

Cuadro 2-7
Costo total por unidad

Grupo de productos	Total de horas estándar	Total de horas reales	Costo del trabajo	Costo de los materiales	Costos de ventas y de administración	Costo total
A	1.142	1.202	\$24.04	\$7.96	\$8.00	\$40.00
B	0.972	1.023	20.46	5.54	7.00	33.00
C	1.044	1.099	21.98	6.02	7.00	35.00

de obra directa por unidad. Esto es, los costos típicos de materiales del grupo A de productos son iguales al promedio calculado de los costos de los materiales de los tres productos en el grupo.

INTEGRACIÓN DE LOS PLANES

En el cuadro 2-2 y en el 2-8 se ilustra un ejemplo de ventas integradas, producción y plan financiero para los siguientes 24 meses. En el cuadro 2-2 se muestran los embarques (ventas), la producción y las inversiones en inventario en unidades. En el cuadro 2-8 se muestra la misma información, así como la variación en el inventario y en el ingreso neto, en dólares. Ambos planes se han establecido en periodos mensuales para los siguientes 6 meses y en periodos trimestrales para los últimos 18 meses del plan a dos años. Es práctica común presentar planes para los periodos más próximos en incrementos menores de tiempo. Por ejemplo, en los siguientes capítulos, la planeación maestra y la planeación de la capacidad aproximada desarrollarán planes semanales para los primeros meses.

Aunque la planeación agregada es un término genérico que cubre muchos planes diferentes, las referencias al “problema de la planeación agregada” se refieren a la situación de la decisión específica que se describe en el resto de este capítulo.

EL PROBLEMA DE LA PLANEACIÓN AGREGADA Y LA PLANEACIÓN DE LA CAPACIDAD

El problema de la planeación agregada se refiere a la asignación de recursos como personal, instalaciones, equipo e inventario, de modo que los productos y los servicios planeados (la producción) estén disponibles en el momento oportuno. Normalmente el plan agregado abarca un periodo entre 12 y 24 meses y, a medida que el tiempo pasa, se puede actualizar mensual o trimestralmente. En este caso, las decisiones anteriores a largo plazo sobre instalaciones limitan la capacidad disponible y pueden restringir las opciones de planeación

Cuadro 3-B

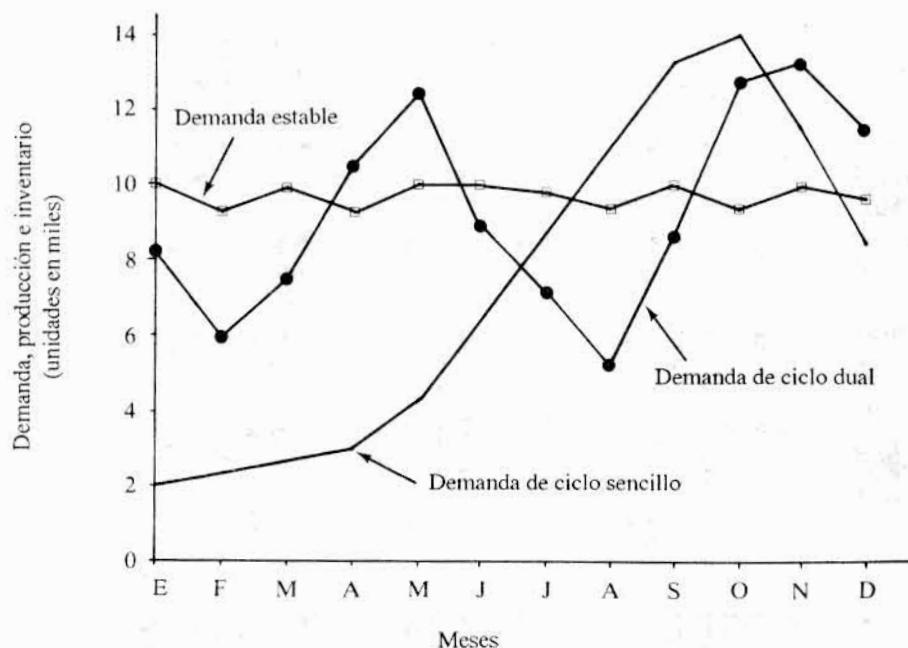
Plan de producción para dos años (unidades y dólares)

Periodo	Mes							Trimestre					
	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	2	3	4	2	3	
Grupo A													
Producción		720	648	792	684	684	900	2,304	2,520	2,400	2,520	2,560	2,520
Embarques		700	760	850	500	500	875	2,500	2,500	2,300	2,600	2,700	2,700
Inventario (final)	180	200	88	30	214	398	423	227	247	347	267	127	- 53
Costo de ventas		\$28,000	\$30,400	\$34,000	\$20,000	\$20,000	\$35,000	\$100,000	\$100,000	\$ 92,000	\$104,000	\$108,000	\$108,000
Ingresos		\$31,500	\$34,200	\$38,250	\$22,500	\$22,500	\$39,375	\$112,500	\$112,500	\$103,500	\$117,000	\$121,500	\$121,500
Utilidad		\$ 3,500	\$ 3,800	\$ 4,250	\$ 2,500	\$ 2,500	\$ 4,375	\$ 12,500	\$ 12,500	\$ 13,000	\$ 13,000	\$ 13,500	\$ 13,500
Valor de inventario	\$7,200	\$ 8,000	\$ 3,520	\$ 1,200	\$ 8,560	\$15,920	\$16,920	\$ 9,080	\$ 9,880	\$ 13,880	\$ 10,680	\$ 5,080	(\$ 2,120)
Grupo B													
Producción		240	216	264	228	76	100	256	444	720	404	256	444
Embarques		250	300	350	250	60	60	180	370	900	370	180	370
Inventario (final)	250	240	156	70	48	64	104	180	254	74	108	184	258
Costo de ventas		\$ 8,250	\$ 9,900	\$11,550	\$ 8,250	\$ 1,980	\$ 1,980	\$ 5,940	\$ 12,210	\$ 29,700	\$ 12,210	\$ 5,940	\$ 12,210
Ingresos		\$ 9,500	\$11,400	\$13,300	\$ 9,500	\$ 2,280	\$ 2,280	\$ 6,840	\$ 14,060	\$ 34,200	\$ 14,060	\$ 6,840	\$ 14,060
Utilidad		\$ 1,250	\$ 1,500	\$ 1,750	\$ 1,250	\$ 300	\$ 300	\$ 900	\$ 1,850	\$ 4,500	\$ 1,850	\$ 900	\$ 1,850
Valor del inventario	\$8,250	\$ 7,920	\$ 5,148	\$ 2,310	\$ 1,584	\$ 2,112	\$ 3,432	\$ 5,940	\$ 8,382	\$ 2,442	\$ 3,564	\$ 6,072	\$ 8,514
Grupo C													
Producción		160	144	176	152	380	500	1,280	1,034	540	1,060	1,408	1,034
Embarques		110	115	120	180	400	460	1,340	1,060	500	1,100	1,450	1,000
Inventario (final)	50	100	129	185	157	137	177	117	91	131	91	49	83
Costo de ventas		\$ 3,850	\$ 4,025	\$ 4,200	\$ 6,300	\$14,000	\$16,100	\$ 46,900	\$ 37,100	\$ 17,500	\$ 38,500	\$ 50,750	\$ 35,000
Ingresos		\$ 4,400	\$ 4,600	\$ 4,800	\$ 7,200	\$16,000	\$18,400	\$ 53,600	\$ 42,400	\$ 20,000	\$ 44,000	\$ 58,000	\$ 40,000
Utilidad		\$ 550	\$ 575	\$ 600	\$ 900	\$ 2,000	\$ 2,300	\$ 6,700	\$ 5,300	\$ 2,500	\$ 5,500	\$ 7,250	\$ 5,000
Valor del inventario	\$1,750	\$ 3,500	\$ 4,515	\$ 6,475	\$ 5,495	\$ 4,795	\$ 6,195	\$ 4,095	\$ 3,185	\$ 4,585	\$ 3,185	\$ 1,715	\$ 2,905

agregada. Así, la planeación a largo plazo de las instalaciones debe tomar en consideración la estrategia de la planeación agregada.

Examinemos la causa del problema de la planeación agregada y algunos puntos de vista para hacer frente al desafío. Además de las removedoras de nieve y las segadoras de césped, que dependen de la demanda estacional, también el mobiliario, los aparatos domésticos, los automóviles, la ropa, las pequeñas herramientas, entre muchos otros artículos, presentan una demanda con variaciones significativas cada estación, año tras año. De este modo, la variación en la demanda de los artículos para el consumidor generan una demanda estacional para las materias primas, las componentes y los suministros que se utilizan en su fabricación. La figura 2-4 ilustra tres situaciones caracte-

Figura 2-4
Patrones típicos de la demanda agregada mensual



ísticas: (1) demanda relativamente estable (pan y leche, por ejemplo); (2) demanda de ciclo sencillo o una demanda anual cíclica alta y otra baja (ventas al menudeo de muchos artículos en Navidad, por ejemplo); y (3) ciclos duales altos y bajos anualmente (las lociones para rasurar tienen un máximo en Navidad y en el Día del Padre, por ejemplo). Es posible que haya otras variaciones estacionales en la demanda, pero el examen de estos tres patrones servirá como base para el estudio de los conceptos y de las técnicas útiles para la planeación agregada bajo cualquier situación.

Con una demanda relativamente uniforme, no existe el problema de la planeación agregada, pues las instalaciones, la capacidad, la fuerza de trabajo, y los materiales se planean para la producción a esa velocidad uniforme. No obstante, los patrones estacionales de demanda presentan a la administración las siguientes tres opciones:

1. Modificar o manejar la demanda.
2. Manejar la oferta (producción), como se menciona a continuación:
 - a. Proporcionar una amplia capacidad y flexibilidad para tener producción que coincida con la demanda (la estrategia de persecución).
 - b. Producir a un nivel constante y almacenar parte de la producción para satisfacer la demanda alta (estrategia de producción constante).
3. alguna combinación de los puntos 1 y 2.

Administración de la demanda

Al cambiar el patrón de la demanda se puede reducir el problema de la planeación agregada y, en algunos casos, descubrir otras fuentes de ingresos y utilidades. Los posibles métodos para modificar la demanda incluyen lo siguiente:

1. **Productos complementarios.** El desarrollo y la mercadotecnia de nuevos productos cuya demanda principal tiene lugar fuera de la estación puede reducir el desequilibrio entre demanda y capacidad. Por ejemplo, algunas empresas productoras de equipo para cortar el césped también han tenido éxito en la fabricación y mercadotecnia de equipo para quitar la nieve, en tanto que fabricantes de trajes de baño ya entraron al negocio de los artículos para esquiar. Ahora bien, muchas organizaciones de servicio han desarrollado servicios complementarios: combinan la reparación de equipos de calefacción y de aire acondicionado; las instituciones educativas que tradicionalmente sólo imparten programas en días laborales ofrecen además cursos de fin de semana y programas vespertinos de educación continua; los restaurantes de alimentos rápidos incluyen menús para el desayuno.
2. **Promoción, anuncios e incentivos en el precio.** La combinación correcta de un servicio o un producto deseado, valor por el precio y promoción pueden aumentar la demanda del consumidor en periodos normalmente flojos. Las ligas mayores de béisbol en Estados Unidos han tenido mucho éxito al utilizar atractivos como noches de guantes y noches de gala para aumentar la asistencia a juegos que suelen tener una asistencia baja o moderada.

Asimismo, la reducción de los precios puede desplazar hacia la alza la demanda en periodos en que por lo general es baja. Las com-

pañías de autobuses locales ofrecen a los usuarios tarifas reducidas en horas que no son de gran demanda. Con frecuencia los teatros anuncian precios con descuento para las funciones matutinas y los espectáculos a la hora de la cena; y muchos restaurantes tienen menús especiales para madrugadores. Como otros ejemplos están las tarifas con descuento para viajar fuera de temporada, y compensaciones en tiempo en las tarifas telefónicas de larga distancia. También se pueden utilizar arreglos financieros particulares para administrar la demanda. Por ejemplo, los almacenes departamentales en noviembre ofrecen a los compradores la opción de pagar a finales de enero sin ningún interés. En forma similar, algunos fabricantes de yates de recreo proporcionan a los detallistas la opción de pagar posteriormente y sin intereses, las compras hechas en meses antes de las estaciones de gran demanda. Así, la empresa fabricante reduce sus necesidades de espacio de almacenamiento y consigue la venta, en tanto que el detallista evita el costo financiero del inventario y tiene mejor oportunidad de ventas anticipadas al cliente final.

3. **Reservaciones y pedidos pendientes.** Con frecuencia las organizaciones encargadas de dar servicios piden o solicitan a los clientes que reserven lugar por medio de una cita. Esto puede incluir una reservación para comer en un restaurante en donde se reserva un tiempo específico; o está el caso de la reservación de un espacio específico, como el cuarto de un hotel o el asiento en avión. Esta práctica permite tanto al cliente como al prestador de servicios planear con mayor certidumbre. En otros casos, frecuentemente los clientes deben esperar hasta que esté disponible la mesa de un restaurante, el servicio de un técnico o la sala de emergencia de un médico. El prestador de servicios acuerda atender al cliente tan pronto como haya capacidad disponible.

Existen condiciones similares en la fabricación, especialmente en el mercado del vendedor. El cliente debe ordenar con anticipación a la fecha en que realmente necesita el producto. Así, el cliente formula su orden para un envío posterior (similar a una cita) y el fabricante produce para satisfacer las órdenes pendientes. Por ejemplo, la Custom Shirt Shop, de Nueva Jersey, tiene expendios al menudeo en todo el territorio de los Estados Unidos, que aceptan el pedido pagado por el cliente. Entonces, después de seis a ocho semanas, la fábrica envía por correo las camisas hechas a la medida del cliente. La utilización de los pedidos pendientes como una forma de planeación sólo es posible cuando el cliente aprecia la calidad del producto que merece la espera y el costo.

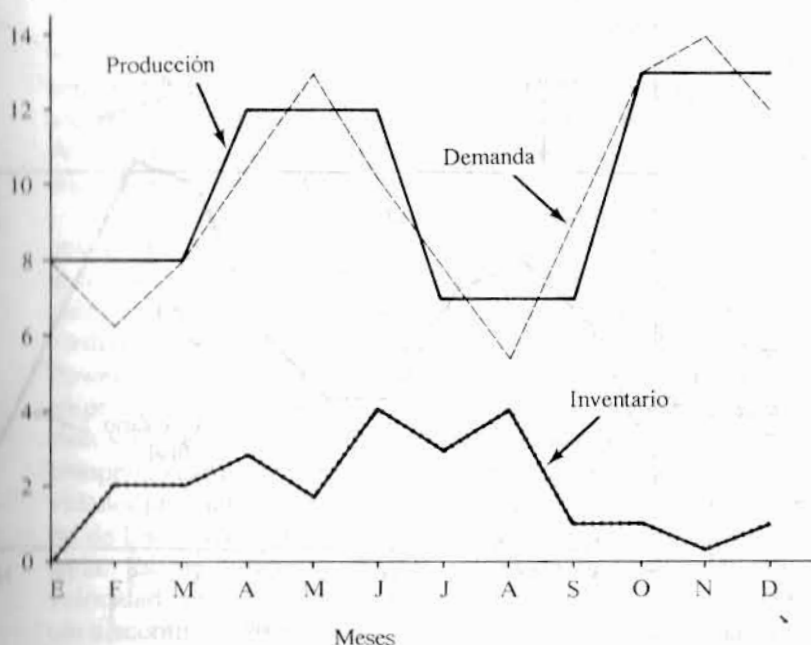
Aunque la modificación de la demanda con frecuencia significa un gran paso hacia la resolución del problema de la planeación agregada, rara vez lo resuelve por completo. Se requieren otras acciones para administrar la oferta

de modo que pueda satisfacer la demanda cuando es grande. En seguida se describen los métodos principales para lograrlo.

Administración de la oferta

Dos estrategias básicas representan los extremos opuestos del espectro de los métodos de administración de la oferta que se utilizan en la resolución del problema de la planificación agregada. Una es la *estrategia de persecución*, diseñada con el propósito de permitir una capacidad y una flexibilidad suficientes para hacer posible que los resultados de la producción coincidan con la demanda. Al usar este enfoque, el grado de producción puede variar ampliamente, como se ilustra en la figura 2-5. El objetivo principal de la estrategia de persecución consiste en evitar tener que cargar con un elevado costo de

Figura 2-5
Estrategia de producción de persecución

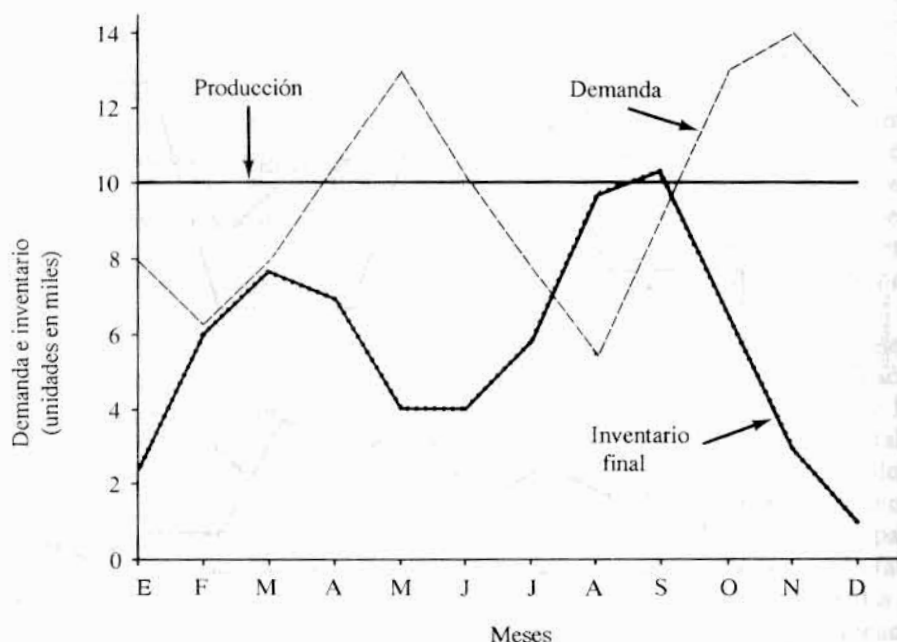


inventario cuando la demanda varía sustancialmente: se modifican los niveles de empleo, se utilizan tiempos extra, se subcontratan y/o asignan empleados de producción o actividades de mantenimiento o de capacitación durante los periodos de baja demanda. En algunos casos, como en la agricultura, esto es una necesidad; la siega debe hacerse cuando la cosecha está lista. Y también

es una prioridad para algunas organizaciones de servicio. Por ejemplo, la sala de emergencias de un hospital debe estar disponible para manejar los traumatismos en cuanto llegan. No obstante, la estrategia de persecución no es necesaria ni económicamente práctica en muchas situaciones. Los ejemplos incluyen situaciones en las cuales los empleados tienen garantizado un salario anual, y aquéllos en los cuales la capacidad de equipo está muy por abajo de la tasa máxima de demanda.

En el otro extremo del espectro está la *estrategia de producción constante*. Esta estrategia está diseñada para permitir la misma tasa de producción a lo largo del año y tener un inventario u órdenes pendientes para absorber las variaciones en la demanda, como se ilustra en la figura 2-6. Esto adquiere sentido cuando la demanda es relativamente estable, pero en algunas situaciones seguir este enfoque, como en la fabricación de árboles de Navidad artificiales, dará como resultado cargar con costos de inventario excesivos.

Figura 2-6
Estrategia de producción constante



Tradicionalmente el problema de la planeación agregada se ha considerado como un análisis del intercambio entre la tasa de cambio de los costos de producción y los costos que implica tener un inventario. (Estos y otros costos se examinarán en la sección siguiente de este mismo capítulo.) No obstante, en muchas organizaciones se están desarrollando sistemas de fabricación y

servicio más flexibles. Estos sistemas tienen la capacidad de cambiar rápidamente y a bajo costo el nivel de producción.

Costos relevantes a las decisiones de planeación agregada

Los costos resultantes de la decisión de planeación agregada se agrupan en dos categorías principales: (1) costos de inventarios y (2) costos del cambio en el nivel de producción.

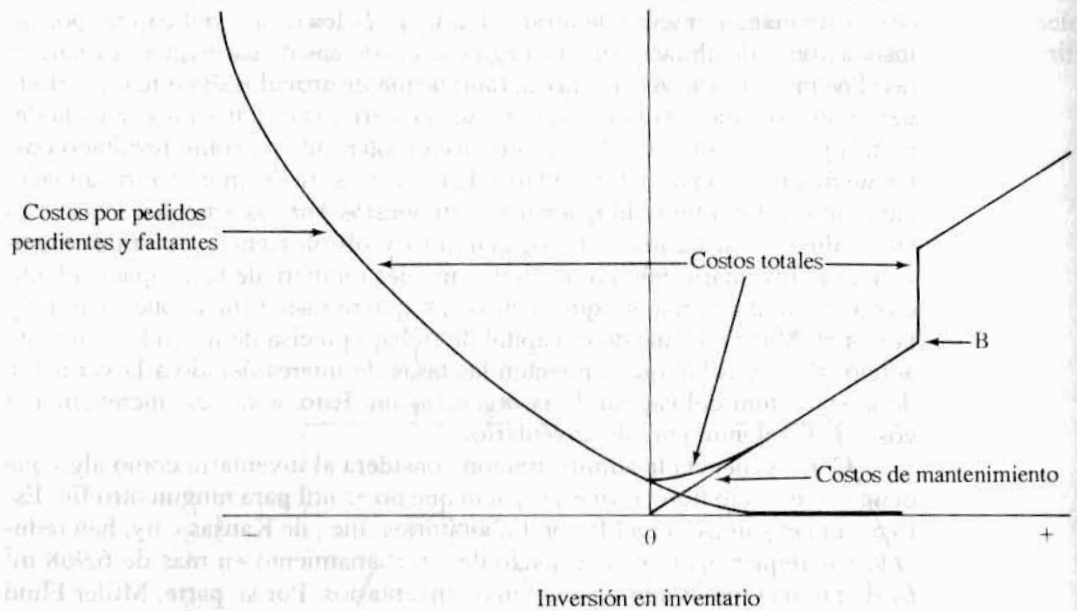
Costos de inventario. Los costos de inventario incluyen lo siguiente: (1) costos de mantenimiento de un inventario y (2) los costos del capital por las instalaciones de almacenamiento agregadas además de las requeridas para el nivel de producción. Asimismo, la fabricación de artículos durante un periodo determinado para venderlos en periodos posteriores durante los cuales la demanda pronosticada excede a la producción planeada da como resultado costos de mantenimiento del inventario. Estos costos incluyen costos de almacenamiento, capital invertido, seguros e impuestos por los artículos guardados en el almacén, así como roturas, deterioro y obsolescencia. Además, incrementar el inventario rebasando ciertos niveles requiere de una capacidad adicional de almacenamiento que, a su vez, requiere más instalaciones, equipo y personal. Más aún, cuando el capital de trabajo precisa de un endeudamiento adicional, es posible que aumenten las tasas de interés debido a la variación de la estructura del capital de la organización. Esto, a su vez, incrementa el costo de mantenimiento del inventario.

Con frecuencia la administración considera al inventario como algo que ocupa un espacio libre, esto es, espacio que no es útil para ningún otro fin. Esto resulta engañoso. Los Marion Laboratories, Inc., de Kansas City, han reducido sus requerimientos de espacio de almacenamiento en más de 6,968 m² mediante una mejor administración de inventarios. Por su parte, Miller Fluid Power de Bensenville, Illinois, ha logrado hacer ahorros similares. Ambas empresas consiguieron estos ahorros al aumentar la flexibilidad de la producción y planear mejor la producción, así como a la planeación agregada y de compras. Asimismo, ambas transformaron este espacio en un lugar para actividades productoras de ingresos. En la figura 2-7 se ilustra la naturaleza general de los costos de inventario que afectan las decisiones de planeación agregada. Es preciso notar que los costos de transportación aumentan a una velocidad constante a partir del punto en que existe un inventario. Se presentan discontinuidades cuando se requiere capacidad adicional (punto B). A medida que aumenta la escasez en el inventario (inversiones negativas en el inventario) o pedidos pendientes y los costos por falta de inventario aumentan exponencialmente.

Costos del cambio en el nivel de producción. El costo del cambio en el nivel de producción incluye los siguientes elementos:

1. Instalaciones y equipo (mayor capacidad)
2. Contratación y despido de empleados
3. Tiempos extra y tiempos ociosos
4. Personal de medio tiempo y eventual
5. Subcontratación o maquila
6. Acuerdos cooperativos

Figura 2-7

 Costos de inventario agregado *versus* inversión en inventario


Costos de instalaciones y equipo. La capacidad de procesamiento necesaria para igualar las alzas en la demanda (estrategia de persecución) es mayor que la que se requiere para mantener un nivel de producción. Esto casi siempre significa que se requieren mayores instalaciones y más equipo cuando se inicia o se cambia a la estrategia de persecución que cuando se sigue una estrategia de producción constante. Estas decisiones y sus costos normalmente forman parte de la planeación de una instalación a largo plazo. Así proporcionan de hecho, restricciones de política dentro de las cuales se deben tomar las decisiones de planeación de la capacidad agregada. Por ejemplo, los restaurantes tienen un número dado de mesas, las plantas de fabricación tienen equipo con capacidades y velocidades de procesamiento específicas, y las escuelas primarias tienen un número limitado de salones de clase y de asientos. Por lo general, el aumento de la capacidad de una instalación lleva más de un año. La excepción ocurre cuando se puede comprar una instalación ya existente y dejarla

lista para su uso en unos cuantos meses. Por ejemplo, en ciertas ocasiones las empresas embotelladoras de bebidas son capaces de comprar y modificar en un tiempo relativamente corto la planta de algún competidor.

Contratación y despido de empleados. En algunos casos, incrementar la capacidad requiere la contratación y capacitación de nuevos empleados, lo cual es una actividad costosa. Existen curvas de los efectos del aprendizaje (véase el capítulo 10), y los nuevos empleados normalmente necesitan mayor capacitación que los empleados con alguna experiencia. En general, los nuevos empleados son más propensos a los accidentes, tienden a causar desperdicio y suelen ser menos productivos. En un mercado competitivo, los nuevos empleados tienden a marginarse empeorando la situación. Incluso en un mercado de trabajo con abundante mano de obra capacitada, el reclutamiento, selección y capacitación tienen costos que pueden llegar a ser considerables.

Ahora bien, en el caso de los Estados Unidos, el despido de empleados aumenta el seguro de desempleo y, con frecuencia, baja el entusiasmo y la productividad. Así, las organizaciones con una política de despidos de acuerdo con las estaciones del año, suelen tener dificultad para contratar a los empleados más competentes. Además, algunos contratos laborales requieren que el empleador pague a los empleados despedidos una parte proporcional de su salario base durante periodos hasta de un año.

Tiempo extra y tiempo ocioso. El aumento de la capacidad de mano de obra con la programación de tiempos extra evita los costos de contratación y de capacitación y no incrementa el margen total de los costos por prestaciones por días festivos, vacaciones y seguros. No obstante, los costos directos suelen aumentar debido tanto a los salarios de premio (bonificación) como a la disminución en la productividad. Este descenso en la productividad se hace patente sobre todo cuando los tiempos extra semanales son excesivos o se prolongan durante más de un mes. Existe tiempo ocioso cuando hay más personal en la nómina que el requerido para fabricar la producción planeada. Se pueden reducir los costos del tiempo ocioso si se cuenta con una fuerza de trabajo adaptable y reglas de trabajo flexibles que rijan el empleo del personal, así como una planeación apropiada. Por ejemplo, Sunnen Products Company, de San Luis, es un fabricante de equipo de productos para afilar, y ha evitado hacer despidos durante los periodos flojos en aproximadamente medio siglo mediante: (1) el empleo de personal de producción para el mantenimiento de la planta y equipo y cambios en los despidos de la fábrica; (2) cantidades menores en los volúmenes de producción (mayor tiempo de preparación), y (3) proporcionando programas de capacitación. Sunnen ha operado con utilidades siguiendo una política sin despidos, buenos salarios y prestaciones, sin huelgas y con una fuerza de trabajo productiva.

Personal de medio tiempo y eventual. Con frecuencia el empleo de medio tiempo beneficia tanto al patrón como al empleado. Muchas personas de la

fuerza laboral desean un empleo que requiera de menos tiempo que la jornada completa, y satisfacen las necesidades que tiene de personal la organización para trabajar sólo durante los periodos de demanda alta. Los empleados permanentes de medio tiempo pueden ser personas eficaces y eficientes en una organización. Incluso, es posible que algún empleado eventual regrese regularmente cada Navidad o cada verano, por ejemplo, habiendo adquirido ya gran parte de la experiencia y conocimiento de los empleados de tiempo completo. Como los salarios y prestaciones adicionales de los empleados de medio tiempo suelen ser menores que los de los empleados de tiempo completo, se obtiene un ahorro tanto en las horas trabajadas como en el nivel de pagos. Por otro lado, como el personal eventual y de medio tiempo tienen relaciones mínimas con una organización, es difícil imbuirles una total comprensión y una apreciación de las metas y políticas referentes a áreas críticas, tales como la calidad y el servicio al cliente. Esto influye en que la calidad y el servicio inconsistentes debido al abuso en la contratación de personal eventual o de medio tiempo mal capacitado pueden desequilibrar los ahorros obtenidos en el costo.

Subcontratación o maquila. El empleo constante de otras empresas para efectuar la fabricación o contratar servicios profesionales, tales como: ingeniería, investigación mercadológica y desarrollo de software, puede ser un método efectivo para equilibrar la oferta con la demanda. Es posible que los subcontratistas sean especialmente valiosos cuando se consideran como un importante eslabón en la cadena de producción. Se les debe proporcionar una descripción adecuada de los requisitos de los productos (especificaciones, cantidades y fecha requerida) así como datos sobre el proceso de fabricación y la ayuda necesaria con respecto de las herramientas. A medida que se desarrollan la credibilidad y la confianza, los subcontratistas sugieren mejoras en el diseño del producto, en el proceso de fabricación o en el enfoque mercadológico.

Así, la subcontratación puede compararse con una calle de doble circulación. Con frecuencia, las empresas de fabricación que producen algún artículo ya sea para el mercado industrial o para el público en general subcontratan la capacidad de producción que les sobra. Por ejemplo, la Kidder-Stacy Company, de Springfield, Massachusetts, fabrica partes para otras empresas cuando la capacidad de trabajo de su maquinaria no se está utilizando totalmente.

Acuerdos cooperativos. En este punto, hay que señalar que es común que se establezcan acuerdos de trabajo basados en compartir personal y equipo con el fin de satisfacer las variaciones en la demanda o por la necesidad de allegarse la experiencia y el equipo que solamente uno de los integrantes de un grupo de organizaciones posee. Por ejemplo, los distritos vecinales de protección contra incendios, los hospitales y los departamentos de policía suelen compartir los servicios paramédicos que prestan. Asimismo, las compañías de servicio eléctrico tienen acuerdos cooperativos para compartir la energía.

Además, muchas universidades ofrecen cursos fuera del campus universitario y promueven programas en escuelas de la comunidad, compartiendo también profesores de la facultad.

Modelos de planeación agregada y técnicas de decisión

Se dispone de muchos enfoques diferentes para resolver el problema de la planeación agregada. Los métodos más prominentes incluyen los siguientes:

1. Métodos de ensayo y error o heurísticos
2. Minimización del costo por programación lineal (LP)
3. Reglas de decisión lineales (LDR)
4. Reglas de decisión de búsqueda (SDR)
5. Programación por metas (GP)
6. Simulación

El método de prueba y error es, con mucho, el método más usado. Desde 1970, los métodos numerados del 2 al 5 han ido ganando mayor aceptación. En fechas recientes, Goldratt (1989) argumentó, de manera persuasiva, que la interacción entre las restricciones sólo se puede capturar con exactitud mediante la simulación. Este argumento se analiza en el capítulo 23.

Ensayo y error. Casi todas las organizaciones han desarrollado un conjunto de reglas de planeación agregada basadas en su experiencia. Este método práctico varía de empresa a empresa, pero, frecuentemente, incluye información y lineamientos tales como:

1. Identificar aquellos centros de trabajo que son cuellos de botella y su capacidad.
2. Conocer el punto en el cual el tiempo extra produce rendimientos decrecientes. Por ejemplo, cuando se trabajan cinco días, al trabajar una semana de seis días seguidos, normalmente produce un ausentismo del 25% de la fuerza de trabajo, por lo menos un día de la semana siguiente.
3. Debe evitarse reducir la fuerza de trabajo por abajo de 75% de lo normal o habrá una pérdida permanente de los trabajadores eficientes y capacitados.
4. Conviene evitar el cambio del nivel de fuerza de trabajo más de cuatro veces en un año o se sobrecargará la capacidad administrativa de la organización. El departamento de relaciones industriales no tendrá tiempo suficiente para manejar quejas, negociar contratos de trabajo y promover la productividad del trabajo mediante la reducción en el costo y planes de reparto de beneficios.

El método arquetípico de ensayo y error consta de las siguientes etapas:

1. Preparar un plan inicial de producción en la base a la demanda pronosticada y los lineamientos establecidos.
2. Determinar si el plan está dentro de las restricciones de capacidad. Si no lo está, hay que revisarlo hasta que esté.
3. Costear el plan.
4. Alterar el plan para bajar los costos, efectuar las etapas 2 y 3 y comparar los costos de los dos planes.
5. Continuar este proceso hasta que se haya desarrollado un plan satisfactorio.
6. Realizar un análisis de sensibilidad para evaluar el efecto de los cambios en parámetros tales como mantenimientos del nivel de costos, costo de contratación (sueldos y salarios) y demanda.
7. Verificar el plan (comparar los resultados reales con los resultados planeados).

Este enfoque lleva a una solución factible y satisfactoria, pero no necesariamente a la óptima. Con frecuencia, se desarrollan primero los dos planes extremos, el de producción constante y un volumen de producción que se aproxime a la demanda. Entonces, se desarrollan los compromisos dentro de estos extremos y se evalúan.

Pongamos un ejemplo. Primero, se determinan los costos de los planes de producción que se ilustran en la figura 2-5, el plan de persecución, y en la figura 2-6, el plan de producción constante. Enseguida se comparan los costos de ambos planes. Una sección posterior examina la sensibilidad de los resultados a los cambios en el valor de ciertos parámetros.

Suponga que se dispone de la siguiente información respecto del perfil de los recursos para el producto y las políticas vigentes. La producción se ha planeado en incrementos de 1,000 unidades. (Conviene notar que estas cantidades corresponden a los E.U.A.)

1. No se permiten faltantes en inventario.
2. El nivel mínimo planeado de inventario es de 1,100 unidades.
3. El costo unitario es igual a \$50 (mano de obra directa = \$8, materiales = \$30, y gastos generales = \$12).
4. Los costos unitarios por tiempos extra igualan a \$53.50 (mano de obra directa = \$12, materiales = \$30, y gastos generales = \$11.50).
5. El porcentaje de costo de mantenimiento es igual a 0.30 por año, por dólar de inventario.
6. El costo de contratación es igual a \$600 por trabajador. (Éste es el promedio determinado de costos de contratación y recontractación.)
7. Los costos por despido son de \$200 por trabajador.
8. El costo de mano de obra directa por hora es igual a \$10.
9. La capacidad por trabajador, mensual, es igual a 160 horas.

Existe una relación directa de 1:200 entre la mano de obra directa y la producción cuando ésta se encuentra en cantidades de 5,000 a 12,000 unidades por mes. Esto es, se requiere un trabajador adicional por cada 200 unidades adicionales producidas mensualmente. El tiempo extra se debe utilizar para producir más de 12,000 unidades mensualmente. Dado que la política de administración limita el tiempo extra a 40 horas por trabajador mensualmente, la capacidad mensual máxima es 15,000 unidades [12,000 unidades en tiempo regular + (60 trabajadores mano de obra directa \times 1.25 unidades por hora \times 40 horas de tiempo extra por trabajador)].

En el cuadro 2-9 se da el costo total, \$84,125, del plan de producción constante. Los valores en el cuadro se calcularon como sigue:

$$EI_i = BI_i + P_i - D_i \text{ y } BI_i = EI_{i-1}$$

donde EI_i = inventario final del periodo i
 BI_i = inventario inicial del periodo i
 P_i = la cantidad de producción en el periodo i
 D_i = demanda en el periodo i

Por ejemplo, para el periodo 1 (Enero),

$$\begin{aligned} EI_1 &= 1,100 + 10,000 - 9,000 \\ &= 2,100 \end{aligned}$$

Los costos de mantenimiento de inventario se calcularon así:

$$IC_i = EI_i \times C \times \frac{k}{12}$$

donde IC_i = costo de mantenimiento del inventario del periodo i
 EI_i = inventario al terminar el periodo i
 C = costo por unidad
 k = Porcentaje del costo de mantenimiento anual

Por ejemplo, para el periodo 1

$$\begin{aligned} IC_1 &= 2,100 \times \$50 \times \frac{0.30}{12} \\ &= \$2,625 \end{aligned}$$

El costo total del plan de producción constante es \$84,125 y corresponde por completo a los costos de mantenimiento de inventario.

El costo total del plan de persecución, en el cual la producción mensual planeada iguala la demanda proyectada, es \$76,750, como se presenta en el cuadro 2-10. El modelo para el cálculo de estos costos y algunos ejemplos se presentan a continuación:

Cuadro 2-9

Costo del plan I de producción agregada. Producción de nivel

Mes	Inventario inicial (miles)	Producción (miles)	Demanda (miles)	Inventario final (miles)	Costo de tiempo extra	Costo del cambio en el volumen de producción	Costo de mantenimiento de inventario
Enero	1.1	10	9.0	2.1	—	—	\$ 2,625
Febrero	2.1	10	6.2	5.9	—	—	7,375
Marzo	5.9	10	8.0	7.9	—	—	9,875
Abril	7.9	10	11.0	6.9	—	—	8,625
Mayo	6.9	10	13.2	3.7	—	—	4,625
Junio	3.7	10	10.0	3.7	—	—	4,625
Julio	3.7	10	8.0	5.7	—	—	7,125
Agosto	5.7	10	6.0	9.7	—	—	12,125
Septiembre	9.7	10	9.5	10.2	—	—	12,750
Octubre	10.2	10	13.0	7.2	—	—	9,000
Noviembre	7.2	10	14.0	3.2	—	—	4,000
Diciembre	3.2	10	12.1	1.1	—	—	1,375
Total		120	120.0	67.3			\$84,125

Costo total de la producción constante

\$84,125

El mes de diciembre anterior (Periodo - 1) el nivel de producción fue de 10,000 unidades.

Si $WF_i > WF_{i-1}$ entonces $CL_i = 0$ y $CH_i = \$600 (WF_i - WF_{i-1})$

Si $WF_i < WF_{i-1}$ entonces $CH_i = 0$ y $CL_i = \$200 (WF_{i-1} - WF_i)$

$$WF_i = \frac{P_i}{200}$$

El valor máximo de WF para cualquier periodo es 60; la producción de 12,001 a 15,000 unidades es en tiempo extra.

Si $P_i < 12,000$, entonces $COT_i = 0$

Si $P_i > 12,000$, entonces $COT_i = \$3.50 (P_i - 12,000)$

donde WF_i = número de trabajadores en el periodo i

CL_i = costo de despido en el periodo i

CH_i = costo de contratación en el periodo i

COT_i = costo del tiempo extra en el periodo i

Por ejemplo, para el periodo 2 ($i = 2$) y para el periodo 3 ($i = 3$),

$$WF_1 = \frac{9,000}{200} = 45, \quad WF_2 = \frac{6,200}{200} = 31, \quad \text{y} \quad WF_3 = \frac{8,000}{200} = 40$$

Debido a que $WF_2 < WF_1$,

$$CH_2 = 0 \text{ y } CL_2 = \$200 (45 - 31) = \$2,800$$

Debido a que $WF_3 > WF_2$,

$$CL_3 = 0 \text{ y } CH_3 = \$600 (40 - 31) = \$5,400$$

Para el periodo 11, $P_{11} > 12,000$, de modo que

$$COT_{11} = \$3.50 (14,000 - 12,000) = \$7,000$$

Los otros valores en los cuadros 2-9 y 2-10 se calculan en la misma forma, con una excepción. El incremento planeado en la producción de agosto a septiembre para el plan de *persecución* en el cuadro 2-10 es 3,500 unidades, las cuales requieren de una adición de 17.5 trabajadores. Debido a que se contratan trabajadores de tiempo completo, se agregan 18 trabajadores. Esto significa que un trabajador no será empleado a tiempo completo en octubre (existe tiempo ocioso). En consecuencia, en el siguiente periodo cuando se requieran 12.5 trabajadores más sólo será necesario contratar 12. Además, el inventario final nunca es menor de 1,100 unidades ya sea en el plan de persecución o en el de producción constante. Esto se debe a que la administración

Cuadro 2-10

Costos del plan II de producción agregada- Estrategia de persecución

Mes	Inventario inicial (miles)	Demanda y producción (miles)	Cambio en la fuerza de trabajo	Costo del tiempo extra \$3.50 por trabajador	Costo de contratación \$600 por trabajador	Despido \$200 por trabajador	Costo del mantenimiento de inventario
Enero	1.1	9.0	-5			\$1,000	\$ 1,375
Febrero	1.1	6.2	-14			2,800	1,375
Marzo	1.1	8.0	+9		\$ 5,400		1,375
Abril	1.1	11.0	+15		9,000		1,375
Mayo	1.1	13.2	+5 + OT	\$ 4,200	3,000		1,375
Junio	1.1	10.0	-10			2,000	1,375
Julio	1.1	8.0	-10			2,000	1,375
Agosto	1.1	6.0	-10			2,000	1,375
Septiembre	1.1	9.5	+18 - UT		10,800		1,375
Octubre	1.1	13.0	+12 + OT	3,500	7,200		1,375
Noviembre	1.1	14.0	0 + OT	7,000			1,375
Diciembre	1.1	12.1	0 + OT	350			1,375
Total		120.0		\$15,050	\$35,400	\$9,800	\$16,500

Costo total de la estrategia de persecución

\$76,750

El mes de diciembre anterior (Periodo - 1) el nivel de producción fue de 10,000 unidades. OT = tiempo extra y UT = tiempo ocioso.

planea un inventario agregado de reserva (de seguridad) de 1,100 unidades para cubrir la contingencia en caso de que la demanda real exceda la demanda pronosticada. El costo anual, \$16,500 dólares, de mantener estas unidades es el resultado de esa decisión, la cual no se ve afectada por la selección de un plan de persecución, plan de producción constante o alguna combinación de ambos. Es un resultado que se refiere al nivel agregado de inventario de seguridad en el plan para la capacidad.

Como el costo estimado del plan de *persecución* es \$7,375 menos que el plan de producción constante, el siguiente paso consiste en intentar hacer modificaciones al plan de persecución y reducir el costo total. Los periodos consecutivos con oscilaciones en los niveles de empleo (de abril a septiembre, por ejemplo) son un lugar lógico dentro del plan de persecución para buscar una posible reducción en el costo. Un enfoque para reducir estas oscilaciones es tener sólo tres o cuatro niveles de empleados durante todo el año. En el cuadro 2-11 se proporciona el costo de una solución de compromiso que incluye únicamente tres niveles de producción y un inventario menor que en el plan de nivel de producción. Su costo total es \$66,125, o sea \$10,625 menos que el costo del plan de persecución.

El plan III, o sea el plan de compromiso, es el más económico. No obstante, antes de adoptarlo se deben formular algunas preguntas adicionales. Por ejemplo, los cinco trabajadores programados para ser despedidos en enero y recontratados en marzo, ¿pueden reasignarse temporalmente a otras actividades? También ¿qué efecto podría esperarse a causa del agotamiento de la fuerza de trabajo sobre los costos de los diversos planes? El costo del plan de producción constante es de \$18,000 más que el del plan de compromiso. Si no se van a contratar nuevos trabajadores para reemplazar a los despedidos, a los que renuncian voluntariamente y a cualquiera que se enferme o que a causa de alguna lesión deje el trabajo, ¿cuál es la diferencia en costo esperada? Esto requiere que se calcule la probabilidad de estos eventos. (Nótese que a partir de este punto el costo por reemplazar trabajadores debido a conciliación recibe el mismo tratamiento para todos los planes.)

Modelos matemáticos de planeación agregada. En la siguiente sección se presenta un panorama general de varios modelos matemáticos de planeación agregada. Estos modelos los utilizan con cierta regularidad muy pocos gerentes de operación debido a una o más de las siguientes razones:

1. Las decisiones de planeación agregada pueden estar dominadas por una decisión política; por ejemplo, la política de no realizar despidos.
2. Un solo factor como es el contrato de trabajo, el capital disponible, limitaciones en la capacidad o el tiempo de almacenaje pueden influir marcadamente sobre la decisión.
3. Los métodos de prueba y error, basados en años de experiencia, han desarrollado reglas aceptables. Las hojas electrónicas de cálculo ayudan a que este proceso sea muy eficiente.

Cuadro 2-11
Costo del plan III de producción agregada - Solución de compromiso

Mes	Inventario inicial (miles)	Producción (miles)	Demanda (miles)	Inventario final (miles)	Costo del tiempo extra	Costo del cambio en el volumen de producción	Costo de mantenimiento del inventario
Enero	1.1	9	9.0	1.1	—	\$1,000 (−5 trabajadores)	\$ 1,375
Febrero	1.1	9	6.2	3.9	—	—	4,875
Marzo	3.9	10	8.0	5.9	—	\$3,000 (+5 trabajadores)	7,375
Abril	5.9	10	11.0	4.9	—	—	6,125
Mayo	4.9	10	13.2	1.7	—	—	2,125
Junio	1.7	10	10.0	1.7	—	—	2,125
Julio	1.7	10	8.0	3.7	—	—	4,625
Agosto	3.7	10	6.0	7.7	—	—	9,625
Septiembre	7.7	10	9.5	8.2	—	—	10,250
Octubre	8.2	10	13.0	5.2	—	—	6,500
Noviembre	5.2	11	14.0	2.2	—	\$3,000 (+5 trabajadores)	2,750
Diciembre	2.2	11	12.1	1.1	—	—	1,375
Total		120	120.0	47.3		\$7,000	\$59,125

Costo total del plan de compromiso

\$66,125

El mes de diciembre anterior (Periodo - 1) el nivel de producción fue de 10,000 unidades.

4. Gran parte de la literatura sobre modelos matemáticos de planeación agregada ha sido escrita para científicos de la administración y no para los gerentes de operación.

Aunque estos modelos matemáticos tienen algunas deficiencias, pueden proporcionar a la administración un mejor panorama interno referente a una situación y las posibles oportunidades para mejorar sustancialmente la productividad. Así, se espera que aumente gradualmente la adopción de estas técnicas que usan modelos matemáticos a medida que los gerentes de operación ganen experiencia con ellas y que el software de la microcomputadora sea más disponible.

Programación lineal. Las formulaciones de programación lineal (LP), que van desde muy sencillas hasta muy complejas, existen para resolver el problema de planeación agregada. Por lo general, la formulación LP del problema establece una función objetivo e identifica las restricciones de la decisión. En la planeación agregada, la función que se persigue como objetivo es minimizar los costos totales de mantenimiento del inventario, cambiar el nivel de producción, la subcontratación y los tiempos extra. Las restricciones características incluyen la capacidad máxima de producción, la inversión máxima en inventario, ya sea debida a limitaciones en el almacenamiento o en el capital, límites del tiempo extra y restricciones referentes a la suspensión temporal o reasignación de la fuerza de trabajo. (Un ejemplo de una formulación relativamente sencilla se presenta en el capítulo 22.) Los defectos del enfoque de LP para la planeación agregada comprenden la suposición de que las funciones de costo son tanto lineales como continuas. Con frecuencia, ambas suposiciones son falsas. Por ejemplo, el costo de tiempo extra por hora puede aumentar al incrementarse el tiempo extra, debido a que disminuye la eficiencia en la producción. Mayores cantidades de producción pueden dar como resultado un menor costo unitario en ciertos puntos debido a los descuentos o los cambios en la cantidad en el proceso de manufactura, justificados por las cantidades mayores. Además, las soluciones de minimización de costos no son necesariamente soluciones para llevar al máximo las ganancias. A pesar de ello, los modelos de LP pueden proporcionar una estimación razonable de los costos en algunas situaciones y facilitar también valiosa información y guía para la administración (Greene y col., 1959).

Reglas de decisión lineales. Con su descripción de las reglas de decisión lineales, Holt, Modigliani, Muth y Simon, aumentaron el interés con respecto al problema de la planeación agregada (Holt, Modigliani y Simon, 1955; Holt y col., 1960). Las reglas de decisión lineales (LDR) representan los costos asociados con los cambios en el nivel de producción, inventario y tiempos extra como funciones cuadráticas del nivel de producción y de la fuerza de trabajo. Las reglas de decisión lineales para determinar los niveles óptimos de la fuerza de trabajo y los volúmenes de producción se derivan por diferenciación de la función cuadrática de costo agregado.

Si bien este enfoque es un valioso paso en el desarrollo continuo de los modelos de planeación agregada, no ha tenido una amplia aceptación industrial debido a ciertas limitaciones inherentes. En primer lugar, se requiere que las funciones del costo sean cuadráticas para diferenciarlas y ésta no siempre es una consideración válida. En segundo lugar, no pone restricciones a las variables de decisión, las cuales en la práctica con frecuencia se ven restringidas.

Programación por metas. Normalmente existen metas múltiples cuando se desarrolla el plan de capacidad agregada o el programa maestro de producción de mediano plazo. Un conjunto típico de estas metas puede incluir lo siguiente:

1. El programa debe estar dentro de la capacidad productiva.
2. La producción debe ser suficiente para satisfacer los requerimientos de la demanda.
3. Deben minimizarse los costos de producción y de inventario.
4. La inversión en inventario no debe exceder un límite especificado.
5. Los costos por tiempos extra deben mantenerse dentro de un límite especificado.
6. Cualquier disminución en los niveles de empleo se debe manejar por conciliación.

Debido a que la mayoría de los métodos matemáticos de programación requieren que todas las metas se expresen en una sola dimensión, estas metas deben formularse en términos de dólares o convertirse en restricciones. Este enfoque tiene dos inconvenientes: (1) Las restricciones reales pueden no ser tan rígidas como se ha indicado en la formulación LP y (2) no todas las metas tienen la misma prioridad. Por ejemplo, puede no haber objeción en un caso dado, en excederse en el costo de los tiempos extra o en los límites a la inversión en inventario, si es que se logran mejoras sustanciales en el proceso de entrega.

Así, la programación por metas resuelve estas objeciones. Permite que las diferentes metas se expresen en su forma natural y proporciona una solución que logra las metas por orden de prioridad. Debido a que algunas metas están en oposición una de otra, quizá no sea posible alcanzarlas todas. Por ejemplo, una meta de empleo estable puede ser inconsistente con la minimización de los costos de producción. La programación por metas permite al administrador el análisis de las desviaciones de una meta dada, las cuales se requieren para alcanzar alguna otra meta, y decidir cuánto se puede desviar la organización de una meta para alcanzar otra.

Lee y Moore (1974) han descrito la aplicación de la programación por metas al desarrollo de un programa para un fabricante de grandes transformadores eléctricos. Las metas y sus prioridades en esta situación fueron las siguientes:

1. Operar dentro de los límites de capacidad productiva.
2. Cumplir el calendario contratado de entrega.
3. Operar a un nivel mínimo de 80% de la capacidad de tiempo normal.
4. Conservar un inventario a un máximo de tres unidades.
5. Minimizar los costos de producción total y de inventario.
6. Mantener el tiempo extra de producción a un mínimo.

Se alcanzaron las primeras cuatro metas. No obstante, en un mes la producción en tiempo extra y los costos de producción y de inventario no se conservaron al mínimo a fin de cumplir con el calendario de entrega, el cual es una meta de mayor prioridad. La programación por metas permite un análisis honesto de tales compromisos.

Simulación. La dificultad inherente al desarrollo de un modelo analítico realista que sea resuelto fácilmente invita a aplicar técnicas de simulación a la decisión de planeación agregada (véase el capítulo 22). Los modelos analíticos de planeación agregada consideran rigidamente las relaciones especificadas entre las variables de la decisión. Por ejemplo, algunos requieren que los costos sean lineales con la cantidad de producción. Otros necesitan que la relación entre costo y cantidad sea cuadrática. Ninguno de estos modelos permite que estas relaciones puedan cambiar durante el horizonte de planeación. En una situación real, algunos costos pueden variar linealmente mientras que otros varían en una relación cuadrática con las cantidades producidas. Además, los costos de mano de obra directa y de materiales pueden variar después de un periodo de 12 a 18 meses debido al contrato laboral y a los cambios en los precios de los materiales que se compran. La llegada de equipo nuevo se puede programar durante el horizonte de planeación, lo cual da como resultado incrementos en la capacidad y los costos de preparación y disminución en los costos unitarios de procesamiento. Los enfoques analíticos no pueden manejar estos cambios sin que la complejidad del modelo muestre un aumento prohibitivo.

La simulación permite al encargado de la planeación formular un modelo con diferentes tipos de interrelaciones de costos (lineal, cuadrática, exponencial, etcétera) y con costos que cambian en puntos específicos en tiempo o en cantidades específicas de producción. Así, los modelos de simulación se pueden acercar más a la realidad que sus contrapartes analíticas en la mayor parte de las situaciones. No obstante, los modelos analíticos como la programación lineal, pueden garantizar una solución óptima, aunque con una simplificación excesiva de la realidad, mientras que llevar a cabo un modelo de simulación no garantiza una solución óptima.

Análisis de sensibilidad

El plan de producción agregada se basa en un conjunto de pronósticos de demanda y costos. Se tratan como si fueran verdaderos, pero rara vez esto es así.