella que limitan la producción de este proceso, y cómo podría mejorarse la eficiencia de ese proceso?
2. ¿Cuáles son las economías de escala en el tamaño de la clase? A medida que aumenta el tamaño de la clase, ¿qué síntomas de diseconomías de escala aparecen? ¿Cómo se relacionan estos síntomas con el contacto con los clientes?

3. Un muchacho instaló un puesto para vender limonadas en la esquina de la calle College y el bulevar Air Park. En esa zona, la temperatura llega a los 38°C en verano. La intersección se encuentra cerca de una universidad importante y de una obra

en construcción de grandes dimensiones. Explique a este joven empresario cómo podría beneficiarse su negocio con las economías de escala. Explíquelo también algunas condiciones que podrían dar lugar a diseconomías de escala.

PROBLEMAS

En cada copia nueva del libro de texto se incluye software, como OM Explorer, Modelos activos y POM para Windows. Pregunte a su profesor cómo usarlo mejor. En muchos casos, el profesor desea que los alumnos entiendan cómo hacer los cálculos a mano. Cuando mucho, el software le servirá para comprobar sus cálculos. Cuando éstos son especialmente complejos y la meta es interpretar los resultados para tomar decisiones, el software sustituye por completo los cálculos manuales. El software también puede ser un recurso valioso después de que concluya el curso.

1. La peluquería de Bill ofrece varios tipos de corte de cabello y permanente para damas. El flujo del proceso en la figura 7.8 muestra que todas las clientas tienen que pasar por los pasos B1 y B2 y después se les atiende en una de las dos estaciones de trabajo en el paso B3. En seguida, avanzan al paso B4 o a los pasos B5 y B6, para terminar en el paso B7. Los números entre paréntesis indican los minutos que se necesitan en esa actividad para procesar una clienta.
 - a. ¿Cuánto tiempo tarda una clienta en recorrer el proceso completo de servicio si se le procesó en los pasos B3-a, B4 y B7? ¿Y en los pasos B3-b, B5, B6 y B7?
 - b. ¿Qué actividad es el cuello de botella de todo el proceso?
 - c. Suponiendo que el negocio tiene un horario de trabajo de 8 horas y que la mitad de las clientas pasan por los pasos B3-a, B4 y B7, y la otra mitad por los pasos B3-b, B5, B6 y B7, ¿a cuántas clientas pueden atender?

2. La figura 7.9 detalla el flujo del proceso para dos tipos de clientas que van al taller de costura de Barbara's Boutique para que les arreglen la ropa. Después del paso T1, las clientas del tipo A avanzan al paso T2 y de ahí, pasan a cualquiera de las tres estaciones de trabajo en T3, continúan con el paso T4 y terminan en el paso T7. Después del paso T1, las clientas del tipo B avanzan al paso T5 y continúan con los pasos T6 y T7. Los números entre paréntesis son los minutos que se necesitan para procesar una clienta.
 - a. ¿Qué capacidad tiene el taller de costura de Barbara's Boutique en función del número de clientas tipo A que reciben atención en una hora? Suponga que no hay clientas esperando en los pasos T1 y T7.
 - b. Si 30% de las clientas son tipo A y 70% son tipo B, ¿qué capacidad promedio tiene el taller de costura de Barbara en términos de clientas por hora?
 - c. ¿Cuándo esperaría usted que las clientas tipo A se toparan con filas de espera, suponiendo que no hubiera clientas tipo B en el taller? ¿Dónde tendrían que esperar las clientas tipo B, suponiendo que no hubiera clientas tipo A?
3. Canine Kernels Company (CKC) fabrica dos tipos diferentes de juguetes para perros (A y B, que se venden en cajas de 1,000 piezas cada una), los cuales se fabrican y ensamblan en tres estaciones de trabajo diferentes (W, X y Y) usando un proceso por lotes pequeños (figura 7.10). Los tiempos de preparación para cada lote son insignificantes. El diagrama de flujo indica la ruta que sigue cada producto en el proceso

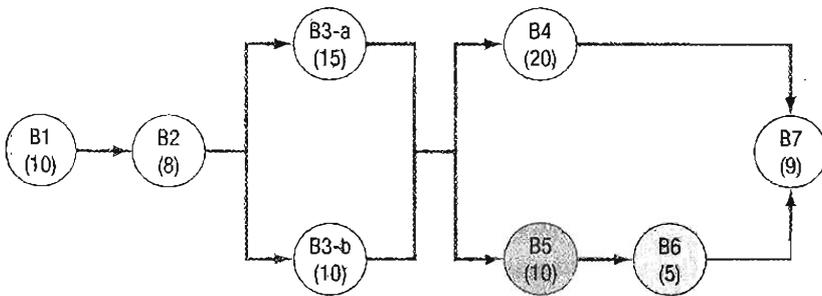


FIGURA 7.8

Flujo del proceso de la peluquería de Bill

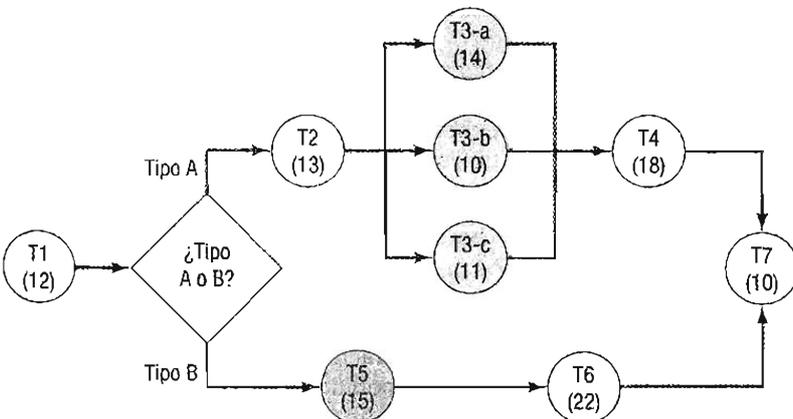


FIGURA 7.9

Flujo del proceso de las clientas de Barbara's Boutique

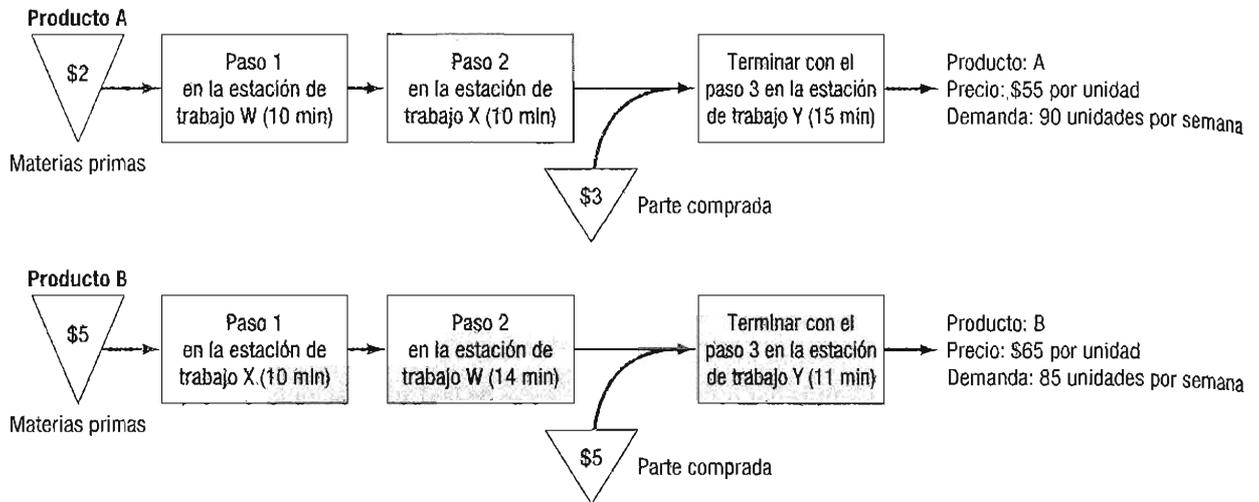


FIGURA 7.10 | Diagrama de flujo para Canine Kernels Company (CKC)

de manufactura, así como el precio de cada producto, la demanda por semana y los tiempos de procesamiento por unidad. Las partes compradas y las materias primas consumidas durante la producción se representan con triángulos invertidos. CKC puede fabricar y vender hasta el límite de la demanda semanal; no incurre en penalizaciones si no puede satisfacer toda la demanda. En cada estación de trabajo hay un operario dedicado a trabajar exclusivamente en esa estación de trabajo, que gana \$6 por hora. Los costos generales variables ascienden a \$3,500 por semana. La planta trabaja un turno de ocho horas por día, o 40 horas por semana. ¿Cuál de las tres estaciones de trabajo, W, X o Y, tiene la carga de trabajo agregada más grande y, por tanto, constituye el cuello de botella en CKC?

4. A la alta dirección de Canine Kernels Company (CKC) le preocupan las limitaciones de la capacidad actual, por lo que desea aceptar la mezcla de pedidos que maximice las utilidades de la compañía. Tradicionalmente, CKC ha utilizado el método del margen de contribución más alto, en el cual las decisiones se toman para producir la mayor cantidad de productos con el margen de utilidad más alto posible (hasta el límite de la demanda), seguido por el siguiente producto con el margen de utilidad más alto, y así sucesivamente, hasta que no queda más capacidad disponible. En virtud de que la capacidad es limitada, es crucial elegir la mezcla de productos correcta. Tory Hendrix, el recién contratado supervisor de producción, es un ferviente seguidor de la filosofía de la teoría de restricciones y la programación basada en los cuellos de botella. Él está convencido de que la rentabilidad puede aprobarse, en efecto, si los recursos cuello de botella se explotan para determinar la mezcla de productos.
 - a. ¿Qué utilidades se obtienen si se usa el método tradicional del margen de utilidad para determinar la mezcla de productos de CKC?
 - b. ¿Qué utilidades se obtienen si se usa el método basado en los cuellos de botella, propuesto por Troy para seleccionar la mezcla de productos?
 - c. Calcule las utilidades, tanto en términos absolutos como en términos de ganancias porcentuales, usando los principios de la TOC para determinar la mezcla de productos.

5. El Dahlia Medical Center tiene 30 salas de trabajo de parto, 15 salas combinadas para trabajo de parto y partos, 3 salas de partos y 1 sala de partos especiales, reservada para alumbramientos complicados. Todas estas instalaciones funcionan las 24 horas del día. El tiempo que pasan las pacientes en las salas de trabajo de parto varía entre algunas horas y varios días, con un promedio aproximado de un día. El parto promedio sin complicaciones requiere cerca de una hora en una sala de partos. En un periodo de tres días excepcionalmente activos, 115 bebés saludables nacieron o fueron recibidos en el Dahlia Medical Center. En salas separadas de trabajo de parto y partos nacieron 60 bebés, otros 45 nacieron en salas combinadas de trabajo de parto y partos, 6 nacieron camino del hospital y sólo 4 bebés requirieron una sala de trabajo de parto y la sala para partos complicados. ¿Cuál de las instalaciones (salas de trabajo de parto, salas de trabajo de parto y partos o salas de partos) tuvo mayor tasa de utilización?
 6. Un proceso de servicio actualmente a un promedio de 50 clientes diarios. Algunas observaciones realizadas en las últimas semanas indican que su utilización es de aproximadamente 90%, lo que permite sólo un colchón de capacidad de 10%. Si se espera que la demanda sea igual a 75% del nivel actual dentro de cinco años y la gerencia desea tener un colchón de capacidad de sólo 5%, ¿qué necesidades de capacidad debe planificar?
 7. Una compañía de aviación tiene que planear la capacidad de su flota y el programa a largo plazo de la utilización de los aviones. Para un tramo de vuelo, el número promedio de clientes diarios es de 70, lo que representa una tasa de utilización de 65% del equipo asignado a ese tramo de vuelo. Si se espera que la demanda aumente a 84 clientes en este tramo de vuelo dentro de tres años, ¿qué necesidades de capacidad deben planificarse? Suponga que la gerencia considera que un colchón de capacidad de 25% sería apropiado.
 8. Un proveedor de frenos de automóvil trabaja dos turnos de ocho horas, cinco días a la semana, 52 semanas al año. La tabla 7.4 presenta los estándares de tiempo, tamaño de los lotes y pronósticos de demanda para tres componentes. Debido a la incertidumbre que existe en torno a la demanda, el gerente de operaciones obtuvo tres pronósticos de demanda (pesimista, esperado y optimista). El gerente cree que lo más conveniente es un colchón de capacidad de 20%.

TABLA 7.4 Información sobre la capacidad de un proveedor de frenos de automóvil

Componente	Estándar de tiempo			Pronóstico de demanda		
	Procesamiento (h/espera)	Preparación (h/lote)	Tamaño del lote (unidades/lote)	Pesimista	Esperado	Optimista
A	0.05	1.0	60	15,000	18,000	25,000
B	0.20	4.5	80	10,000	13,000	17,000
C	0.05	8.2	120	17,000	25,000	40,000

- a. ¿Cuál es el número mínimo de máquinas necesarias? ¿El número esperado? ¿Y el número máximo?
- b. Si la operación tiene actualmente tres máquinas y el gerente está dispuesto a expandir la capacidad en 20% por medio de opciones a corto plazo, en caso de que se presente la demanda optimista, ¿cuál es la brecha de capacidad?

9. Up, Up, and Away es una empresa fabricante de cometas y mangas de viento. En la tabla siguiente se presentan los datos pertinentes sobre una operación que será un cuello de botella para esta fábrica en el próximo ejercicio fiscal:

Concepto	Cometas	Mangas de viento
Pronóstico de demanda	30,000 unidades/año	12,000 unidades/año
Tamaño del lote	20 unidades	70 unidades
Tiempo estándar de procesamiento	0.3 horas/unidad	1.0 hora/unidad
Tiempo estándar de preparación	3.0 horas/lote	4.0 horas/lote

El taller trabaja dos turnos diarios, ocho horas por turno, 200 días al año. En la actualidad, la compañía cuenta con cuatro máquinas, y desea un colchón de capacidad de 25%. ¿Cuántas máquinas será conveniente comprar para satisfacer la demanda del año próximo sin recurrir a ninguna de las soluciones de capacidad a corto plazo?

10. Tuff-Rider, Inc. fabrica bicicletas de turismo y de montaña con diferentes tamaños de cuadro, colores y combinaciones de componentes. La planta produce bicicletas idénticas en lotes de 100. La demanda proyectada, el tamaño del lote y los estándares de tiempo aparecen en la tabla siguiente:

Concepto	Turismo	Montaña
Pronóstico de demanda	5,000 unidades/año	10,000 unidades/año
Tamaño del lote	100 unidades	100 unidades
Tiempo estándar de procesamiento	0.25 horas/unidad	0.50 horas/unidad
Tiempo estándar de preparación	2 horas/lote	3 horas/lote

El taller trabaja actualmente ocho horas diarias, cinco días a la semana, 50 semanas al año. Tiene cinco estaciones de trabajo, cada una de las cuales produce una bicicleta en el tiempo

que se indica en la tabla. El taller mantiene un colchón de capacidad de 15%. ¿Cuántas estaciones de trabajo se requerirán el año próximo para satisfacer la demanda esperada sin tener que trabajar tiempo extra y sin que disminuya el colchón de capacidad actual de la compañía?

11. Arabelle está estudiando la posibilidad de expandir el área de su tienda de ropa importada de alta costura, The French Prints of Arabelle, ampliando el espacio que alquila en el lujoso centro comercial Cherry Creek, de 2000 pies cuadrados a 3000 pies cuadrados. El centro comercial Cherry Creek registra una de las tasas de valor de ventas por pie cuadrado más altas del país. El alquiler (que incluye servicios públicos, seguridad y costos conexos) es de \$110 por pie cuadrado al año. Los aumentos salariales relacionados con la expansión de The French Prints aparecen en la tabla siguiente, junto con proyecciones de las ventas por pie cuadrado. El costo de compra de los bienes vendidos equivale en promedio a 70% del precio de venta. Las ventas son estacionales, con un pico importante durante la temporada de festividades de fin de año.

Año	Trimestre	Ventas (por pie cuadrado)	Incremento de salarios
1	1	\$ 90	\$12,000
	2	60	8,000
	3	110	12,000
	4	240	24,000
2	1	99	12,000
	2	66	8,000
	3	121	12,000
	4	264	24,000

- a. Si Arabelle amplía French Prints al final del año 0, ¿cuáles serán sus flujos trimestrales de efectivo, antes de impuestos, hasta el final del año 2?
- b. Proyecte los flujos trimestrales de efectivo, antes de impuestos, suponiendo que la pauta de venta (10% de incremento compuesto cada año) continuará hasta el final del año 3.

12. El parque de diversiones Astro World tiene ahora mismo la oportunidad de expandir su tamaño (está al final del año 0), si compra la propiedad adyacente a \$250,000 y añade atracciones al costo de \$550,000. Con esta ampliación esperan incrementar el número de asistentes un 30% por encima de la concurrencia proyectada si no se hiciera dicha expansión. El precio de entrada es de \$30, con un aumento planeado de \$5

para principios del año 3. Se han previsto costos de operación adicionales por \$100,000 al año. El número de asistentes estimado para los próximos cinco años, *sin la expansión*, es el siguiente:

Año	1	2	3	4	5
Asistentes	30,000	34,000	36,250	38,500	41,000

- a. ¿Cuáles son los flujos combinados de efectivo, antes de impuestos, para los años 0 a 5, que son atribuibles a la expansión del parque?
- b. Pasando por alto impuestos, depreciación y el valor del dinero en el tiempo, determine cuánto tiempo tendrá que pasar para recuperar (amortizar) la inversión.

13. Kim Epson opera un servicio completo de lavado de automóviles que funciona de 8 de la mañana a 8 de la noche, los siete días de la semana. El lavado de autos tiene dos estaciones: una de lavado y secado automático y otra de limpieza manual de interiores. La estación de lavado y secado automático es capaz de atender 30 vehículos por hora. La estación de limpieza manual de interiores puede atender 200 autos cada día. Con base en una revisión de las operaciones al final del año realizada en fechas recientes, Kim estima que la demanda futura de la estación de limpieza de interiores durante los siete días de la semana, expresada en términos del número promedio de automóviles por día, será como se indica a continuación:

Día	Lun.	Mar.	Mié.	Jue.	Vie.	Sáb.	Dom.
Autos	160	180	150	140	280	300	250

Instalando equipo adicional (a un costo de \$50,000), Kim puede aumentar la capacidad de la estación de limpieza de interiores a 300 automóviles diarios. El lavado de cada vehículo genera una contribución de \$4.00, antes de impuestos. ¿Debe Kim instalar el equipo adicional si prevé que el periodo de amortización, antes de impuestos, será de tres años o menos?

14. Roche Brothers estudia la posibilidad de expandir la capacidad de su supermercado. El propietario del predio construirá el local anexo, a cambio de un pago de \$200,000 cuando la obra esté terminada y un contrato de arrendamiento por cinco años. El aumento del alquiler por concepto de espacio adicional será de \$10,000 mensuales. A continuación se presentan las ventas anuales proyectadas hasta el final del año 5. La capacidad efectiva actual es equivalente a 500,000 clientes al año. Suponga una utilidad de 2% sobre las ventas, antes de impuestos.

Año	1	2	3	4	5
Clientes	560,000	600,000	685,000	700,000	715,000
Promedio de ventas por cliente	\$50.00	\$53.00	\$56.00	\$60.00	\$64.00

- a. Si Roche expande su capacidad ahora (al final del año 0) para atender a 700,000 clientes al año, ¿cuáles serán los incrementos anuales proyectados para los flujos de efectivo, antes de impuestos, atribuibles a la expansión?
- b. Si Roche expande su capacidad para atender a 700,000 clientes al año al final del año 2, el propietario del predio construirá la misma ampliación por \$240,000 y un contrato de alquiler por tres años, a razón de \$12,000 al mes. ¿Cuáles son los incrementos anuales proyectados para los flujos de efectivo, antes de impuestos, atribuibles a esta alternativa de expansión?

PROBLEMAS AVANZADOS

Los problemas 17, 20 y 21 requieren la lectura del suplemento A, "Toma de decisiones". Los problemas 18 y 20 requieren la lectura del suplemento J, "Análisis financiero", en el CD-ROM del estudiante.

15. Yost-Perry Industries (YPI) produce una variedad de galletas baratas (A, B, C) que se fabrican y ensamblan en cuatro diferentes estaciones de procesamiento (W, X, Y, Z). La operación es un proceso por lotes, con tiempos de preparación muy breves que pueden considerarse insignificantes. La información del producto (precio, demanda semanal y tiempo de procesamiento) y la secuencia del proceso se ilustran en la figura 7.11. Las materias primas y las partes compradas (que se muestran como una tasa de consumo por unidad) están representadas por los triángulos invertidos. YPI puede fabricar y vender hasta el límite de la demanda semanal sin incurrir en penalizaciones si no puede satisfacer la demanda completa. En cada estación de trabajo hay un operario altamente calificado que se dedica a trabajar exclusivamente en esa estación de trabajo y gana \$15 por hora. La planta trabaja un turno de ocho horas todos los días y opera 5 días a la semana (es decir, 40 horas de producción por persona por semana). Los costos generales variables ascienden a \$9,000 por semana. ¿Cuál de las cuatro estaciones de trabajo, W, X, Y o Z, tiene la carga de trabajo agregada más grande y, por tanto, constituye el cuello de botella en Yost-Perry Industries?

16. El equipo de alta dirección de Yost-Perry Industries quiere mejorar la rentabilidad de la empresa y cree que lo logrará si acepta el conjunto correcto de pedidos. En la actualidad, las decisiones se toman para aceptar la mayor cantidad posible del producto con más alto margen de utilidad (hasta el límite de la demanda), seguido por el siguiente producto con el margen de utilidad más alta, y así sucesivamente hasta utilizar toda la capacidad. Debido a que la empresa no puede satisfacer toda la demanda, la mezcla de productos debe elegirse con sumo cuidado. Jay Perry, el supervisor de producción, recién ascendido al puesto, conoce bien la teoría de restricciones y la programación basada en los cuellos de botella. Está convencido de que la rentabilidad puede aprobarse, en efecto, si los recursos cuellos de botella se explotan para determinar la mezcla de productos. ¿Cuál será el cambio en las utilidades si, en lugar del método tradicional que YPI ha usado hasta ahora, se utiliza el método basado en los cuellos de botella que ha propuesto Jack para seleccionar la mezcla de productos?

17. Un gerente está tratando de decidir si debe comprar una o dos máquinas. Si compra sólo una máquina y la demanda resulta ser excesiva, podrá comprar después la segunda máquina. Sin embargo, se perderían algunas ventas porque el tiempo de entrega para ese tipo de máquinas es de seis meses. Además, el costo por máquina es menor si las dos máquinas se compran al mismo tiempo. La probabilidad estimada de que la demanda sea baja es de 0.30 y de que sea alta es de 0.70. El valor presente neto (NPV), después de impuestos, de los beneficios de comprar las dos máquinas juntas es de \$90,000 si la demanda es baja y de \$170,000 si la demanda es alta.

Si se compra una máquina y la demanda es baja, el NPV es de \$120,000. Si la demanda es alta, el gerente tiene tres opciones: no hacer nada, a la cual corresponde un NPV de \$120,000; subcontratar, con un NPV de \$140,000; y comprar la segunda máquina, con un NPV de \$130,000.

- a. Dibuje un árbol de decisiones para este problema.
- b. ¿Cuál es la mejor decisión y cuál es el resultado esperado?

18. Hace varios años, River City construyó una planta purificadora de agua para eliminar las toxinas y filtrar el agua potable de la ciudad. A causa del crecimiento de la población, la demanda de agua para el año próximo será mayor que la capacidad actual.

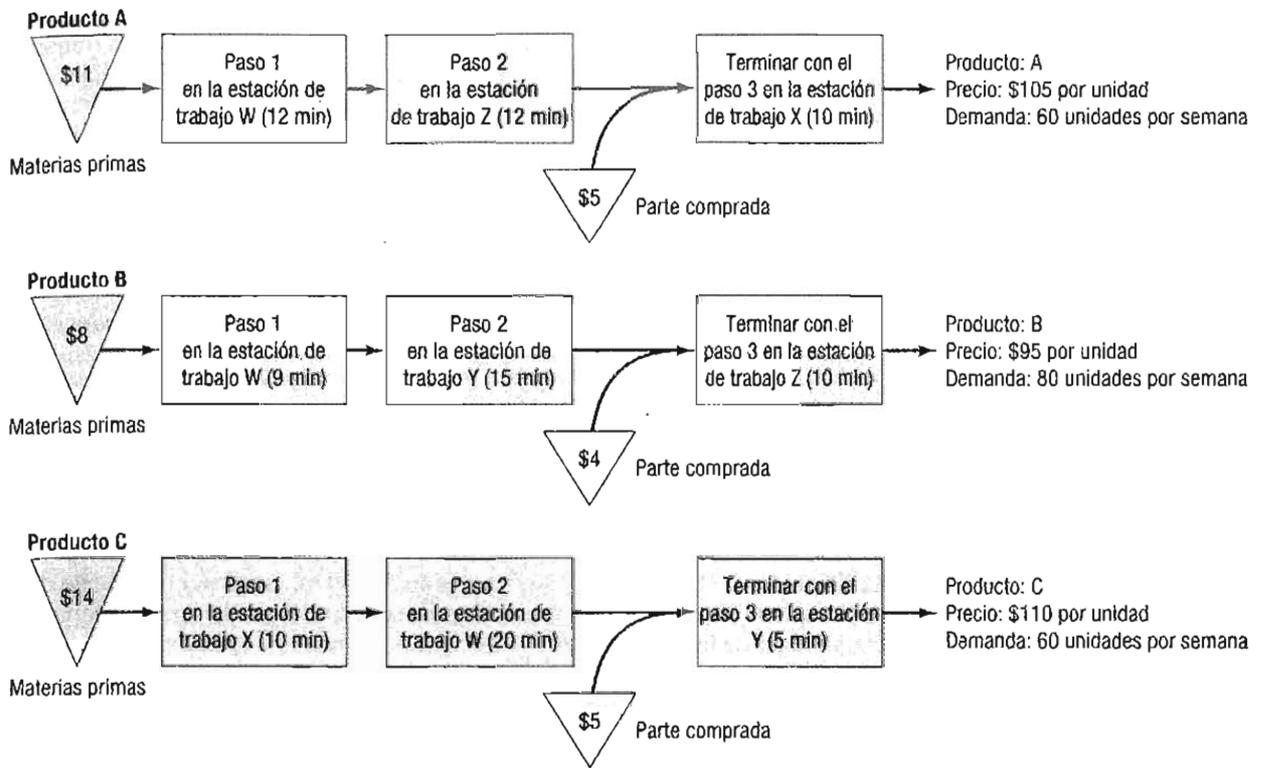


FIGURA 7.11 | Diagrama de flujo para Yost Perry Industries (YPI)

ciudad de la planta, que hoy es de 120 millones de galones al año. Por lo tanto, la ciudad debe expandir las instalaciones. La tabla 7.5 presenta la demanda estimada para los próximos 20 años.

La comisión de planificación de la ciudad está considerando tres alternativas:

- **Alternativa 1:** expandirse al final del año 0 lo suficiente para no tener que volver a hacerlo en 20 años. Esto significa un incremento de 80 millones de galones (200 – 120).
- **Alternativa 2:** efectuar la expansión al final del año 0 y al final del año 10.
- **Alternativa 3:** expandirse al final de los años 0, 5, 10 y 15.

Cada alternativa proporcionaría los 200 millones de galones anuales necesarios al cabo de 20 años, cuando el valor de la planta sería el mismo, cualquiera que haya sido la alternativa

elegida. Hay notables economías de escala que pueden realizarse en los costos de construcción: la expansión a 20 millones de galones costaría \$18 millones, a 40 millones de galones costaría \$30 millones y a 80 millones de galones costaría sólo \$50 millones. El nivel de las tasas de interés futuras es incierto, y eso provoca incertidumbre acerca de la tasa de crecimiento necesaria para justificar la inversión. La ciudad cree que ésta podría ubicarse entre 12% y 16% (véase el suplemento A, "Toma de decisiones").

- a. Calcule los flujos de efectivo de cada alternativa, en comparación con el caso base de no hacer nada. (Nota: Por tratarse de un servicio público municipal, esta operación no paga impuestos).
- b. ¿Qué alternativa minimiza el valor presente de los costos de construcción en el transcurso de los próximos 20 años si la tasa de descuento es de 12%? ¿Y si es de 16%?

Año		Demanda		Año		Demanda	
0	120	7	148	14	176		
1	124	8	152	15	180		
2	128	9	156	16	184		
3	132	10	160	17	188		
4	136	11	164	18	192		
5	140	12	168	19	196		
6	144	13	172	20	200		

c. Como la decisión implica políticas y compromisos públicos, ¿qué consideraciones políticas enfrenta la comisión de planificación?

19. Se han propuesto dos nuevas alternativas para ampliar el Grandmother's Chicken Restaurant (véase el problema resuelto 3). Ambas requieren automatizar más la cocina e incluyen un proceso especial de cocción que conserva el sabor de la receta original del pollo. Aunque el proceso es más intensivo en capital, abate el costo de la mano de obra, de modo que las utilidades antes de impuestos de *todas* las ventas (no sólo las de la nueva capacidad agregada) ascenderían de 20 a 22%. Esta ganancia elevaría las utilidades antes de impuestos en 2% por cada dólar de ventas hasta \$800,000 (80,000 comidas \times \$10) y en 22% por cada dólar de ventas entre \$800,000 y el nuevo límite de capacidad. Por lo demás, las nuevas alternativas son muy parecidas a las del ejemplo 7.5 y el problema resuelto 3.

- **Alternativa 1:** expandir ahora (al final del año 0) la cocina y el área del comedor, elevando la capacidad a 130,000 comidas al año. El costo de construcción, incluida la nueva automatización, sería de \$336,000 (en lugar de los \$200,000 anteriores).
- **Alternativa 2:** expandir ahora sólo la cocina, elevando su capacidad a 105,000 comidas al año. Al final del tercer año, expandir la cocina y el comedor al volumen de 130,000 comidas al año. Los costos de construcción y equipo serían de \$424,000, con \$220,000 al final del año 0 y el resto al final del tercer año. Como en la alternativa 1, el margen de contribución aumentaría a 22%.

Con las dos nuevas alternativas, el valor de rescate sería insignificante. Compare los flujos de efectivo de todas las alternativas. ¿Debe expandirse el Grandmother's Chicken Restaurant con la nueva tecnología o con la anterior? ¿Debe ampliarse ahora o después?

20. Los negocios de Acme Steel Fabricators han sido muy prósperos en los últimos cinco años. La compañía fabrica una amplia gama de productos de acero, como barandales, escaleras y marcos de acero estructural ligero. El método manual vigente para manejo de materiales ocasiona un exceso de inventario y congestionamientos. Acme está considerando si debe comprar un sistema de transporte que pende de un riel, o un vehículo montacargas, para incrementar su capacidad y mejorar su eficiencia manufacturera.
- Los resultados anuales del sistema, antes de impuestos, dependen de la demanda futura. Si la demanda se mantiene en el nivel actual, lo cual tiene una probabilidad de 0.50, el

ahorro anual que producirá el transportador elevado será de \$10,000. Si la demanda aumenta, el transportador permitirá ahorrar \$25,000 al año por la eficiencia operativa, además de las nuevas ventas. Finalmente, si la demanda cae, el transportador provocará una pérdida anual estimada en \$65,000. Se estima una probabilidad de 0.30 de que la demanda sea alta y de 0.20 de que sea baja.

Si se compra, el montacargas, los resultados anuales serán de \$5,000 si la demanda no cambia, \$10,000 si la demanda aumenta y -\$25,000 si la demanda cae.

- a. Dibuje un árbol de decisiones para este problema y calcule el valor esperado de los resultados de cada alternativa.
 - b. ¿Cuál es la mejor alternativa, con base en los valores esperados?
21. El vicepresidente de operaciones de Dintell Corporation, un importante proveedor de bolsas de aire protectoras para pasajeros de automóviles, está considerando una posible expansión de \$50 millones en el complejo de producción de la empresa en Fort Worth. Las proyecciones económicas más recientes indican una probabilidad de 0.60 de que el mercado total sea de \$400 millones al año en los cinco años próximos, y una probabilidad de 0.40 de que sea sólo de \$200 millones al año en ese mismo periodo. El departamento de marketing estima que Dintell tiene una probabilidad de 0.50 de captar el 40% del mercado, y la misma probabilidad de que capte sólo el 30% del mercado. Se calcula que el costo de los bienes vendidos será igual a 70% de las ventas. Para efectos de planificación, la compañía usa actualmente una tasa de descuento de 12%, una tasa tributaria de 40% y la tabla de depreciación del Sistema Modificado de Recuperación Acelerada de Costos (MACRS, del inglés *Modified Accelerated Cost Recovery System*). Los criterios en los que se basan las decisiones de inversión de Dintell son: (1) el valor presente neto esperado debe ser mayor que cero; (2) debe haber por lo menos 70% de probabilidades de que el valor presente neto resulte positivo, y (3) no debe haber más de 10% de probabilidades de que la empresa pierda más de 20% del valor inicial.
- a. Con base en los criterios expuestos, determine si Dintell debe financiar el proyecto.
 - b. ¿Qué efecto producirá en la decisión tener una probabilidad de 0.70 de captar el 40% del mercado?
 - c. ¿Qué efecto producirá en la decisión un aumento en la tasa de descuento a 15%? ¿Y una disminución a 10%?
 - d. ¿Qué efecto producirá en la decisión la necesidad de invertir otros \$10 millones durante el tercer año?

APRENDIZAJE POR EXPERIENCIA

Min-Yo Garment Company

Min-Yo Garment Company es una pequeña empresa de Taiwán que fabrica ropa deportiva para los mercados de venta al mayoreo y al menudeo. La ropa de Min-Yo es única porque ofrece bordados y telas finas con una gran variedad de diseños lisos y a rayas. En sus 20 años de existencia, Min-Yo Garment Company se ha ganado la reputación de ser un fabricante de camisas deportivas de calidad, muy formal en sus entregas. Sin embargo, en ese mismo periodo, el carácter de la industria del vestido ha sufrido algunos cambios. En el pasado, las empresas podían tener éxito si fabricaban camisas estandarizadas en grandes volúmenes, con pocas opciones de diseños o colores y largos tiempos de entrega por parte del área de producción. Actualmente, con el advenimiento del comercio regionalizado y la intensa competencia en el nivel minorista, los compradores de camisas buscan tiempos de entrega más cortos y una variedad mucho mayor en diseños y colores. En consecuencia, hoy en día existen muchas más oportunidades de negocios que nunca para una compañía que goza de prestigio como Min-Yo.

A pesar de que las oportunidades de éxito en los negocios parecían brillantes, la reunión de directivos de la semana pasada fue sombría. El señor Min-Yo Lee, presidente y propietario de Min-Yo Garment, expresó su preocupación por el desempeño de la compañía: "Nos enfrentamos a una intensa competencia de nuestros productos. Las grandes empresas de ropa están bajando sus precios porque ofrecen prendas de marca, que fabrican bajo licencia en altos volúmenes. Cada día más empresas incursionan en el negocio de las camisas hechas al gusto del cliente. Nuestras ganancias son más bajas de lo esperado y nuestro desempeño en términos de entregas se deteriora. Debemos reexaminar nuestras capacidades y decidir qué podemos hacer mejor".

Productos

Min-Yo ha dividido su línea de productos en tres categorías: marcas producidas bajo licencia, marcas subcontratadas y prendas especiales.

Marcas producidas bajo licencia

Son marcas propiedad de una compañía, pero que, mediante un contrato de licencia, son producidas por otra empresa que también comercializa la marca dentro de una región geográfica específica. El otorgante de la licencia puede tener concesionarios autorizados en todo el mundo. Estos últimos pagan una cuota a la compañía que les otorga la licencia por el privilegio de comercializar la marca en su región y, a su vez, la compañía otorgante accede a proveer cierta publicidad para el producto, generalmente a través de medios de difusión con cobertura internacional. Uno de los aspectos clave del contrato de licencia es que el concesionario debe comprometerse a proveer cantidades suficientes del producto en el nivel de ventas al menudeo. El agotamiento de inventario perjudica la imagen de la marca.

En la actualidad, Min-Yo fabrica solamente una marca bajo licencia. Esa marca, conocida como la camisa Muscle, es propiedad de una gran "corporación virtual" de Italia que no posee instalaciones manufactureras propias. Min-Yo obtuvo una licencia para fabricar las camisas Muscle y venderlas a las grandes cadenas minoristas de Taiwán. Estas cadenas exigen la entrega expedida del producto al final de cada semana. Debido a las presiones competitivas de otras marcas bajo licencia, los precios bajos son

importantes. Min-Yo vende cada camisa Muscle a las cadenas minoristas al precio de \$6.

La demanda de camisas Muscle representa en promedio 900 prendas por semana. A continuación se presenta el pronóstico de la demanda de camisas Muscle para las próximas 12 semanas.

Semana	Demanda	Semana	Demanda
1*	700	7	1,100
2	800	8	1,100
3	900	9	900
4	900	10	900
5	1,000	11	800
6	1,100	12	700

*En otras palabras, la compañía espera vender 700 camisas Muscle al final de la semana 1.

Los pronósticos de Min-Yo para las camisas Muscle son precisos dentro de un margen de ± 200 camisas por semana. Si la demanda supera a la oferta en una semana cualquiera, la demanda excedente se pierde. No se aceptan órdenes atrasadas y tampoco hay penalizaciones de costo para Min-Yo por las ventas perdidas.

Marcas subcontratadas

Los fabricantes de la industria del vestido se enfrentan con frecuencia a una demanda incierta. A fin de mantener el nivel de producción en sus plantas, muchos fabricantes buscan subcontratistas para producir sus marcas. A menudo, consideran a Min-Yo como subcontratista por su prestigio dentro de la industria. Aunque el precio es un aspecto a considerar, los dueños de las marcas subcontratadas conceden especial atención a la seguridad en la entrega y a la capacidad del subcontratista para ajustar las cantidades de los pedidos con poco tiempo de anticipación.

Actualmente, Min-Yo sólo fabrica una marca subcontratada, conocida como la camisa Thunder por sus brillantes colores. Las camisas Thunder se fabrican sobre pedido para una compañía de Singapur. El precio que cobra Min-Yo a esa compañía es de \$7 por camisa. Cuando se hacen los pedidos, generalmente dos veces al mes, el cliente especifica la entrega de cierta cantidad durante cada una de las dos semanas siguientes. El último pedido que hizo el cliente está retrasado, lo cual obliga a Min-Yo a pagar un cargo de penalización. Para evitar otra multa, deberá embarcar 200 camisas en la semana 1. Se espera que la compañía de Singapur especifique las cantidades que va a necesitar para las semanas 2 y 3 al principio de la semana 1. Se espera que el programa de entregas correspondiente a los pedidos para las semanas 4 y 5 llegue al principio de la semana 3, y así sucesivamente. El cliente ha estimado que sus necesidades promedio para el año serán de 200 camisas por semana, aunque es frecuente que sus estimaciones sean inexactas.

En virtud de la importancia que tiene este cliente para Min-Yo, y considerando las largas negociaciones que realizó el departamento de ventas para obtener el negocio que este cliente representa, la gerencia siempre se esfuerza por satisfacer sus necesidades. Ésta considera que si en alguna ocasión Min-Yo

ropa", que maneja un operario en cada uno de los tres turnos de trabajo. Este proceso a máquina es capaz de confeccionar todas las prendas que produce Min-Yo; sin embargo, el tiempo necesario para cambiar los ajustes, a fin de pasar de una prenda a otra, consume una parte sustancial de la capacidad. La política de la compañía es que la máquina trabaje tres turnos diarios, cinco días a la semana. Si no hay suficiente trabajo para mantener ocupada la máquina, los trabajadores permanecen ociosos porque Min-Yo se ha comprometido formalmente a no despedir jamás a ninguno de ellos. En la misma tónica, la empresa tiene la política de no trabajar ningún fin de semana. Por consiguiente, la capacidad del proceso es de 5 días × 24 horas = 120 horas por semana. Considerando que el salario es de \$10 por hora, la empresa está comprometida a cubrir un costo fijo de \$10 × 120 = \$1200 a la semana por concepto de mano de obra. Una vez que la máquina ha sido preparada para confeccionar un tipo de prenda en particular, puede fabricarla a razón de 10 piezas por hora, cualquiera que sea su tipo. El costo del material para cada prenda, independientemente del tipo de ésta, es de \$4. Las materias primas nunca son un problema y es posible conseguirlas de un día para otro.

Programación de la fábrica de ropa

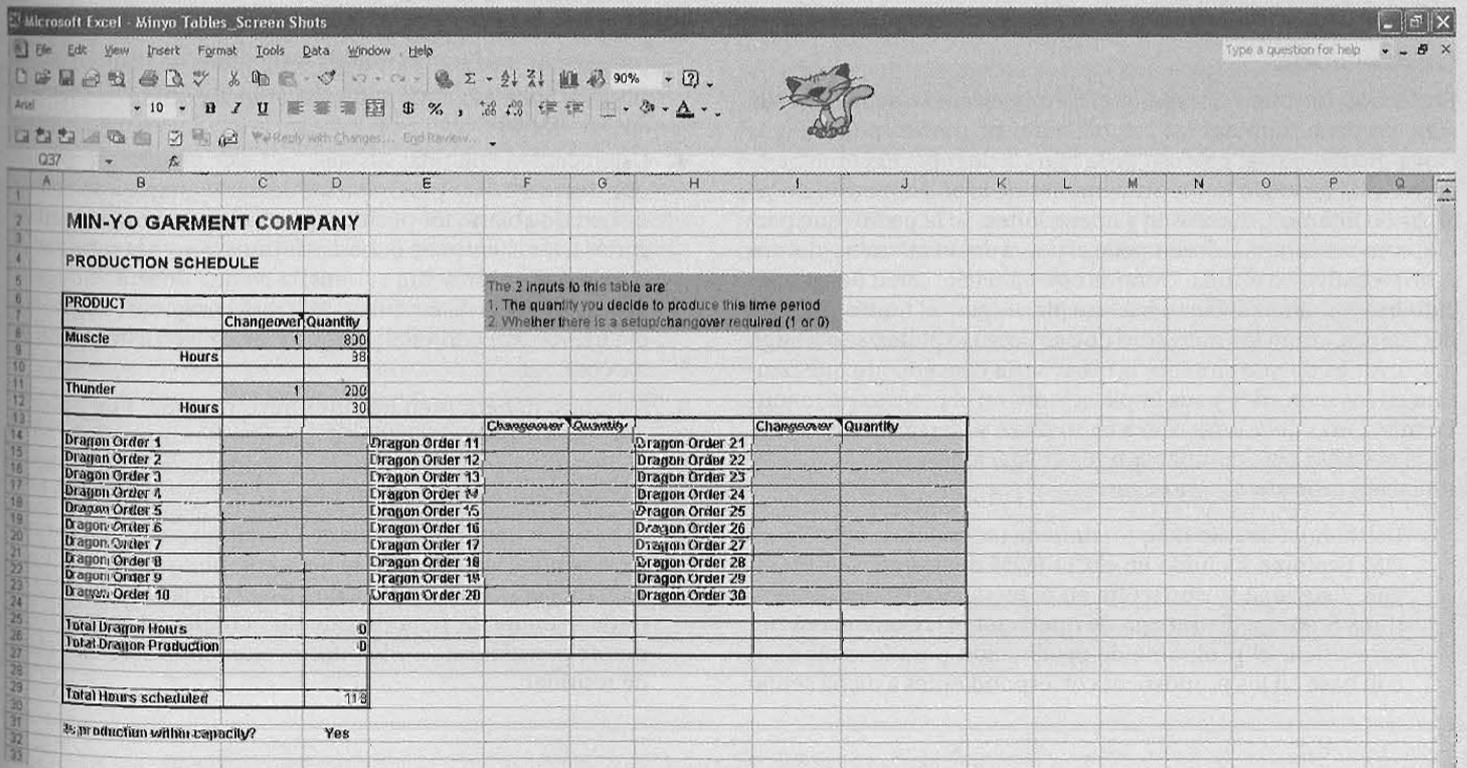
En Min-Yo Garment, la programación se realiza semanalmente, una vez que la producción de la semana se ha finalizado y enviado, después de la llegada de nuevos pedidos de los clientes y antes de iniciar la producción correspondiente a la siguiente semana. Como resultado de la programación se generan dos documentos.

El primero es un programa de producción, que se ilustra en la figura 7.13. El programa muestra lo que la gerencia quiere que el proceso de la fábrica de ropa produzca en una semana determinada. Se requieren dos entradas en la hoja de cálculo por cada producto que se va a fabricar en la semana. Éstas se asientan en

las celdas sombreadas en gris. La primera entrada es la cantidad de producción. En la figura 7.13 el programa muestra que Min-Yo produjo cantidades de 800 unidades de la camisa Muscle y 200 unidades de la camisa Thunder la semana pasada. La segunda entrada es un "1" si es necesario preparar la máquina para que ésta produzca un producto determinado o dejar la celda "en blanco" si no se requiere hacer ningún ajuste. La figura 7.13 muestra que la semana pasada fue preciso realizar cambios para las corridas de producción de las camisas Muscle y Thunder. La información sobre estos cambios es importante porque, al final de la semana, el proceso de la fábrica de ropa se queda preparado para el último producto que elaboró. Si se fabrica el mismo producto en primer término la semana entrante, no se requerirá ningún cambio o ajuste. La gerencia debe llevar el control de la secuencia de producción cada semana para aprovechar estos ahorros. La única excepción de esta regla es la camisa Dragón, ya que por sus características únicas sólo se produce sobre pedido y siempre requiere ajustes especiales. En la semana 0, Min-Yo no produjo ninguna camisa Dragón. Por último, la hoja de cálculo se usa para estimar las horas que requiere el programa propuesto. Los tiempos de preparación de la máquina para la producción de camisas Muscle, Thunder y Dragón son de 8, 10 y 25 horas, respectivamente. Debido a que el proceso de la fábrica de ropa produce 10 prendas por hora, sin importar el tipo, las horas de producción que se necesitan para las camisas Muscle son: 8 + 800/10 = 88 horas, y las horas de producción para las camisas Thunder son: 10 + 200/10 = 30 horas, como se muestra en la figura 7.13. El tiempo total de operación del proceso de la fábrica de ropa para elaborar todos los productos en una semana no puede rebasar 120 horas. La hoja de cálculo no le permitirá continuar si infringe esta restricción.

El segundo documento es un estado semanal de pérdidas y ganancias (PyG), que muestra las ventas y costos de producción,

FIGURA 7.13 | Programa de producción de Min-Yo



ESTADO DE PyG									
Producto	Precio	Inv Inic	Producción	Disponible	Demanda	Ventas	Inv final	Inv/Costos vencidos	
Muscle	\$6	550	800	1350	750	4500	600	60	
Thunder	\$7		200	200	400	1400	-200	200	
Pedidos Dragón	\$8		0	0	0	0	0	0	
			1000			5900		260	
			Actual	Acumulado					
Total de ventas			\$5,900	\$5,900					
Mano de obra	\$1,200								
Materiales	\$4,000								
Inv/vencido	\$260								
Total de costos			\$5,460						
Contribución a las utilidades			\$440	\$440					

FIGURA 7.14 | Estado de PyG de Min-Yo

Notas:

- La cantidad vencida de camisas se refiere a las camisas que no se enviaron en la fecha prometida, y aparece como un número negativo en la columna "Inv final".
- Disponible = Inventario inicial + Producción
- Ventas = Demanda × Precio cuando la demanda < disponible; en otras condiciones, Disponible × Precio.
- Costo de inventario = \$0.10 multiplicado por el número de camisas en el inventario. Los costos vencidos equivalen a la cantidad vencida multiplicada por la penalización (\$1 para las camisas Thunder; \$2 para las camisas Dragón). Estos dos costos se combinan en la columna "Inv/Costos vencidos".

e incluso los cargos por penalización y los costos de manejo de inventario, como se muestra en la figura 7.14. El costo de manejo de inventario de *cualquier tipo de producto* es de \$0.10 por camisa, por cada semana que permanezca en inventario después de realizar los embarques correspondientes a esa semana. La hoja de cálculo calcula automáticamente el estado de PyG, que se vincula con el archivo de pedido abierto y el programa de producción después de conocer la demanda real de camisas Muscle. La figura 7.14 muestra que la demanda real de camisas Muscle para la semana pasada fue de 750 camisas.

La simulación

En Min-Yo Garment Company, el comité ejecutivo se reúne cada semana para examinar las posibilidades de nuevos pedidos y la carga de trabajo del proceso de la fábrica de ropa. El comité ejecutivo está formado por representantes de la alta dirección de las áreas de finanzas, marketing y operaciones. Se le pedirá que participe en un equipo y desempeñe el papel de un miembro del comité ejecutivo en el aula. Durante este ejercicio, usted deberá decidir hasta cuándo deberán hacerse planes para el futuro. Algunas decisiones, como los mercados que se desea explotar, son a largo plazo. Antes de que empiece la clase, sería conveniente que pensara en los mercados y sus implicaciones en el proceso de manufactura. Otras decisiones son a corto plazo y afectan la capacidad de la empresa para cumplir con sus obligaciones. En el aula, la simulación procederá como sigue:

1. Use la hoja de cálculo que contiene las tablas de Min-Yo, en OM Explorer, incluido en el CD-ROM del estudiante, en inglés. Esta hoja se encuentra en el menú *Solver*, bajo Operations Strategy (Estrategia de operaciones). Comenzará por especificar el programa de producción para la semana 1, con base en los pronósticos correspondientes a dicha semana

na que se indican en la narrativa del caso para las camisas Muscle y la información adicional sobre los pedidos nuevos y existentes de camisas personalizadas que le proporcionará su profesor. Esta decisión deberá tomarla en conjunto con sus colegas del comité ejecutivo en clase.

2. Cuando todos los equipos hayan terminado sus planes de producción para la semana 1, el profesor proporcionará las demandas reales de las camisas Muscle en dicha semana. Introduzca esa cantidad en el estado de PyG, en la hoja de cálculo, para la semana 1.
3. Después de completar el estado de PyG para la semana 1, el profesor anunciará las nuevas solicitudes de pedidos de camisas Thunder y Dragón que deberán enviarse en la semana 2 y las siguientes.
4. Usted deberá examinar sus solicitudes de pedidos, aceptar las que desea atender y rechazar las demás. Agregue a su archivo de pedido abierto los pedidos que decida aceptar para entregarlos a los clientes en periodos futuros. Anote la cantidad en la celda que representa la semana en que deberá entregar el pedido. A partir de entonces, se habrá comprometido en forma irrevocable con esos pedidos y las consecuencias que éstos conllevan.
5. Así pues, deberá preparar un nuevo programa de producción para especificar lo que desea que el proceso de la fábrica de ropa produzca durante la siguiente semana (que en ese momento será la semana 2).
6. El profesor impondrá un límite de tiempo para cada periodo de la simulación. Cuando se haya cumplido el tiempo límite para un periodo, la simulación pasará a la siguiente semana. Cada semana, la hoja de cálculo actualizará automáticamente la producción y la información financiera en la hoja de resumen.

CASO

Fitness Plus, Parte A

En el Instructor's Manual (*Manual del instructor*) aparece el caso *Fitness Plus, parte B*, en el cual se exploran alternativas para la expansión de una nueva instalación en el centro de la ciudad. Si le interesa este tema, pida a su profesor una reseña preliminar.

Fitness Plus es un club deportivo y gimnasio que presta servicios completos en Greensboro, Carolina del Norte. El club ofrece una amplia gama de instalaciones y servicios para tres actividades principales: acondicionamiento físico, recreación y relajación. Las actividades de acondicionamiento físico se realizan generalmente en cuatro áreas del club: el salón de aeróbicos, que tiene cabida para 35 personas por clase; una sala equipada para ejercicios con pesas; una sala de entrenamiento que cuenta con 24 aparatos Nautilus y un gran salón para ejercicios cardiovasculares con 29 piezas de equipo especializado. Este equipo incluye nueve escaladoras, seis caminadoras, seis bicicletas fijas *life-cycle*, tres bicicletas *airdyne*, dos máquinas cross-aerobics, dos remadoras y una trepadora. Las instalaciones recreativas comprenden ocho canchas de racquetball, seis canchas de tenis y una piscina grande al aire libre. Fitness Plus también patrocina equipos de softball, voleibol y natación, pertenecientes a las ligas recreativas de la ciudad. La relajación se practica mediante clases de yoga que se imparten dos veces por semana en el salón de aeróbicos, tinas de hidromasaje instaladas en todos los vestuarios y un terapeuta especializado en masajes.

Fitness Plus abrió sus puertas en 1995 en una vasta zona suburbana de oficinas. En los dos primeros años tenía pocos socios y la utilización de sus instalaciones era escasa. Para 1997, el número de socios había aumentado, porque entonces la buena condición física empezó a desempeñar un papel importante en la vida de un número cada día mayor de personas. En virtud del crecimiento del número de socios, la utilización de las instalaciones del club aumentó. Los registros indican que, en 2000, entraba en el club un promedio de 15 socios por hora durante un día típico. Por supuesto, el número real de socios por hora variaba según el día y la hora. Algunos días, en períodos de poca actividad, entraban solamente entre seis y ocho socios por hora. En una hora pico, como los lunes de 4:00 a 7:00 de la tarde, la afluencia llegaba a ser de hasta 40 socios por hora. El club está abierto desde las 6:30 de la mañana hasta las 11:00 de la noche, de lunes a jueves. Los viernes y sábados, el club cierra a las 8:00 de la noche y el horario del domingo es de mediodía a 8:00 de la noche.

A medida que la popularidad del ejercicio para conservar la salud y la buena condición física siguió creciendo, la popularidad de Fitness Plus también aumentó. Para mayo de 2005, el número promedio de socios que llegaban al club en una hora, en un día típico, ya se había elevado a 25. Durante el período más bajo, la tasa era de 10 socios por hora; en los periodos pico, se registraban 80 socios por hora para usar las instalaciones. Este crecimiento provocó quejas de los socios por la aglomeración y la falta de equipo disponible. La mayoría de las quejas se centraba en las áreas de equipo Nautilus, cardiovascular y acondicionamiento

to aeróbico. Los propietarios comenzaron a preguntarse si el club era en verdad demasiado pequeño para la cantidad de socios que tenía. Según investigaciones pasadas, los usuarios se ejercitaban, en promedio, 60 minutos por visita. Los datos obtenidos de encuestas realizadas entre los socios mostraron el siguiente patrón de uso de las instalaciones: 30% de ellos hacía ejercicios aeróbicos, 40% usaba el equipo cardiovascular, 25% los aparatos Nautilus, 20% se ejercitaba con pesas, 15% usaba las canchas de racquetball y 10% las de tenis. Los dueños desean saber si podrían usar esta información para calcular con cuánta eficiencia se utiliza la capacidad existente.

Si los niveles de capacidad eran insuficientes, aquél era el momento de decidir qué hacer. Ya estaban en mayo y cualquier expansión de las instalaciones existentes requeriría cuatro meses por lo menos. Los propietarios sabían que enero era siempre un mes pico para las inscripciones de socios y que la nueva capacidad tendría que estar lista para entonces. Pero también tenían que considerar otros factores. El área estaba creciendo, tanto en términos de población como geográficamente. Acababan de rezozar el centro de la ciudad y muchas nuevas oficinas y empresas habían vuelto a instalarse ahí, dando lugar a un resurgimiento de la actividad.

Con este crecimiento aumentó la competencia. Un nuevo YMCA ofreció la gama completa de servicios a bajo costo. Dos nuevas instalaciones de salud y acondicionamiento físico se habían inaugurado el año anterior en locales que quedaban a 10 y 15 minutos de Fitness Plus. El primero, llamado Oasis, estaba enfocado en los adultos jóvenes y prohibía la entrada a menores de 16 años. La otra instalación, el Gold's Gym, ofrecía solamente un excelente entrenamiento cardiovascular y ejercicio con pesas.

Conforme los propietarios iban reflexionando sobre la situación, surgieron muchas preguntas: ¿había restricciones en las capacidades de las instalaciones existentes? De ser así, ¿dónde? Si se requería una expansión de la capacidad, ¿sería conveniente ampliar las instalaciones existentes? A causa de lo limitado del espacio disponible en el predio actual, para expandir algunos servicios habría que reducir la capacidad de otros. Finalmente, por el aumento de la competencia y el desarrollo de la zona del centro, ¿era el momento de abrir una instalación para atender ese mercado? Una instalación nueva requeriría seis meses para su renovación y no se disponía de recursos financieros para hacer ambas cosas.

PREGUNTAS

1. ¿Qué método usaría para medir la capacidad de Fitness Plus? ¿Ha alcanzado Fitness Plus su capacidad plena?
2. ¿Qué estrategia de capacidad sería apropiada para Fitness Plus? Justifique su respuesta.
3. ¿Cómo relacionaría usted la decisión de capacidad tomada por Fitness Plus con otros tipos de decisiones de operación?

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bakke, Nils Arne y Ronald Hellberg, "The Challenges of Capacity Planning", *International Journal of Production Economics*, volúmenes 31–30, 1993, pp. 243–264.
- Bowman, Edward II., "Scale of Operations—An Empirical Study", *Operations Research*, junio de 1958, pp. 320–328.
- Boyle, Matthew, "Why FedEx Is Flying High", *Fortune*, noviembre de 2004, pp. 145–150.
- Goldratt, E. M. y J. Cox, *The Goal*, 2a. edición revisada, Nueva York, North River Press, 1992.
- Hammesfahr, R., D. Jack, James A. Pope y Alireza Ardalán, "Strategic Planning for Production Capacity", *International Journal of Operations and Production Management*, volumen 13, número 5, 1993, pp. 41–53.
- Hartvigsen, David, *SimQuick: Process Simulation with Excel*, 2a. edición, Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 2004.
- "How Goliaths Can Act Like Davids", *Business Week/Enterprise*, 1993, pp. 192–200.
- "Intel's \$10 Billion Gamble", *Fortune*, 11 de noviembre de 2002, pp. 90–102.
- Klassen, Kenneth J. y Thomas R. Rohleder, "Combining Operations and Marketing to Manage Capacity and Demand in Services", *The Service Industries Journal*, volumen 21, número 2, 2001, pp. 1–30.
- "Logan's Roadhouse", *Business Week*, 27 de mayo de 1996, p. 11.
- Ritzman, Larry P. y M. Hossein Safizadch, "Linking Process Choice with Plant-Level Decisions About Capital and Human Resources", *Production and Operations Management*, volumen 8, número 4, 1999, pp. 374–392.
- Simons, Jacob, Jr. y Wendell P. Simpson III, "An Exposition of Multiple Constraint Scheduling as Implemented in the Goal System (Formerly Disaster™)", *Production and Operations Management*, volumen 8, número 1, primavera de 1997, pp. 3–22.
- Srikanth, M. L., Cavallaro, H. E. y Cavallaro, H. E., Jr., *Regaining Competitiveness; Putting the Goal to Work*, 2a. edición revisada, Guilford, CT, Spectrum Publishing Company, 1995.
- Srikanth, Mokshagundam L. y Michael Umble, *Synchronous Management: Profit-Based Manufacturing for the 21st Century*, volumen 1, Guilford, CT, Spectrum Publishing Company, 1997.

C

SUPLEMENTO

Filas de espera

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este suplemento, usted podrá:

1. Identificar los elementos de un problema de filas de espera en una situación real.
2. Describir los modelos de filas de espera con un solo servidor, múltiples servidores y fuente finita.
3. Explicar cómo se usan los modelos de filas de espera para estimar las características de operación de un proceso.
4. Explicar cómo se usan las filas de espera para tomar decisiones administrativas.

Cualquiera que haya tenido que esperar el cambio de luces en un semáforo, en McDonald's o en una oficina del registro civil, ha vivido la dinámica de las filas de espera. Tal vez uno de los mejores ejemplos de administración eficaz de filas de espera sea el que se observa en Walt Disney World. Es posible que en un día lleguen solamente 25,000 visitantes al parque, pero al día siguiente pueden arribar 90,000. Un análisis cuidadoso de los flujos de los procesos, la tecnología del equipo para el traslado de personas (manejo de materiales), la capacidad y la distribución física, permite a esta organización mantener los tiempos de espera en niveles aceptables para el público que desea entrar a las diversas atracciones.

El análisis de filas de espera es de interés para los gerentes porque afecta el diseño de los procesos, la planificación de la capacidad, el desempeño de los procesos y, en última instancia, el desempeño de la cadena de valor. En este suplemento se explicará por qué se forman las filas de espera, las aplicaciones de los modelos de filas de espera en la administración de operaciones y la estructura de los modelos de filas de espera. También se hablará de las decisiones que los gerentes toman con base en esos modelos. Las filas de espera también se analizan usando simulación por computadora. El software como SimQuick, un paquete de simulación incluido en el CD-ROM del estudiante, o las hojas de cálculo de Excel pueden usarse para analizar los problemas que contiene este suplemento.

fila de espera

Uno o más clientes que esperan a recibir un servicio

➤ POR QUÉ SE FORMAN LAS FILAS DE ESPERA ◀

Se conoce como **fila de espera** una hilera formada por uno o varios "clientes" que esperan a recibir un servicio. Los clientes pueden ser personas u objetos inanimados, como máquinas que requieren mantenimiento, pedidos de mercancías en espera de ser enviados, o artículos del inventario en espera de ser utilizados. Las filas de espera se forman debido a un desequilibrio temporal entre la demanda de un servicio y la capacidad del sistema para suministrarlo. En la mayoría de los problemas de filas de espera que se presentan en la vida real, la tasa de demanda varía; es decir, los clientes llegan a intervalos imprevisibles. Lo más común es que también haya variaciones en la tasa de producción del servicio, dependiendo de las necesidades del cliente. Suponga que los clientes de un banco llegan a una tasa promedio de 15 por hora durante todo el día, y que el banco tiene capacidad para atender a 20 clientes por hora, en promedio. ¿Por qué podría formarse alguna vez una fila de espera en ese banco? Las respuestas son que la tasa de llegada de los clientes varía en el transcurso del día y que el tiempo necesario para atender a cada uno de ellos también es variable. A mediodía, es factible que lleguen 30 clientes al banco. Algunos querrán realizar transacciones complicadas que requieran tiempos de procesamiento superiores al promedio. La fila de espera puede aumentar a 15 clientes durante ciertos periodos, antes de desaparecer finalmente. A pesar de que el gerente del banco haya previsto una capacidad más que suficiente, considerada en promedio, es posible que se sigan formando filas de espera.

Las filas de espera pueden formarse a pesar de que el tiempo necesario para atender a los clientes sea constante. Por ejemplo, un tren subterráneo está controlado por computadoras para que llegue puntualmente a las distintas estaciones de su ruta. Cada tren está programado para llegar a una estación, por ejemplo, cada 15 minutos. A pesar de que el tiempo de servicio es constante, se forman filas de espera cuando los pasajeros tienen que esperar al siguiente tren o no logran abordar alguno a causa del gran número de personas que se aglomeran en las estaciones en las horas más agitadas del día. Por consiguiente, en este caso, la variabilidad de la tasa de demanda determina la longitud de las filas de espera. En general, si no hay variabilidad en las tasas de demanda o servicio y se cuenta con capacidad suficiente, no se formarán filas de espera.

➤ USOS DE LA TEORÍA DE FILAS DE ESPERA ◀

La teoría de filas de espera es aplicable a empresas de servicio y manufactureras, porque relaciona la llegada de los clientes y las características de procesamiento del sistema de servicio con las características de la producción de dicho sistema. En esta exposición, se usará el término *servicio* en sentido amplio, es decir, como la acción de realizar un trabajo para un cliente. El sistema de servicio puede consistir en la operación de cortar el cabello en una peluquería, resolver las quejas de los clientes, o procesar una orden de producción de partes en una cierta máquina. Otros ejemplos de clientes y servicios son las filas de los espectadores que se forman frente a la taquilla de un teatro para comprar entradas, los camiones que aguardan para ser descargados en un almacén, las máquinas en espera de ser reparadas por una cuadrilla de mantenimiento y los pacientes que hacen antesala para ser examinados por un médico. Cualquiera que sea la situación, los problemas de filas de espera tienen varios elementos en común.

➤ ESTRUCTURA DE LOS PROBLEMAS DE FILAS DE ESPERA ◀

El análisis de los problemas de filas de espera comienza con una descripción de los elementos básicos de la situación. Cada situación específica tendrá características diferentes, pero cuatro elementos son comunes a todas ellas:

1. Un insumo, o **población de clientes**, que genera clientes potenciales.
2. Una fila de espera formada por los clientes.
3. La **instalación de servicio**, constituida por una persona (o una cuadrilla), una máquina (o grupo de máquinas) o ambas cosas, si así se requiere para proveer el servicio que el cliente solicita.
4. Una **regla de prioridad** para seleccionar al siguiente cliente que será atendido por la instalación de servicio.

La figura C.1 ilustra estos elementos básicos. Los triángulos, círculos y cuadrados sirven para mostrar una diversidad de clientes con necesidades diferentes. El **sistema de servicio** describe el número de filas y la distribución de las instalaciones. Una vez que se ha prestado el servicio, los clientes atendidos salen del sistema.

POBLACIÓN DE CLIENTES

La fuente de insumos para el sistema de servicio es una población de clientes. Si el número potencial de nuevos clientes para el sistema de servicio resulta afectado notablemente por el número de

población de clientes

Insumo que genera clientes potenciales.

instalación de servicio

Una persona (o una cuadrilla), una máquina (o grupo de máquinas) o ambas cosas, si así se requiere para proveer el servicio que el cliente solicita.

regla de prioridad

regla para seleccionar al siguiente cliente que será atendido por la instalación de servicio.

sistema de servicio

El número de filas y la distribución de las instalaciones.

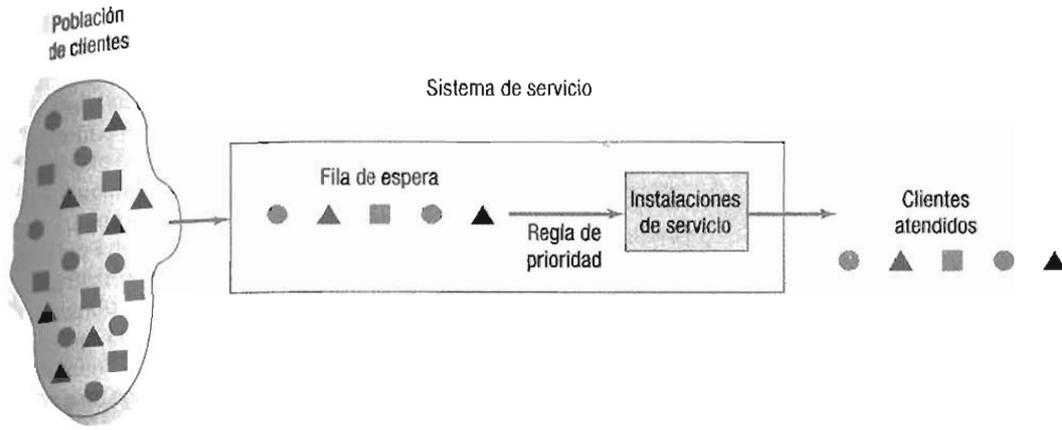


FIGURA C.1
Elementos básicos de los modelos de filas de espera

clientes que ya se encuentran en el sistema, se dice que esa fuente de insumos es *finita*. Por ejemplo, suponga que a una cuadrilla de mantenimiento se le asigna la responsabilidad de reparar 10 máquinas. La población de clientes para la cuadrilla de mantenimiento es de 10 máquinas en buen estado de funcionamiento. Esa población genera los clientes de la cuadrilla de mantenimiento como una función de las tasas de falla de las máquinas. A medida que un mayor número de máquinas falla y entra al sistema de servicio, ya sea para esperar su turno o para ser reparada de inmediato, la población de clientes se va haciendo más pequeña y se reduce la tasa a la que dicha población es capaz de generar otro cliente. En consecuencia, se dice que la población de clientes es finita.

Por otro lado, una población de clientes *infinita* es aquella en la que el número de clientes que entran al sistema no afecta la tasa a la cual dicha población genera nuevos clientes. Por ejemplo, considere una operación de ventas por correo para la cual la población de clientes está constituida por los compradores que han recibido un catálogo de los productos que vende la compañía. En virtud de que la población de clientes es muy grande y sólo una pequeña fracción de los compradores hace pedidos en un momento determinado, el número de nuevos pedidos que genera no resulta afectado en forma notable por el número de pedidos que están en espera de servicio o que se procesan en el sistema de servicio. En este caso, se dice que la población de clientes es infinita.

Los clientes de las filas de espera pueden ser *pacientes* o *impacientes*, lo cual no tiene nada que ver con el florido lenguaje que algún cliente que espera mucho tiempo en una fila, durante un día caluroso, podría usar. En el contexto de los problemas de filas de espera, un cliente paciente es el que entra al sistema y permanece allí hasta que lo atienden; un cliente impaciente es el que decide no entrar al sistema (lo evita) o sale de éste antes de que lo atiendan (renuncia). En el caso de los métodos utilizados en este suplemento, se supondrá, para efectos de simplificación, que todos los clientes son pacientes.

EL SISTEMA DE SERVICIO

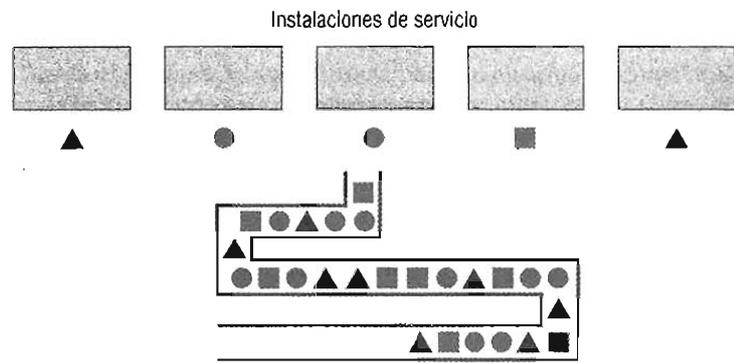
El sistema de servicio puede describirse en términos del número de filas y la distribución de las instalaciones.

Número de filas Las filas de espera se diseñan en forma de *una sola fila* o *filas múltiples*. La figura C.2 muestra un ejemplo de cada una de esas distribuciones. En general, se utiliza una sola fila en mostradores de aerolíneas, ventanillas de bancos y algunos restaurantes de comida rápida, mientras que las filas múltiples son comunes en tiendas de abarrotes, operaciones en ventanillas bancarias para automovilistas y tiendas de descuento. Cuando se dispone de varios servidores y cada uno de ellos puede manejar transacciones de tipo general, la distribución de una sola fila mantiene a todos ellos uniformemente ocupados y proyecta en los clientes una sensación de igualdad y justicia. Éstos piensan que serán atendidos por orden de llegada, y no por el grado en que hayan podido adivinar los diferentes tiempos de espera al formarse en una fila en particular. El diseño de filas múltiples es preferible cuando algunos de los servidores brindan un conjunto de servicios limitado. En esta distribución, los clientes eligen los servicios que necesitan y esperan en la fila donde se suministra dicho servicio, como sucede en las tiendas de abarrotes en las que hay filas especiales para los clientes que pagan en efectivo o para los que compran menos de diez artículos.

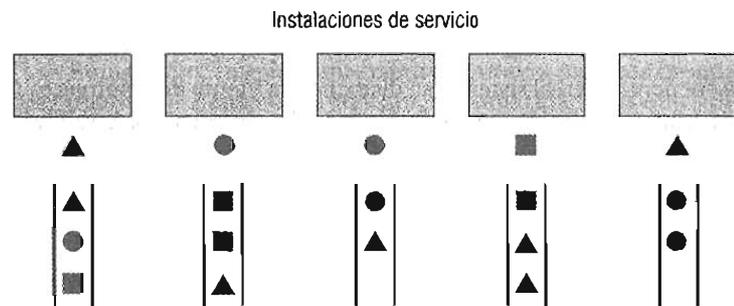
Algunas veces, los elementos que esperan su turno no forman "filas" en el sentido estricto de la palabra. Las máquinas que necesitan reparaciones en el taller de producción de una fábrica pueden permanecer en sus respectivos sitios y la cuadrilla de mantenimiento es la que tiene que acudir a cada lugar. No obstante, se puede considerar que esas máquinas forman una sola fila o filas múltiples, según el número de cuadrillas de reparación y sus respectivas especialidades. Asimismo, los usuarios que llaman por teléfono para pedir un taxi también forman una fila, aunque cada uno se encuentre en un lugar diferente.

FIGURA C.2

Distribuciones de filas de espera



(a) Una sola fila



(b) Filas múltiples

canal

Una o más instalaciones necesarias para proporcionar un servicio determinado.

fase

Un solo paso en la prestación de un servicio.

Distribución de instalaciones de servicio Las instalaciones de servicio consisten en el personal y el equipo necesario para proporcionar dicho servicio al cliente. La distribución de las instalaciones de servicio se define por el número de canales y fases. Un **canal** es una o más instalaciones necesarias para proporcionar un servicio determinado. Una **fase** es un solo paso en la prestación del servicio. Algunos servicios requieren una sola fase, en tanto que otros necesitan una secuencia de fases. En consecuencia, una instalación de servicio usa alguna combinación de canales y fases. Los gerentes deben elegir una distribución con base en el volumen de clientes y el carácter de los servicios proporcionados. La figura C.3 muestra algunos ejemplos de los cinco tipos básicos de distribuciones de las instalaciones de servicio.

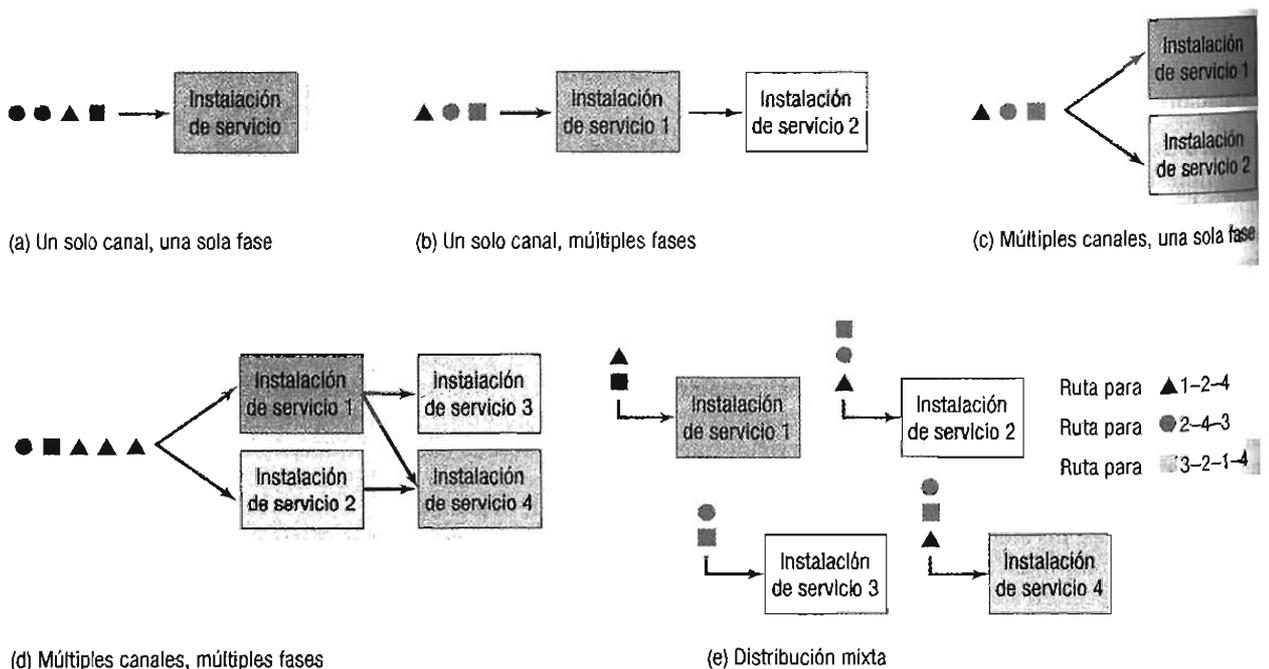


FIGURA C.3 | Ejemplos de distribuciones de instalaciones de servicio

En el sistema de *un solo canal y una sola fase*, todos los servicios solicitados por un cliente pueden proporcionarse en una instalación con un solo servidor. En ese caso, los clientes forman una sola fila y van pasando uno por uno a través de la instalación de servicio. Ejemplos de esto son los servicios de lavado de automóviles donde los conductores no necesitan bajar de sus vehículos, o cualquier máquina en la que deban procesarse varios lotes de partes.

La distribución de *un solo canal y múltiples fases* se usa cuando es más conveniente que los servicios se brinden en secuencia por varias instalaciones, pero el volumen de clientela u otras restricciones limitan el diseño a un solo canal. Los clientes forman una sola fila y avanzan en sucesión ordenada de una instalación de servicio a la siguiente. Un ejemplo de esta distribución son los McDonald's para automovilistas, donde la primera instalación toma el pedido, la segunda lo cobra y la tercera entrega los alimentos.

La distribución de *múltiples canales y una sola fase* se usa cuando la demanda es suficientemente grande para justificar que el mismo servicio se brinde en más de una instalación o cuando los servicios ofrecidos por las instalaciones son diferentes. Los clientes forman una o varias filas, dependiendo del diseño. En el diseño de una sola fila, los clientes son atendidos por el primer servidor disponible, como sucede en los bancos. Si cada canal tiene su propia fila de espera, los clientes aguardan hasta que el servidor de su respectiva fila puede atenderlos, como sucede en los denominados autobancos.

La distribución de *múltiples canales y múltiples fases* se presenta cuando los clientes pueden ser atendidos por una de las instalaciones de la primera fase, pero después requieren servicios de una instalación de la segunda fase, y así sucesivamente. En algunos casos, los clientes no pueden cambiar de canales después de iniciado el servicio; en otros sí. Un ejemplo de esta distribución son las lavanderías automáticas. Las lavadoras son las instalaciones de la primera fase y las secadoras son las instalaciones de la segunda fase. Algunas lavadoras y secadoras están diseñadas para recibir cargas de mayor volumen, con lo cual se brinda al cliente la posibilidad de elegir entre varios canales.

En el problema más complejo de filas de espera intervienen clientes cuyos servicios requeridos tienen secuencias únicas; por consiguiente, el servicio no puede dividirse claramente en distintas fases. En esos casos se utiliza una distribución *mixta*. En este tipo de distribución, las filas de espera se forman frente a cada instalación, como en un taller de producción intermitente, donde cada trabajo personalizado tal vez requiera el uso de diversas máquinas y diferentes rutas.

REGLA DE PRIORIDAD

La regla de prioridad determina a qué cliente se deberá atender a continuación. En la mayoría de los sistemas de servicio que conocemos, se aplica la regla de "el que llega primero tiene prioridad" (FCFS, del inglés *first-come first-served*). El cliente que se encuentra en el primer lugar de la fila de espera tiene la más alta prioridad, y el que llega al último tiene la prioridad más baja. En otras disciplinas para determinar órdenes de prioridad, se concede la preferencia al cliente que tiene la fecha prometida de vencimiento más próxima (EDD, del inglés *earliest due date*) o al que corresponda el tiempo de procesamiento más corto (SPT, del inglés *shortest processing time*).¹

Una **disciplina prioritaria** es una regla que permite a un cliente de más alta prioridad interrumpir el servicio de otro cliente. Por ejemplo, en la sala de urgencias de un hospital, se atiende primero a los pacientes que llegan con heridas que representan amenazas más graves para la vida, sin importar el orden en que hayan llegado. La construcción de modelos de sistemas que tienen disciplinas de prioridad complejas se realiza generalmente por medio de una simulación por computadora.

> DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDADES <

Las fuentes de variación en los problemas de filas de espera provienen del carácter aleatorio de la llegada de los clientes y de las variaciones que se registran en los tiempos requeridos para proporcionar el servicio. Cada una de esas fuentes se describe mediante una distribución de probabilidades.

¹En este suplemento se centrará la atención en la regla FCFS, y en el capítulo 16, "Programación", se hablará de la EDD y el SPT.



Pasajeros esperan formados en fila para comprar sus boletos en la estación Grand Central de la ciudad de Nueva York. Éste es un ejemplo de un servicio diseñado en múltiples canales y una sola fase.

disciplina prioritaria

Regla que permite a un cliente de más alta prioridad interrumpir el servicio de otro cliente.

DISTRIBUCIÓN DE LLEGADAS

La llegada de clientes a las instalaciones de servicio es aleatoria. La variabilidad en los intervalos de llegada de los clientes a menudo se describe por medio de una distribución de Poisson que especifica la probabilidad de que n clientes lleguen en T periodos de tiempo

$$P_n = \frac{(\lambda T)^n}{n!} e^{-\lambda T} \text{ para } n=0,1,2,\dots$$

donde

P_n = probabilidad de n llegadas en T periodos de tiempo

λ = número promedio de llegadas de clientes por periodo

$e = 2.7183$

La media de la distribución de Poisson es λT , y la varianza también es λT . La distribución de Poisson es una distribución discreta; es decir, las probabilidades corresponden a un número específico de llegadas por unidad de tiempo.

EJEMPLO C.1

Cálculo de la probabilidad de llegadas de clientes

La gerencia está rediseñando el proceso de atención a clientes en una tienda departamental grande. Es importante atender a cuatro clientes. Los clientes se presentan en el mostrador a razón de dos clientes por hora. ¿Qué probabilidad hay de que se presenten cuatro clientes durante una hora cualquiera?

SOLUCIÓN

En este caso, $\lambda = 2$ clientes por hora, $T = 1$ hora, y $n = 4$ clientes. La probabilidad de que lleguen cuatro clientes en una hora cualquiera es:

$$P_4 = \frac{[2(1)]^4}{4!} e^{-2(1)} = \frac{16}{24} e^{-2} = 0.090$$

Punto de decisión El gerente de la oficina de atención a clientes puede usar esta información para determinar las necesidades de espacio para el mostrador y el área de espera. Hay una probabilidad relativamente pequeña de que se presenten cuatro clientes en una hora cualquiera. En consecuencia, si se colocan dos o tres asientos para los clientes, la capacidad será más que suficiente, a menos que el tiempo requerido para atender a cada cliente sea prolongado. Se necesita un análisis más a fondo de los tiempos de servicio.

tiempos entre llegadas

El tiempo que transcurre entre la llegada de dos clientes sucesivos.

Otra forma de especificar la distribución de las llegadas consiste en hacerlo en términos de **tiempos entre llegadas** de clientes; es decir, el tiempo que transcurre entre la llegada de dos clientes sucesivos. Si la población de clientes los genera de acuerdo con una distribución de Poisson, la *distribución exponencial* describe la probabilidad de que el próximo cliente llegue durante los siguientes T periodos de tiempo. En virtud de que la distribución exponencial también describe los tiempos de servicio, los detalles de dicha distribución se examinarán en la siguiente sección.

DISTRIBUCIÓN DEL TIEMPO DE SERVICIO

La distribución exponencial describe la probabilidad de que el tiempo de servicio de un cliente en una instalación determinada no sea mayor que T periodos de tiempo. La probabilidad puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$P(t \leq T) = 1 - e^{-\mu T}$$

donde

μ = número promedio de clientes que completan el servicio por periodo

t = tiempo de servicio del cliente

T = tiempo de servicio objetivo

La media de la distribución del tiempo de servicio es $1/\mu$, y la varianza es $(1/\mu)^2$. A medida que T se incrementa, la probabilidad de que el tiempo de servicio del cliente sea menor que T se va aproximando a 1.0.

Para simplificar, se considerará ahora una distribución de un solo canal y una sola fase.

Cálculo de la probabilidad del tiempo de servicio

EJEMPLO C.2

La gerencia de la tienda departamental grande del ejemplo C.1 debe determinar si el empleado de atención a clientes necesita más capacitación. Este empleado puede atender, en promedio, a tres clientes por hora. ¿Qué probabilidad hay de que un cliente requiera menos de 10 minutos de servicio?

SOLUCIÓN

Es necesario expresar todos los datos en las mismas unidades de tiempo. Puesto que $\mu = 3$ clientes por hora, convertimos los minutos en horas, o sea, $T = 10 \text{ minutos} = 10/60 \text{ hora} = 0.167 \text{ hora}$. Entonces

$$P(t \leq T) = 1 - e^{-\mu T}$$

$$P(t \leq 0.167 \text{ hora}) = 1 - e^{-3(0.167)} = 1 - 0.61 = 0.39$$

Punto de decisión La probabilidad de que el empleado necesite sólo 10 minutos o menos no es alta, lo que abre la posibilidad de que los clientes puedan experimentar retrasos considerables. La gerencia debe pensar en proporcionar capacitación adicional al empleado para reducir el tiempo que se necesita para atender la solicitud de un cliente.

Algunas características de la distribución exponencial no siempre se ajustan a una situación real. El modelo de distribución exponencial se basa en la suposición de que cada tiempo de servicio es independiente de los tiempos que lo precedieron. Sin embargo, en la vida real, la productividad puede mejorar a medida que los servidores humanos aprenden a hacer mejor su trabajo. Otra suposición en la que se basa este modelo es que los tiempos de servicio muy pequeños, igual que los muy grandes, son posibles. No obstante, las situaciones de la vida real requieren a menudo un tiempo de duración fija para su puesta en marcha, algún límite para la duración total del servicio o un tiempo de servicio casi constante.

EL USO DE MODELOS DE FILAS DE ESPERA PARA ANALIZAR OPERACIONES

Los gerentes de operaciones suelen utilizar modelos de filas de espera para equilibrar las ventajas que podrían obtener incrementando la eficiencia del sistema de servicio y los costos que esto implica. Además, los gerentes deben considerar los costos de no mejorar el sistema: las filas de espera largas o los tiempos de espera prolongados provocan que los clientes eviten el sistema o renuncien a permanecer ahí. Por lo tanto, es preciso que los gerentes se interesen en las siguientes características de operación del sistema.

1. *Longitud de la fila.* El número de clientes que forman una fila de espera refleja una de estas dos condiciones: las filas cortas significan que el servicio al cliente es bueno o que la capacidad es excesiva. Asimismo, las filas largas indican poca eficiencia del servidor o la necesidad de aumentar la capacidad.
2. *Número de clientes en el sistema.* El número de clientes que forman la fila y reciben servicio también se relaciona con la eficiencia y la capacidad de dicho servicio. Un gran número de clientes en el sistema provoca congestionamientos y puede dar lugar a la insatisfacción del cliente, a menos que se agregue más capacidad.
3. *Tiempo de espera en la fila.* Las filas largas no siempre significan tiempos de espera prolongados. Si la tasa de servicio es rápida, una fila larga puede ser atendida eficientemente. Sin embargo, cuando el tiempo de espera parece largo, los clientes tienen la impresión de que la calidad del servicio es deficiente. Los gerentes tratan de cambiar la tasa de llegada de los clientes o de diseñar el sistema para que los largos tiempos de espera parezcan más cortos de lo que realmente son. Por ejemplo, en Walt Disney World, los clientes que forman filas para entrar a una atracción determinada se entretienen con la exhibición de videos y también reciben información acerca de cuánto tiempo tendrán que esperar, lo que parece ayudarles a soportar la espera.
4. *Tiempo total en el sistema.* El tiempo total transcurrido desde la entrada al sistema hasta la salida del mismo puede indicar problemas con los clientes, la eficiencia del servidor o la capacidad. Si algunos clientes pasan demasiado tiempo en el sistema del servicio, tal vez sea necesario cambiar la disciplina prioritaria, incrementar la productividad o ajustar de algún modo la capacidad.
5. *Utilización de las instalaciones de servicio.* La utilización colectiva de instalaciones de servicio refleja el porcentaje de tiempo que éstas permanecen ocupadas. El objetivo de la gerencia es mantener altos niveles de utilización y rentabilidad, sin afectar adversamente las demás características de operación.

El mejor método para analizar un problema de filas de espera consiste en relacionar las cinco características de operación y sus respectivas alternativas con su valor monetario. Sin embargo, es difícil asignar un valor económico a ciertas características (como el tiempo de espera de un comprador en una tienda de abarrotes). En esos casos, es necesario que el analista compare el costo de aplicar la alternativa en cuestión con una evaluación subjetiva del costo que implicaría el hecho de *no* hacer dicho cambio.

A continuación se presentarán tres modelos y algunos ejemplos que ilustran la forma en que los modelos de filas de espera ayudan a los gerentes de operaciones en la toma de decisiones. Se analizarán problemas que requieren la utilización de los modelos de un solo servidor, de múltiples servidores y de fuente finita, todos ellos con una sola fase. Al final de este suplemento encontrará referencias a otros modelos más avanzados.

MODELO CON UN SOLO SERVIDOR

El modelo de filas de espera más sencillo corresponde a un solo servidor y una sola fila de clientes. Para especificar con más detalle el modelo, se harán las siguientes suposiciones:

1. La población de clientes es infinita y todos los clientes son pacientes.
2. Los clientes llegan de acuerdo con una distribución de Poisson y con una tasa media de llegadas de λ .
3. La distribución del servicio es exponencial, con una tasa media de servicio de μ .
4. La tasa media de servicio es mayor que la tasa media de llegadas.
5. A los clientes que llegan primero se les atiende primero.
6. La longitud de la fila de espera es ilimitada.

A partir de estas suposiciones, se pueden aplicar varias fórmulas para describir las características de operación del sistema:

ρ = utilización promedio del sistema

$$= \frac{\lambda}{\mu}$$

P_n = probabilidad de que n clientes estén en el sistema

$$= (1 - \rho)\rho^n$$

L = número promedio de clientes en el sistema de servicio

$$= \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$$

L_q = número promedio de clientes en la fila de espera

$$= \rho L$$

W = tiempo promedio transcurrido en el sistema, incluido el servicio

$$= \frac{1}{\mu - \lambda}$$

W_q = tiempo promedio de espera en la fila

$$= \rho W$$

EJEMPLO C.3

Cálculo de las características de operación de un sistema con un solo canal y una sola fase



MODELO ACTIVO C.1

El modelo activo C.1 en el CD-ROM del estudiante contiene explicaciones adicionales sobre el modelo con un solo servidor y sus usos para este problema.

La gerente de una tienda de abarrotes, en la comunidad para jubilados de Sunnyville, está interesada en brindar un buen servicio a las personas mayores que compran en su tienda. Actualmente, la tienda tiene una caja registradora reservada para los clientes de la tercera edad. Esas personas llegan a la caja a un ritmo promedio de 30 por hora, de acuerdo con una distribución de Poisson, y son atendidas a una tasa promedio de 35 clientes por hora, con tiempos de servicio exponenciales. Calcule las siguientes características de operación:

- a. Probabilidad de que haya cero clientes en el sistema.
- b. Utilización promedio del empleado de la caja registradora.
- c. Número promedio de clientes en el sistema.
- d. Número promedio de clientes formados en la fila.
- e. Tiempo promedio que los clientes pasan en el sistema.
- f. Tiempo promedio de espera en la fila.

SOLUCIÓN

La caja registradora puede modelarse como un sistema con un solo canal y una sola fase. La figura C.4 muestra los resultados del *solver* de filas de espera de OM Explorer. Los cálculos manuales de las ecuaciones para el *modelo con un solo servidor* se demuestran en el problema resuelto 1 al final del suplemento.

Servidores	(Se supone que el número de servidores s es 1	
Tasa de llegadas (λ)	30	en un modelo con un solo servidor)
Tasa de servicio (μ)	35	
Probabilidad de que haya cero clientes en el sistema (P_0)		0.1429
Probabilidad de que haya <input type="text" value="exactamente"/> 0 clientes en el sistema		0.1429
Utilización promedio del servidor (ρ)		0.8571
Número promedio de clientes en el sistema (L)		6.0000
Número promedio de clientes en la fila (L_q)		5.1429
Tiempo promedio de espera/servicio en el sistema (W)		0.2000
Tiempo promedio de espera en la fila (W_q)		0.1714

FIGURA C.4

Solver de filas de espera correspondiente a un sistema con un solo canal y una sola fase

Tanto el tiempo promedio de espera en el sistema (W) como el tiempo promedio de espera en la fila (W_q) se expresan en horas. Para convertir los resultados en minutos, simplemente multiplíquese por 60 minutos/hora. Por ejemplo, $W = 0.20(60) = 12.00$ minutos, y $W_q = 0.1714(60) = 10.28$ minutos.

Análisis de las tasas de servicio con el modelo de un solo servidor

EJEMPLO C.4

La gerente de la tienda de abarrotes de Sunnyville, mencionada en el ejemplo C.3, desea respuestas a las siguientes preguntas:

- ¿Qué tasa de servicio se requeriría para lograr que los clientes pasaran, en promedio, sólo 8 minutos en el sistema?
- Con esa tasa de servicio, ¿qué probabilidad hay de tener más de cuatro clientes en el sistema?
- ¿Qué tasa de servicio se requeriría para tener sólo 10% de probabilidad de que haya más de cuatro clientes en el sistema?

SOLUCIÓN

El *solver* de filas de espera de OM Explorer puede usarse de manera iterativa para responder las preguntas. Aquí se muestra cómo resolver el problema manualmente.

- Se usa la ecuación correspondiente al tiempo promedio dentro del sistema y se resuelve para obtener el valor de μ .

$$W = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

$$8 \text{ minutos} = 0.133 \text{ hora} = \frac{1}{\mu - 30}$$

$$0.133\mu - 0.133(30) = 1$$

$$\mu = 37.52 \text{ clientes/hora}$$

- La probabilidad de que haya más de cuatro clientes en el sistema es igual a 1 menos la probabilidad de que haya cuatro o menos clientes en el sistema.

$$P = 1 - \sum_{n=0}^4 P_n$$

$$= 1 - \sum_{n=0}^4 (1 - \rho)\rho^n$$

y

$$\rho = \frac{30}{37.52} = 0.80$$

Entonces,

$$P = 1 - 0.2(1 + 0.8 + 0.8^2 + 0.8^3 + 0.8^4)$$

$$= 1 - 0.672 = 0.328$$

Por lo tanto, existe una probabilidad de casi 33% de que haya más de cuatro clientes en el sistema.



TUTOR C.1

El tutor C.1 en el CD-ROM del estudiante contiene otro ejemplo para practicar el modelo con un solo servidor.

c. Aplicamos la misma lógica que en la parte (b), excepto que μ es ahora una variable de decisión. La forma más fácil de proceder es encontrar primero la utilización promedio correcta y después resolver para la tasa de servicio.

$$\begin{aligned} P &= 1 - (1 - \rho)(1 + \rho + \rho^2 + \rho^3 + \rho^4) \\ &= 1 - (1 + \rho + \rho^2 + \rho^3 + \rho^4) + \rho(1 + \rho + \rho^2 + \rho^3 + \rho^4) \\ &= 1 - 1 - \rho - \rho^2 - \rho^3 - \rho^4 + \rho + \rho^2 + \rho^3 + \rho^4 + \rho^5 \\ &= \rho^5 \end{aligned}$$

o

$$\rho = \rho^{1/5}$$

Si $P = 0.10$,

$$\rho = (0.10)^{1/5} = 0.63$$

En consecuencia, para una tasa de utilización de 63%, la probabilidad de que haya más de cuatro clientes en el sistema es de 10%. Para $\lambda = 30$, la tasa media de servicio deberá ser de

$$\frac{30}{\mu} = 0.63$$

$$\mu = 47.62 \text{ clientes/hora}$$

Punto de decisión La tasa de servicio sólo tendría que aumentar un poco para alcanzar el objetivo de los ocho minutos. Sin embargo, la probabilidad de que haya más de cuatro clientes en el sistema es demasiado alta. La gerente debe encontrar ahora la forma de incrementar la tasa de servicio de 35 por hora a aproximadamente 48 por hora. Puede aumentar la tasa de servicio de varias maneras, que van desde contratar a un estudiante de bachillerato para que ayude a empacar los víveres en una bolsa hasta instalar equipo electrónico en el punto de venta para que lea los precios de la información del código de barras que tiene impreso cada artículo.

MODELO CON MÚLTIPLES SERVIDORES

En el modelo con múltiples servidores, los clientes forman una sola fila y eligen entre s servidores al que esté disponible. El sistema de servicio tiene una sola fase. Se partirá de las siguientes suposiciones, además de las que se hicieron para el modelo con un solo servidor: hay s servidores idénticos, y la distribución del servicio para cada uno de ellos es exponencial, con un tiempo medio de servicio igual a $1/\mu$. Siempre debe ocurrir que $s\mu$ sea mayor que λ .

Con estas suposiciones, se pueden aplicar varias fórmulas para describir las características de operación del sistema de servicio:

ρ = utilización promedio del sistema

$$= \frac{\lambda}{s\mu}$$

P_0 = probabilidad de que haya cero clientes en el sistema

$$= \left[\sum_{n=0}^{s-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} + \frac{(\lambda/\mu)^s}{s!} \left(\frac{1}{1-\rho} \right) \right]^{-1}$$

P_n = probabilidad de que haya n clientes en el sistema

$$= \begin{cases} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} P_0 & 0 < n < s \\ \frac{(\lambda/\mu)^n}{s! s^{n-s}} P_0 & n \geq s \end{cases}$$

L_q = número promedio de clientes en la fila de espera

$$= \frac{P_0 (\lambda/\mu)^s \rho}{s!(1-\rho)^2}$$

W_q = tiempo promedio de espera de los clientes en la fila

$$= \frac{L_q}{\lambda}$$

W = tiempo promedio pasado en el sistema, incluido el servicio

$$= W_q + \frac{1}{\mu}$$

L = número promedio de clientes en el sistema de servicio

$$= \lambda W$$

Estimación del tiempo ocioso y los costos de operación por hora usando el modelo con múltiples servidores

EJEMPLO C.5

La gerencia de la terminal de American Parcel Service en Verona, Wisconsin, está preocupada por la cantidad de tiempo que los camiones de la compañía permanecen ociosos, en espera de ser descargados. La terminal funciona con cuatro plataformas de descarga. Cada una de éstas requiere una cuadrilla de dos empleados, y cada cuadrilla cuesta \$30 por hora. El costo estimado de un camión ocioso es de \$50 por hora. Los camiones llegan a un ritmo promedio de tres por hora, siguiendo una distribución de Poisson. En promedio, una cuadrilla es capaz de descargar un semirremolque en una hora, y los tiempos de servicio son exponenciales. ¿Cuál es el costo total por hora de la operación de este sistema?

SOLUCIÓN

El modelo con múltiples servidores es apropiado. Para encontrar el costo total de la mano de obra y los camiones ociosos, se debe calcular el número promedio de camiones en el sistema.

La figura C.5 muestra los resultados del problema de American Parcel Service, obtenidos con el solver de filas de espera de OM Explorer. Los cálculos manuales de las ecuaciones para el modelo con múltiples servidores se demuestran en el problema resuelto 2 al final de este suplemento. Los resultados indican que el diseño de cuatro plataformas se utiliza 75% del tiempo y que el número promedio de camiones ya sea en revisión o en la fila de espera es de 4.53 camiones. Ahora se puede calcular el costo por hora de la mano de obra y los camiones ociosos.

Costo de la mano de obra:	$\$30(s) = \$30(4)$	$= \$120.00$
Costo de los camiones ociosos:	$\$50(L) = \$50(4.53)$	$= 226.50$
Costo total por hora	$= \$346.50$	

Servidores	4
Tasa de llegadas (λ)	3
Tasa de servicio (μ)	1

Probabilidad de que haya cero clientes en el sistema (P_0)	0.0377
Probabilidad de que haya exactamente 0 clientes en el sistema	0.0377
Utilización promedio de los servidores (ρ)	0.7500
Número promedio de clientes en el sistema (L)	4.5283
Número promedio de clientes en la fila (L_q)	1.5283
Tiempo promedio de espera/servicio en el sistema (W)	1.5094
Tiempo promedio de espera en la fila (W_q)	0.5094

Punto de decisión La gerencia debe evaluar ahora si la cantidad de \$346.60 al día por esta operación es aceptable. Si se intenta reducir los costos eliminando cuadrillas de trabajadores, sólo aumentará el tiempo de espera de los camiones, que es más caro por hora que las cuadrillas. Sin embargo, la tasa de servicio puede incrementarse si se adoptan mejores métodos de trabajo; por ejemplo, L puede reducirse y los costos diarios de operación serán inferiores.



MODELO ACTIVO C.2

El modelo activo C.2 en el CD-ROM del estudiante contiene explicaciones adicionales sobre el modelo con múltiples servidores y sus usos para este problema.



TUTOR C.2

El tutor C.2 en el CD-ROM del estudiante contiene otro ejemplo para practicar el modelo con múltiples servidores.

FIGURA C.5

Solver de filas de espera correspondiente a un modelo con múltiples servidores

LEY DE LITTLE

Una de las leyes más prácticas y fundamentales en la teoría de filas de espera es la ley de Little, que relaciona el número de clientes en un sistema de filas de espera con el tiempo de espera de los clientes. Usando la misma notación que se utilizó para los modelos con un solo servidor y múltiples servidores, la ley de Little se expresa así: $L = \lambda W$ o $L_q = \lambda W_q$. Esta relación es válida para una amplia variedad de procesos de llegadas, distribuciones de tiempo de servicio y número de servidores. La ventaja práctica de la ley de Little es que sólo se necesita conocer dos de los parámetros para estimar el tercero. Por ejemplo, considere al gerente de un centro de licencias de vehículos automotores que recibe muchas quejas por el tiempo que la gente tiene que pasar para renovar su licencia u obtener nuevas placas de matrícula. Sería difícil obtener datos sobre el tiempo que cada cliente pasa en la oficina. Sin embargo, el gerente puede pedir a un asistente que monitoree el número de personas que llegan a la oficina cada hora y que calcule el promedio (λ). El gerente también podría contar periódicamente el número de personas que se encuentran en la sala de espera y en las estaciones de atención al público y calcular el promedio (L). Con base en la ley de Little, el gerente puede estimar W , el tiempo promedio que cada cliente pasa en la oficina. Si el tiempo que un cliente pasa en la oficina no es razonable, el gerente se centrará ya sea en agregar capacidad o

ley de Little

Ley fundamental que relaciona el número de clientes en un sistema de filas de espera con el tiempo de espera de los clientes.

La ley de Little puede usarse para estimar el tiempo promedio de espera de los clientes en una oficina, ya que relaciona el número de clientes en un sistema de filas de espera con el tiempo. Es una de las leyes más prácticas y fundamentales en la teoría de filas.



en mejorar los métodos de trabajo para reducir el tiempo que se necesita para atender a cada cliente.

Asimismo, la ley de Little puede usarse en procesos manufactureros. Suponga que un gerente de producción conoce el tiempo promedio de entrega de una unidad de producto en un proceso manufacturero (W) y el número promedio de unidades por hora que llegan al proceso (λ). El gerente de producción puede entonces estimar el promedio del trabajo en proceso (L) usando la ley de Little. Si el gerente conoce la relación entre la tasa de llegada, el tiempo de entrega y el trabajo en proceso, contará con una base para medir los efectos de las mejoras implementadas en el trabajo en proceso en la planta. Por ejemplo, si se agrega cierta capacidad a un cuello de botella en el proceso, se puede reducir el tiempo de entrega del producto y, por tanto, también se reducirá el inventario de trabajo en proceso.

Aunque la ley de Little es aplicable en muchas situaciones tanto en los entornos de servicio como manufactureros, no lo es en aquellas situaciones en las que la población de clientes es finita, tema que se abordará en seguida.

MODELO CON FUENTE FINITA

Ahora se considerará una situación en la que todas las suposiciones del modelo con un solo servidor son apropiadas, excepto una. En este caso, la población de clientes es finita, porque sólo existen N clientes potenciales. Si N es mayor que 30 clientes, resulta adecuado el modelo con un solo servidor basado en la suposición de que la población de clientes es infinita. En los demás casos, el modelo con fuente finita es el que más conviene utilizar. Las fórmulas que se usan para calcular las características de operación de este sistema de servicio son las siguientes:

P_0 = probabilidad de que haya cero clientes en el sistema

$$= \left[\sum_{n=0}^N \frac{N!}{(N-n)!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \right]^{-1}$$

ρ = utilización promedio del servidor
 $= 1 - P_0$

L_q = número promedio de clientes en la fila de espera

$$= N - \frac{\lambda + \mu}{\lambda} (1 - P_0)$$

L = número promedio de clientes en el sistema de servicio

$$= N - \frac{\mu}{\lambda} (1 - P_0)$$

W_q = tiempo promedio de espera en la fila

$$= L_q [(N - L)\lambda]^{-1}$$

W = tiempo promedio pasado en el sistema, incluido el servicio

$$= L [(N - L)\lambda]^{-1}$$

Análisis de los costos de mantenimiento aplicando el modelo con fuente finita

EJEMPLO C.6

Hace casi tres años, Worthington Gear Company instaló un conjunto de diez robots. Los robots incrementaron considerablemente la productividad de la mano de obra de la empresa, pero a últimas fechas la atención se ha centrado en el mantenimiento. La compañía no aplica mantenimiento preventivo a los robots en virtud de la gran variabilidad que se observa en la distribución de las averías. Cada máquina tiene una distribución exponencial de averías (o distribución entre llegadas), con un tiempo promedio de 200 horas entre una y otra falla. Cada hora máquina perdida como tiempo ocioso cuesta \$30, lo que significa que la empresa tiene que reaccionar con rapidez en cuanto falla una máquina. La compañía contrata sólo a una persona de mantenimiento, que necesita 10 horas en promedio para reparar un robot. Los tiempos reales de mantenimiento están distribuidos exponencialmente. La tarifa salarial es de \$10 por hora para el encargado de mantenimiento, que puede trabajar productivamente en otras actividades cuando no hay robots que reparar. Calcule el costo diario por concepto de mano de obra y tiempo ocioso de los robots.

SOLUCIÓN

El modelo con fuente finita es apropiado para este análisis porque sólo 10 máquinas constituyen la población de clientes y se cumplen las demás suposiciones. En este caso, $\lambda = 1/200$, o sea, 0.005 averías por hora, y $\mu = 1/10 = 0.10$ robots por hora. Para calcular el costo de la mano de obra y el tiempo ocioso de robots, es necesario estimar la utilización promedio del empleado de mantenimiento y L, es decir, el número promedio de robots en el sistema de mantenimiento. La figura C.6 muestra los resultados del problema de Worthington Gear, obtenidos con el solver de filas de espera de OM Explorer. Los cálculos manuales de las ecuaciones para el modelo con fuente finita se demuestran en el problema resuelto 3 al final de este suplemento. Los resultados indican que el empleado de mantenimiento se utiliza sólo 46.2% del tiempo, y que el número promedio de robots que esperan en la fila o que están en reparación es de 0.76 robots. Sin embargo, un robot descompuesto pasa un promedio de 16.43 horas en el sistema de reparación, de las cuales 6.43 horas de ese tiempo lo pasa esperando a que le den servicio.

Los costos diarios de mano de obra y tiempo ocioso de los robots son:

$$\begin{aligned} \text{Costo de la mano de obra:} & \quad (\$10/\text{hora})(8 \text{ horas/día})(0.462 \text{ utilización}) = \$ 36.96 \\ \text{Costo de los robots ociosos:} & \quad (0.76 \text{ robots})(\$30/\text{robot hora})(8 \text{ horas/día}) = 182.40 \\ \text{Costo diario total} & = \$219.36 \end{aligned}$$



MODELO ACTIVO C.3

El modelo activo C.3 en el CD-ROM del estudiante contiene explicaciones adicionales sobre el modelo con fuente finita y sus usos para este problema.



TUTOR C.3

El tutor C.3 en el CD-ROM del estudiante contiene otro ejemplo para practicar el modelo con fuente finita.

Clientes	10
Tasa de llegadas (λ)	0.005
Tasa de servicio (μ)	0.1

Probabilidad de que haya cero clientes en el sistema (P_0)	0.5380
Probabilidad de que haya menos de 0 clientes en el sistema	#N/A
Utilización promedio del servidor (ρ)	0.4620
Número promedio de clientes en el sistema (L)	0.7593
Número promedio de clientes en la fila (L_q)	0.2972
Tiempo promedio de espera/servicio en el sistema (W)	16.4330
Tiempo promedio de espera en la fila (W_q)	6.4330

FIGURA C.6

Solver de filas de espera correspondiente a un modelo con fuente finita

Punto de decisión El costo de la mano de obra por la reparación de los robots representa sólo 20% del costo de los robots ociosos. La gerencia debe pensar en la conveniencia de tener un segundo empleado de reparación de guardia en caso de que haya dos o más robots en espera de ser reparados al mismo tiempo.

ÁREAS DE DECISIÓN PARA LA GERENCIA

Después de analizar un problema de filas de espera, la gerencia puede mejorar el sistema de servicio introduciendo cambios en una o más de las siguientes áreas:

1. **Tasas de llegada.** Es frecuente que la administración tenga la posibilidad de influir en la tasa de llegada de los clientes, λ , ya sea por medio de publicidad, promociones especiales o precios diferenciales. Por ejemplo, una compañía telefónica aplica precios diferenciales para in-

- ducir un cambio en los patrones de las llamadas residenciales de larga distancia, de modo que en lugar de que los clientes las hagan durante el día, prefieran hacerlas por la noche.
2. *Número de instalaciones de servicio.* Al aumentar el número de instalaciones de servicio, como los depósitos de herramientas, casetas de peaje o cajas en las sucursales bancarias, o bien, al dedicar algunas instalaciones de una fase a un conjunto de servicios único, la gerencia logra acrecentar la capacidad del sistema.
 3. *Número de fases.* Los gerentes pueden optar por asignar tareas de servicio a fases secuenciales si consideran que dos instalaciones de servicio secuenciales son más eficientes que una sola. Por ejemplo, en las líneas de ensamblaje, la decisión se refiere al número de fases o trabajadores necesarios en dicha línea. La determinación del número de trabajadores que se requieren en la línea también implica la asignación de cierto conjunto de elementos de trabajo a cada uno de ellos. Un cambio en la distribución de la instalación puede incrementar la tasa de servicio, μ , de cada instalación y la capacidad de todo el sistema.
 4. *Número de servidores por instalación.* Los gerentes influyen en la tasa de servicio cuando asignan más de una persona a una instalación de servicio.
 5. *Eficiencia del servidor.* Si se ajusta la razón capital a mano de obra, se idean métodos mejorados de trabajo o se instituyen programas de incentivos, la gerencia puede elevar la eficiencia de los servidores asignados a una instalación de servicio. Los cambios de ese tipo se reflejan en μ .
 6. *Regla de prioridad.* Los gerentes establecen la regla de prioridad que debe aplicarse, deciden cada instalación de servicio debe tener una regla de prioridad diferente y si se permitirá que, por motivos de prioridad, se altere el orden previsto (señalando, en este último caso, en qué condiciones se hará tal cosa). Estas decisiones afectan los tiempos de espera de los clientes y la utilización de los servidores.
 7. *Distribución de las filas.* Los gerentes pueden influir en los tiempos de espera de los clientes y la utilización de los servidores al decidir si habrá una sola fila o si cada instalación tendrá su respectiva fila en el curso de una fase de servicio determinada.

Es evidente que todos estos factores están relacionados entre sí. Es muy posible que un ajuste en la tasa de llegada de los clientes, λ , tenga que ir acompañado de un incremento en la tasa de servicio, μ , de una u otra forma. Las decisiones sobre el número de instalaciones, el número de fases y la distribución de las filas de espera también están relacionadas entre sí.

En cada uno de los problemas que se han analizado con los modelos de filas de espera, las llegadas mostraron una distribución de Poisson (o sea, tiempos exponenciales entre llegadas), los tiempos de servicio tenían una distribución exponencial, las instalaciones de servicio tenían una disposición sencilla y la disciplina prioritaria consistía en atender primero a quien llegaba primero. La teoría de filas de espera se ha usado para desarrollar otros modelos en los que estos criterios no se cumplen, pero estos modelos son complejos. Muchas veces, el carácter de la población de clientes, las restricciones impuestas a las filas, la regla de prioridad, la distribución del tiempo de servicio y la disposición de las instalaciones son tan especiales que la teoría de filas de espera ya no resulta útil. En esos casos, se utiliza a menudo la simulación.

➤ CD-ROM DEL ESTUDIANTE Y RECURSOS EN INTERNET (EN INGLÉS) ◀

El CD-ROM del estudiante y el sitio Web complementario en www.pearsoneducacion.net/krajewski contienen muchas herramientas, actividades y recursos diseñados para este suplemento.

➤ ECUACIONES CLAVE ◀

1. Distribución de Poisson de la llegada de los clientes: $P_n = \frac{(\lambda T)^n}{n!} e^{-\lambda T}$
2. Distribución exponencial del tiempo de servicio: $P[t \leq T] = 1 - e^{-\mu T}$

	Modelo con un solo servidor	Modelo con múltiples servidores	Modelo con fuente finita
Utilización promedio del sistema	$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$	$\rho = \frac{\lambda}{s\mu}$	$\rho = 1 - P_0$
Probabilidad de que haya n clientes en el sistema	$P_n = (1 - \rho)\rho^n$	$P_n = \begin{cases} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} P_0 & 0 < n < s \\ \frac{(\lambda/\mu)^n}{s! s^{n-s}} P_0 & n \geq s \end{cases}$	
Probabilidad de que haya cero clientes en el sistema	$P_0 = 1 - \rho$	$P_0 = \left[\sum_{n=0}^{s-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} + \frac{(\lambda/\mu)^s}{s!} \left(\frac{1}{1-\rho} \right) \right]^{-1}$	$P_0 = \left[\sum_{n=0}^N \frac{N!}{(N-n)!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \right]^{-1}$
Número promedio de clientes en el sistema de servicio	$L = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$	$L = \lambda W$	$L = N - \frac{\mu}{\lambda} (1 - P_0)$
Número promedio de clientes en la fila de espera	$L_q = \rho L$	$L_q = \frac{P_0 (\lambda/\mu)^s \rho}{s!(1-\rho)^2}$	$L_q = N - \frac{\lambda + \mu}{\lambda} (1 - P_0)$
Tiempo promedio pasado en el sistema, incluido el servicio	$W = \frac{1}{\mu - \lambda}$	$W = W_q + \frac{1}{\mu}$	$W = L[(N - L)\lambda]^{-1}$
Tiempo promedio de espera en la fila	$W_q = \rho W$	$W_q = \frac{L_q}{\lambda}$	$W_q = L_q[(N - L)\lambda]^{-1}$

▶ TÉRMINOS CLAVE ◀

canal 294
disciplina prioritaria 295
fase 294
fila de espera 292

instalación de servicio 292
ley de Little 301
población de clientes 292

regla de prioridad 292
sistema de servicio 292
tiempos entre llegadas 296

▶ PROBLEMA RESUELTO 1 ◀

Un fotógrafo toma fotografías para pasaportes a una tasa promedio de 20 fotos por hora. El fotógrafo tiene que esperar hasta que el cliente deje de parpadear o de fruncir el entrecejo, por lo cual el tiempo necesario para tomar las fotografías muestra una distribución exponencial. Los clientes llegan a una tasa promedio de 19 personas por hora, según una distribución de Poisson.

- a. ¿Cuál es la utilización del fotógrafo?
- b. ¿Cuánto tiempo pasará el cliente promedio con el fotógrafo?

SOLUCIÓN

- a. Las suposiciones contenidas en la exposición del problema son congruentes con un modelo de solo servidor. La utilización es:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{19}{20} = 0.95$$

- b. El tiempo promedio que el cliente pasa con el fotógrafo es:

$$W = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{20 - 19} = 1 \text{ hora}$$

➤ PROBLEMA RESUELTO 2 ◀

El cine Mega Múltiplex tiene una tienda en concesión con tres empleados que atienden a los clientes por riguroso orden de llegada. El tiempo de servicio por cliente se distribuye exponencialmente, con un promedio de 2 minutos por cliente. Los clientes de la concesión esperan en un amplio vestíbulo, formando una sola fila, y sus llegadas tienen una distribución de Poisson, con un promedio de 81 clientes por hora. Se exhiben cortos durante 10 minutos antes del inicio de cada función. Si el tiempo promedio que pasan en el área de concesión rebasa los 10 minutos, los clientes se sienten insatisfechos.

- ¿Cuál es la utilización promedio de los empleados de la concesión?
- ¿Cuál es el tiempo promedio que pasan los clientes en el área de la concesión?

SOLUCIÓN

- La exposición del problema es congruente con el modelo de múltiples servidores, y la tasa promedio de utilización es de:

$$\rho = \frac{\lambda}{s\mu} = \frac{81 \text{ clientes/hora}}{(3 \text{ servidores}) \left(\frac{60 \text{ minutos/hora servidor}}{2 \text{ minutos/cliente}} \right)} = 0.90$$

Los empleados de la concesión están ocupados 90% del tiempo.

- El tiempo promedio que los clientes pasan en el sistema, W , es:

$$W = W_q + \frac{1}{\mu}$$

Por lo tanto,

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} \quad L_q = \frac{P_0(\lambda/\mu)^s \rho}{s!(1-\rho)^2} \quad \text{y} \quad P_0 = \left[\sum_{n=0}^{s-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} + \frac{(\lambda/\mu)^s}{s!} \left(\frac{1}{1-\rho} \right) \right]^{-1}$$

Es necesario obtener el valor de P_0 , L_q y W_q en ese orden, antes de resolver para W :

$$\begin{aligned} P_0 &= \left[\sum_{n=0}^{s-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} + \frac{(\lambda/\mu)^s}{s!} \left(\frac{1}{1-\rho} \right) \right]^{-1} \\ &= \frac{1}{1 + \frac{(81/30)}{1} + \frac{(2.7)^2}{2} + \left[\frac{(2.7)^3}{6} \left(\frac{1}{1-0.9} \right) \right]} \\ &= \frac{1}{1 + 2.7 + 3.645 + 32.805} = \frac{1}{40.15} = 0.0249 \end{aligned}$$

$$L_q = \frac{P_0(\lambda/\mu)^s \rho}{s!(1-\rho)^2} = \frac{0.0249(81/30)^3(0.9)}{3!(1-0.9)^2} = \frac{0.4411}{6(0.01)} = 7.352 \text{ clientes}$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{7.352 \text{ clientes}}{81 \text{ clientes/hora}} = 0.0908 \text{ horas}$$

$$\begin{aligned} W &= W_q + \frac{1}{\mu} = 0.0908 \text{ horas} + \frac{1}{30} \text{ hora} = (0.1241 \text{ horas}) \left(\frac{60 \text{ minutos}}{\text{hora}} \right) \\ &= 7.45 \text{ minutos} \end{aligned}$$

Con tres empleados en la concesión, los clientes pasarán un promedio de 7.45 minutos en el área de la concesión.

➤ PROBLEMA RESUELTO 3 ◀

La mina carbonífera Severance atiende a seis trenes cuyos tiempos entre llegadas se distribuyen exponencialmente y promedian 30 horas. El tiempo requerido para cargar completamente un tren con carbón varía según el número de furgones, retrasos ocasionados por el clima y averías del equipo. El tiempo necesario para llenar un tren puede calcularse mediante una distribución exponencial, con una media de 6 horas con 40 minutos. El ferrocarril exige que la mina de carbón pague cargos muy cuantiosos de sobrestadía en caso de que un tren pase más de 24 horas en la mina. ¿Cuál es el tiempo promedio que pasa un tren en la mina?

SOLUCIÓN

La exposición del problema describe un modelo con fuente finita, donde $N = 6$. El tiempo promedio que pasan los trenes en la mina es $W = L[(N - L)\lambda]^{-1}$, con $1/\lambda = 30$ horas/tren, $\lambda = 0.8$ trenes/día, y $\mu = 3.6$ trenes/día. En este caso,

$$P_0 = \left[\sum_{n=0}^N \frac{N!}{(N-n)!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \right]^{-1} = \frac{1}{\sum_{n=0}^6 \frac{6!}{(6-n)!} \left(\frac{0.8}{3.6} \right)^n}$$

$$= \frac{1}{\left[\frac{6!}{6!} \left(\frac{0.8}{3.6} \right)^0 + \left[\frac{6!}{5!} \left(\frac{0.8}{3.6} \right)^1 + \left[\frac{6!}{4!} \left(\frac{0.8}{3.6} \right)^2 + \left[\frac{6!}{3!} \left(\frac{0.8}{3.6} \right)^3 + \left[\frac{6!}{2!} \left(\frac{0.8}{3.6} \right)^4 + \left[\frac{6!}{1!} \left(\frac{0.8}{3.6} \right)^5 + \left[\frac{6!}{0!} \left(\frac{0.8}{3.6} \right)^6 \right] \right] \right] \right] \right] \right] \right] \right] \right] \right]^{-1}$$

$$= \frac{1}{1 + 1.33 + 1.48 + 1.32 + 0.88 + 0.39 + 0.09} = \frac{1}{6.49} = 0.1541$$

$$L = N - \frac{\mu}{\lambda} (1 - P_0) = 6 - \left[\frac{3.6}{0.8} (1 - 0.1541) \right] = 2.193 \text{ trenes}$$

$$W = L[(N - L)\lambda]^{-1} = \frac{2.193}{(3.807)0.8} = 0.72 \text{ días}$$

Los trenes que llegan pasan un promedio de 0.72 días en la mina de carbón.

PROBLEMAS

En cada copia nueva del libro de texto se incluye software (en inglés), como OM Explorer, Modelos activos y POM para Windows. Pregunte a su profesor cómo es mejor usarlo. En muchos casos, el profesor desea que los alumnos entiendan cómo hacer los cálculos a mano. Cuando mucho, el software le servirá para comprobar sus cálculos. Cuando éstos son especialmente complejos y la meta es interpretar los resultados para tomar decisiones, el software sustituye por completo los cálculos manuales. El software también puede ser un recurso valioso después de que concluya el curso.

1. El bufete de abogados Solomon, Smith and Samson produce muchos documentos legales para los clientes y la propia compañía, que deben elaborarse con un procesador de textos. Las solicitudes promedian ocho páginas de documentos por hora, y llegan de acuerdo con una distribución de Poisson. La secretaria mecanografía diez páginas por hora, en promedio, de acuerdo con una distribución exponencial.
 - a. ¿Cuál es la tasa de utilización promedio de la secretaria?
 - b. ¿Qué probabilidad hay de que más de cuatro páginas se estén mecanografiando o estén en espera de procesarse?
 - c. ¿Cuál es el número promedio de páginas en espera ser mecanografiadas?
- Benny's Arcade tiene seis máquinas de videojuegos. El tiempo promedio entre fallas de las máquinas es de 50 horas. Jimmy, el ingeniero de mantenimiento, puede reparar una máquina en un promedio de 15 horas. Las máquinas tienen una distribución exponencial de descomposturas y Jimmy tiene una distribución exponencial de tiempo de servicio.
- a. ¿Cuál es la utilización de Jimmy?
 - b. ¿Cuál es el número promedio de máquinas descompuestas, es decir, en espera de ser reparadas o en reparación?
 - c. ¿Cuál es el tiempo promedio que una máquina pasa fuera de servicio?

3. Moore, Aiken and Payne es una clínica dental que atiende al público en general por riguroso orden de llegada. La clínica cuenta con tres sillones odontológicos y cada una es atendida por un dentista. Los pacientes llegan a razón de cinco por hora, de acuerdo con una distribución de Poisson, y no evitan ni renuncian al servicio. El tiempo promedio requerido para realizar una revisión dental es de 30 minutos, según una distribución exponencial.
 - a. ¿Que probabilidad hay de que no haya ningún paciente en la clínica?
 - b. ¿Qué probabilidad hay de que haya seis o más pacientes en la clínica?
 - c. ¿Cuál es el número promedio de pacientes en espera de ser atendidos?
 - d. ¿Cuál es el tiempo promedio total que pasa un paciente en la clínica?
4. El Fantastic Styling Salon es un salón de belleza dirigido por dos estilistas, Jenny Pérez y Jill Sloan, cada una de las cuales es capaz de atender a cinco clientes por hora, en promedio. Cada hora llegan al salón ocho clientes, en promedio.
 - a. Si todos los clientes que llegan tienen que esperar en una misma fila hasta que se desocupe una de las estilistas, ¿cuánto tiempo tienen que esperar en la fila, en promedio, antes de ser atendidos?
 - b. Suponga que 50% de los clientes que llegan desean que sólo Pérez los atienda y el otro 50% exige que le atienda Sloan. ¿Cuánto tiempo tienen que esperar los clientes en la fila, en promedio, antes de ser atendidos por Pérez? ¿Y por Sloan? ¿Cuál es el tiempo promedio de espera de los clientes en la fila?
 - c. ¿Observa usted alguna diferencia en las respuestas de los incisos (a) y (b)? De ser así, ¿por qué? Explique.

5. Usted es el gerente de un banco local que cuenta con tres cajeros para atender a los clientes. En promedio, cada cajero tarda tres minutos en atender a un cliente. Estos últimos llegan, en promedio, a razón de 50 por hora. Recientemente, su jefe ha recibido quejas de algunos clientes porque tienen que esperar mucho tiempo para que los atiendan; por eso, le ha pedido que evalúe el sistema de servicio. Específicamente, usted deberá responder las siguientes preguntas:
- ¿Cuál es la utilización promedio del sistema de servicio con tres cajeros?
 - ¿Qué probabilidad hay de que no haya ningún cliente que esté siendo atendido por un cajero o formado en la fila de espera?
 - ¿Cuál es el número promedio de clientes que esperan en la fila?
 - En promedio, ¿cuánto tiene que esperar un cliente formado en la fila para ser atendido?
 - En promedio, ¿cuántos clientes estarían siendo atendidos en alguna caja y esperando en la fila?
6. Jake Tweet dirige un programa de la radiodifusora KRAN en el que habla sobre temas de psicología. Los consejos de Jake promedian 10 minutos por llamada, pero varían de acuerdo con una distribución exponencial. El tiempo promedio entre llamadas es de 25 minutos, distribuido exponencialmente. Sabiendo que es difícil generar llamadas en este mercado local, Jake no desea que se pierda ninguna a causa de que las líneas telefónicas estén ocupadas. La radiodifusora solamente dispone de tres líneas telefónicas. ¿Cuál es la probabilidad de que una persona que llama reciba el tono de ocupado?
7. El supervisor de la empresa Precision Machine Shop desea establecer una política de personal que minimice el total de los costos de operación. La tasa promedio de llegadas al depósito de herramientas, donde éstas se entregan a los trabajadores, es de ocho mecánicos por hora. Cada uno de éstos gana \$20 por hora. El supervisor puede contratar para el depósito de herramientas a un dependiente inexperto, que gane \$5 por hora y sea capaz de atender a 10 mecánicos por hora, o a un dependiente experto, que gane \$12 por hora y pueda atender 16 llegadas por hora. ¿A cuál de los dos dependientes convendría seleccionar y cuál sería el costo total estimado por hora?
8. La hija del dueño de un restaurante local de hamburguesas se está preparando para inaugurar un nuevo restaurante de comida rápida que se llamará Hasty Burgers. Tomando como base las tasas de llegada observadas en los establecimientos de su padre, ella prevé que los clientes llegarán a la ventanilla para automovilistas de acuerdo con una distribución de Poisson, con una media de 20 clientes por hora. La tasa de servicio es flexible; sin embargo, se espera que los tiempos de servicio se ajusten a una distribución exponencial. La ventanilla para automovilistas será una operación atendida por un solo servidor.
- ¿Qué tasa de servicio se necesita para que el número promedio de clientes en el sistema no pase de cuatro a la vez (ya sea en la fila de espera o recibiendo atención)?
 - Para la tasa de servicio de la parte (a), ¿qué probabilidad hay de que haya más de cuatro clientes esperando en la fila y recibiendo atención?
 - Para la tasa de servicio de la parte (a), ¿cuál es el tiempo promedio de espera en la fila para cada cliente? ¿Considera usted que ese promedio sea satisfactorio para un negocio de comida rápida?

PROBLEMAS AVANZADOS

9. A tres empleados del departamento de mantenimiento se le ha asignado la responsabilidad de reparar los videojuegos en el salón de juegos Pinball Wizard. Un trabajador de mantenimiento puede reparar una máquina de videojuegos cada ocho horas en promedio, con una distribución exponencial. También en promedio, una máquina de videojuegos falla cada tres horas, de acuerdo con una distribución de Poisson. Cada máquina descompuesta le cuesta a Wizard \$10 por hora en ingresos perdidos. El costo que implicaría contratar a un trabajador adicional de mantenimiento sería de \$8 por hora. ¿Debe el gerente contratar nuevo personal? De ser así, ¿cuántas personas debe contratar? ¿Qué recomendación le haría usted al gerente con base en su análisis?
10. La Escuela de Administración de Empresas y Administración Pública de la Universidad Benton ha instalado una máquina copiadora en cada piso para uso de los profesores. La intensa utilización de las cinco copiadoras ocasiona fallas frecuentes. Los registros de mantenimiento muestran que una máquina falla cada 2.5 días (o $\lambda = 0.40$ fallas/día). La institución tiene un contrato de mantenimiento con el distribuidor autorizado de las máquinas copiadoras. En virtud de que las copiadoras se descomponen muy frecuentemente, el distribuidor ha asignado a una persona para que las repare en la propia universidad. Esa persona puede reparar un promedio de 2.5 máquinas por día. Aplicando el modelo con fuente finita, responda las siguientes preguntas:
- ¿Cuál es la utilización promedio de los servicios del técnico de mantenimiento?
 - En promedio, ¿cuántas copiadoras se encuentran en reparación en espera de ser reparadas?
 - ¿Cuál es el tiempo promedio que pasa una máquina copiadora en el sistema de reparación (esperando y en reparación)?
11. Usted está a cargo de una cantera que produce arena y agregados de piedra para las obras de construcción de su compañía. Los camiones vacíos procedentes de los diversos sitios de construcción llegan hasta las enormes pilas de arena y agregados de piedra de la cantera y esperan en fila para entrar a la estación, en la cual pueden cargar ya sea arena o agregados. En la estación, se cargan y pesan los vehículos, se registra su salida y parten hacia la obra en construcción correspondiente. En la actualidad, cada hora llegan nueve camiones vacíos, en promedio. Una vez que un camión ha entrado en una estación de carga, se necesitan 6 minutos para llenarlo pesarlo y registrar su salida. Ante la preocupación de que los camiones pasen demasiado tiempo en la fila de espera y en la operación de carga, usted ha decidido evaluar dos alternativas para reducir el tiempo promedio que los camiones pasan en el sistema. La primera alternativa consiste en instalar tabloncillos en los costados de los camiones (de modo que sea posible cargar más material) y contratar a un ayudante para la estación de carga (para reducir el tiempo de llenado), todo lo cual tendría un costo total de \$50,000. La tasa de llegada de los camiones podría modificarse a seis por hora, y el tiempo de carga se podría reducir a cuatro minutos. La segunda alternativa consiste en agregar otra estación de carga a un costo de \$80,000. Los camiones esperarían en una fila común y el que estuviera al frente de la fila avanzaría a la siguiente estación disponible. ¿Qué alternativa recomendaría usted si deseara reducir el tiempo promedio de espera actual en el sistema?

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cooper, Robert B., *Introduction to Queuing Theory*, 2a. edición, Nueva York, Elsevier-North Holland, 1980.
- Hartvigsen, David, *SimQuick: Process Simulation with Excel*, 2a. edición, Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 2004.
- Hillier, F.S. y G. S. Lieberman, *Introduction to Operations Research*, 2a. edición, San Francisco, Holden-Day, 1975.
- Little, J. D. C., "A Proof for the Queuing Formula: $L = \lambda W$ ", *Operations Research*, volumen 9, 1961, pp. 383-387.
- Moore, P. M., *Queues, Inventories and Maintenance*, Nueva York, John Wiley & Sons, 1958.
- Saaty, T. L., *Elements of Queuing Theory with Applications*, Nueva York, McGraw-Hill, 1961.