

Almacenamiento	Despacho	Inventarios	Identificación
<p>Error de manejo: en identificación, en ubicación, rotación.</p> <p>Presentación inapropiada, limitaciones de espacio o equipos</p> <p>Materiales críticos</p> <p>Deterioro o merma de material</p>	<p>Error de verificación: en identificación, en calidad y en cantidad</p> <p>Transacciones irregulares: anticipadas, en exceso, préstamos</p> <p>Egreso mal emitido</p>	<p>Adaptación del sistema</p> <p>Corte documental</p> <p>Error en la toma física: identificación, conteo, captura de datos</p> <p>Ajustes de diferencias</p> <p>Tratamiento de la información</p>	<p>Falta de normalización: descripción, unidad de medida, código</p> <p>Proliferación de códigos: duplicados, mal aplicados, inexistentes</p> <p>Desconocimiento del producto</p> <p>Falta de archivo técnico y documentación</p>
Recepción	Documentación	Sistema	Otras
<p>Error de verificación: en identificación, en calidad, en cantidad</p> <p>Transacciones irregulares: Anticipadas, incompletas, en exceso, en lugar diferente</p>	<p>Errores documentales: elaboración, transcripción, validación, liquidación</p> <p>Trámites documentales irregulares: anticipados, incompletos, rezagados, extraviados</p> <p>Movimientos extracontables</p>	<p>Incumplimiento de principios: Universalidad del control, documentación, orden secuencial, cronología</p> <p>Errores de falta de: conciliación, depuración, actualización, seguridad</p> <p>Ajustes de inconsistencias</p>	<p>Incumplimiento de normas y procedimientos</p> <p>Falta de seguridad: personal asignado, acceso, caución, prevención de accidentes, guardias</p> <p>Funciones encomendadas</p> <p>Ausencia de autoridad</p> <p>Urgencias</p>

Cuadro 16.9. Desagregación de las causas principales de diferencias en los inventarios

16.5. Bibliografía

- ANDERSON D.; SWEENEY D.; WILLIAMS TH., *Métodos cuantitativos para los negocios*, International Thomson Editores, 1999.
- BALLOU, *Logística empresarial*, Díaz de Santos, 1991.
- CHASE; AQUILANO; JACOBS, *Administración de producción y operaciones*, Irwin McGraw-Hill, 2000.
- GAITHER; FRAZIER, *Administración de producción y operaciones*, 4ta. ed., Thomson, 2000.
- GOLDRATT, E.; FOX R, *La carrera*, Editorial Castillo, 1994.
- GOLDRATT E., *El síndrome del pajar*, Editorial Castillo, 1994.
- KRAJEWSKY; RITZMAN, *Administración de operaciones, estrategia y análisis*, Prentice Hall, 2000.
- LÓPEZ ARÁOZ, CARLOS, *Dirección de operaciones. Logística de negocios*, ICDA, 2002.
- ROUX, M., *Manual de logística para la gestión de almacenes*, Gestión 2000, 1997.
- SORET LOS SANTOS, IGNACIO, *Logística comercial y empresarial*, ESIC, 1994.

PLANIFICACIÓN AGREGADA

ALICIA CALABUIG
 CECILIA VIRGINIA QUIROGA
 HÉCTOR MARCELO CASABENE

17.1. Concepto y naturaleza de la planeación agregada

Una de las funciones del departamento de operaciones es la elaboración de los planes agregados de producción, para apoyar el logro del **plan estratégico** de la empresa, detallando la manera en que se va a proveer de la capacidad operativa para satisfacer los pronósticos de demanda a mediano plazo y a un costo mínimo.

La planeación agregada **define el volumen de producción y los recursos requeridos para la elaboración de bienes o prestación de servicios, que la organización necesita para hacer frente a la demanda prevista en un determinado horizonte de tiempo**; por lo que para ello se torna necesario relacionar la información entre ésta y los distintos planes de la organización, teniendo en cuenta los factores externos a la misma.

Si bien la responsabilidad de la planeación agregada es del área de operaciones, ésta requiere la cooperación de otras áreas de la empresa para coordinar su plan futuro. En la elaboración del **plan agregado de producción (Aggregate Production Plan)** el departamento de producción debe interrelacionarse con otras áreas al abordar temas de presupuesto, personal y mercadotecnia.

Al referirse a niveles de producción, de inventario, de compras, de personal, y otros, se están utilizando y coordinando recursos que

son vitales para el desarrollo del presupuesto de la empresa, así como también el plan agregado constituye la clave y la justificación principal para el presupuesto del departamento de operaciones.

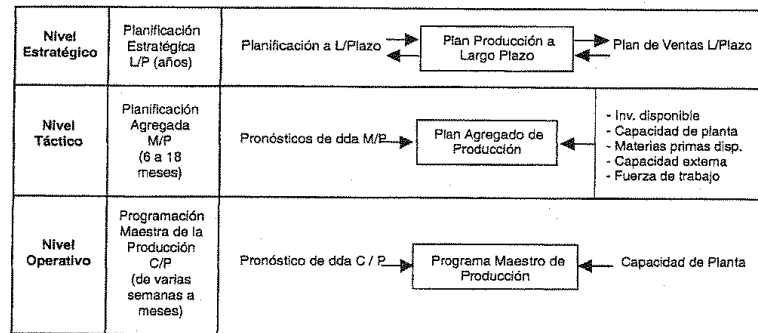
El área de personal se ve afectada cuando en la planificación a mediano plazo se incluyen contrataciones, despidos y horas extra como recursos para nivelar la capacidad de producción.

Lo mismo ocurre con el departamento de comercialización, donde la relación es intensa y en ambos sentidos. Por un lado la planeación agregada es la que permite a comercialización, *a posteriori*, brindar un buen servicio al cliente mediante la oferta de producción. Por otro lado, mercadotecnia mantiene continuamente informado al departamento de operaciones de las demandas y sus fluctuaciones, inclusive utilizando estrategias adecuadas para operar variaciones en ésta, que ayudan a la planeación agregada a nivelar su tasa de producción. Además se debe contar con la información que brindan los planes comerciales a mediano plazo, para elaborar los planes de capacidad para este mismo periodo de tiempo, proyectando el nivel general de producción y bosquejando los resultados que se deben alcanzar, expresados en números de unidades de sus líneas de productos.

17.2. Planeación jerárquica de la producción

Las distintas instancias de planeación de operaciones se llevan a cabo en diferentes niveles en la estructura de planeamiento del departamento (ver cuadro 17.1), ya sea por su grado de análisis o por su instancia en el horizonte de tiempo que abarcan, "configurando una jerarquía de planeamiento que se correlaciona con los distintos niveles en la estructura organizacional" (1).

La planeación agregada, como herramienta táctica de operaciones, coordina los objetivos y planes entre el nivel estratégico y operativo, estableciendo para cada uno de ellos sus propias metas. A través de este proceso se implementan las estrategias definidas por la organización para el área, haciendo llegar la información al nivel inferior para que se sincronicen las actividades y se ejecuten las operaciones.



Cuadro 17.1. Planeación jerárquica de la producción

17.3. Unidad de medida, horizonte de planeación y cubos de tiempo

La planeación agregada, como herramienta de acción táctica, toma información proporcional del plan estratégico de operaciones y proyecta los resultados que se pretenden alcanzar en un periodo de tiempo determinado.

Para ello es necesario definir:

- **Unidad de medida:** líneas o familias de productos.
- **Horizonte de planeación:** periodo de tiempo que abarca el plan.
- **Cubos de tiempo:** periodicidad del horizonte de planeación.

17.3.1. Unidad de medida

En la confección del plan agregado de producción la unidad de medida más empleada es la de **familia** de productos, definiéndola como un **grupo de productos o servicios que tienen condiciones de demanda similares y requisitos comunes de procesamiento, mano de obra y materiales** (2); es decir, aquellos productos cuya unidad de medida sea homogénea.

No es sencillo determinar los grupos de familias en casos donde la variación en los productos finales es muy amplia, pero lograrlo evita el esfuerzo y el costo que implicaría elaborar un plan para cada uno de los artículos que se producen.

Ejemplos de unidades agregadas de recursos:

- Número total de trabajadores.
- Horas de tiempo de máquinas.
- Toneladas de materias primas.

Ejemplos de unidades agregadas de productos:

- Número de pacientes atendidos.
- Horas de servicios prestados.
- Toneladas de acero forjados.
- Litros de jugos producidos.

Ejemplo: vemos el caso de una empresa fabricante de pañales descartables y toallas femeninas que clasifica sus productos en dos familias:

- Familia de pañales descartables:
 - tamaño chico;
 - tamaño mediano;
 - tamaño grande;
 - tamaño extra grande.
- Familia de toallas femeninas:
 - toallas femeninas;
 - protectores diarios.

Todos los productos que componen esta familia se elaboran con el mismo proceso productivo y poseen insumos comunes entre ellos.

Ejemplo: un Centro Médico Integral puede hacer agregación por familia de servicios, tales como:

- Servicio externo clínico.
- Servicio de odontología.
- Servicio de laboratorio.

Cada familia conformada tiene similitud en el servicio que presta, en la mano de obra, en sus costos y en sus insumos, permitiendo agrupar todos los consultorios externos de medicina clínica, los servicios odontológicos y los de análisis y hemoterapia.

Tanto en las empresas manufactureras como en las de servicio la mano de obra es de vital importancia, por lo que las unidades agregadas de este recurso dependen generalmente del tipo de personal requerido, así como también de la flexibilidad de la fuerza de trabajo.

Puede ocurrir que todo el personal esté capacitado por igual, o bien que estén capacitados por habilidades o por sectores del proceso, por lo que la agrupación resulta distinta en cada situación.

En el primer caso, si toda la mano de obra está capacitada por igual, puede realizarse una sola agregación o acumulación para la planeación, aun cuando las habilidades de los empleados sean diferentes, como puede ser el caso de la empresa que fabrica pañales descartables y toallas femeninas.

En el segundo caso, la conformación de cada familia de productos generalmente se lleva a cabo según las habilidades del personal o por la capacitación específica recibida, como puede ser el ejemplo del **centro médico integral**.

(1) SOLANA, RICARDO, *Producción, su organización y administración en el umbral del tercer milenio*, Ediciones Interoceánicas, 1994.

(2) KRAJEWSKY, RITZMAN, *Administración de operaciones. Estrategia y análisis*, Prentice Hall, 2000.

17.3.2. Horizonte de planificación

Otro aspecto a determinar es el **horizonte de planificación** que debe abarcar el plan agregado. Generalmente éste comprende un período que abarca entre 6 a 18 meses, permiti-

17.3.3. Cubos de tiempo

El horizonte de planificación se subdivide en períodos más pequeños denominados **cubos de tiempo** que abarcan los meses comprendidos en el horizonte de planificación. Se asigna una división mensual siempre que sea posible, pero si la información disponible no

tiende relacionar el plan estratégico de operaciones con el programa maestro de la producción.

lo permite puede optarse por períodos trimestrales.

De esta manera el plan agregado permite ir ajustando y equilibrando la capacidad de planta con la demanda agregada ⁽³⁾.

17.4. Secuencia de las actividades en la planeación agregada

Las actividades a realizar para elaborar un plan agregado de producción pueden presentar la siguiente secuencia:

- Definir las familias de productos agregados, si es que la empresa produce variedad de bienes, determinar un horizonte de planeación y su periodicidad o cubos de tiempos.
- Poseer un pronóstico de demanda para cada producto, que indique las cantidades a venderse en cada período del horizonte de planeación, de modo de determinar los pronósticos de productos y servicios individuales, transformándolos en una demanda agregada que sea compatible con la capacidad de producción.
- Analizar la variación de los requerimientos de producción entre períodos. El administrador de operaciones, en el momento de establecer el plan agregado de producción, debe analizar todos los factores internos y externos involucrados en el proceso de planeación, revisando las op-

ciones que modifican la demanda y aquellas que hacen lo propio con la oferta. De ser necesario, la organización deberá realizar acciones destinadas a modificar la duración y nivel de demanda, ya sea mediante tácticas de precios, promociones y publicidad, etc. Por ejemplo, los hoteles y las compañías aéreas ofrecen descuentos de fin de semana y precios especiales para temporadas bajas; las empresas telefónicas ofrecen tarifas diferenciales en determinados horarios; los cines disminuyen los precios en funciones matutinas o de traspas.

- Determinar el número de trabajadores, cantidad de materiales, de máquinas y otros elementos de capacidad de producción que se requerirán en cada período a fin de adecuarlos a la demanda agregada. Por ejemplo, teniendo en cuenta la cantidad estimada de habitaciones a ocupar en el período de tiempo analizado, un gerente de hotel puede determinar el número de personal requerido y los recursos a

utilizar, así como también los insumos necesarios para la operatividad de los servicios para cada cubo de tiempo del horizonte de planificación.

- Comparar la capacidad real de operaciones con los requerimientos de demanda en cada período de planeación. Cuando la capacidad requerida no concuerda con la disponible se deberán desarrollar alternativas de recursos para ajustar la capacidad necesaria de producción. Ante cada situación se propondrán alternativas y se analizarán las posibilidades de implementación, teniendo en cuenta las políti-

cas de la organización y los costos derivados de las distintas opciones.

- Seleccionar de entre las alternativas propuestas aquella que satisfaga la demanda agregada y que cumpla los objetivos de la organización. Durante la elaboración del plan agregado, y antes de su implementación definitiva, es necesario someterlo a un proceso iterativo de revisiones y ajustes hasta que el mismo es aceptado por las distintas áreas funcionales.
- Implementar el plan agregado utilizando técnicas heurísticas o de optimización.

17.5. Alternativas de planificación

La planeación de operaciones resulta oportuna para equilibrar los cambios necesarios a realizar en la administración de la producción ante la variabilidad de la demanda de los clientes.

Es por eso que cuando se lleva a cabo la planeación agregada se toman decisiones para tratar de equilibrar la oferta y la demanda de bienes o servicios.

Se pueden considerar las siguientes:

- **Variables que modifican la oferta:** contrataciones y despidos de personal, uso de tiempo extra y de tiempo ocioso, mano de obra eventual y de tiempo parcial, uso de inventarios como amortiguador o colchón entre producción y demanda, subcontratación para la obtención de los productos que la empresa no puede fabricar, cooperación entre empresas, entre otros.
- **Variables que modifican la demanda:** precios diferenciales, aumento del número de vendedores, uso de la promoción y de la publicidad, introducción de productos complementarios, trabajos pendientes o reservaciones para ubicar la demanda en períodos más favorables, entre otros.

Es necesario contar con posibilidades de ajustes en los sistemas operativos para adaptarse a los cambios que la demanda del mercado consumidor requiere, de modo que las organizaciones cuenten con alternativas de soluciones que varíen según el factor tiempo y costos, como ser:

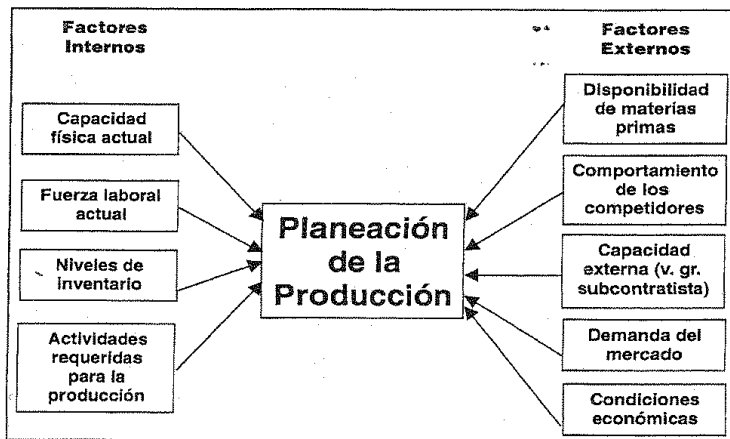
- Hay alternativas que, debido a su inversión en dinero y tiempo de disponibilidad, son consideradas a largo plazo; y se denominan **alternativas de ajustes estructurales**. Por su importancia, éstas requieren ser tratadas a nivel estratégico por la organización. Para decidir ajustes de tipo estructural se necesita realizar un análisis detallado de las variaciones de la demanda y determinar si es apropiado efectuar inversiones que implican ampliar la estructura operativa y adecuar los diseños de los procesos. Por ejemplo, inversiones en estructuras edilicias; maquinarias; equipos y otros bienes de capital, ampliarían la capacidad de producción en planta requiriendo la adecuación de los diseños de los procesos. Por lo general estas alternativas de ajustes estructurales requieren inversiones, en el cual el departamento financiero deberá analizar su viabilidad en la

(3) Demanda agregada: la demanda también se puede agrupar en familia de productos y de esta manera aplicarla en la planificación agregada.

evaluación de los recursos aplicables y de su rentabilidad proyectada. De la decisión adoptada en el ámbito de alta dirección, con la participación del área comercial, operaciones y financiera, se modificará o no el plan estratégico de la organización, como también los planes comerciales, operativos y financieros a largo plazo.

Se pueden incorporar a la planeación agregada alternativas de ajustes de capacidad a mediano y corto plazo, a fin de equilibrar las variaciones de la demanda, denominadas también **alternativas de ajuste transitorio**. La demanda esperada de los clientes suele presentar picos y mesetas permitiendo las modificaciones en la ca-

pacidad de un mes a otro. La decisión de cuáles son las alternativas convenientes para implementar dependen de factores internos y externos a la organización, ver cuadro 17.2. Los factores internos estarían dados por los costos involucrados en los recursos de producción, por la posibilidad de acceder a ellos y por las políticas de la organización. Cuando se estudian posibilidades que dependen de factores externos a la organización, hay que determinar primeramente si contamos con el mercado que se adapte a las alternativas propuestas y luego se analizan los costos asociados a cada una de ellas.



Cuadro 17.2. Información requerida para el sistema de planeación de la producción (4)

(4) CHASE; AQUILANO; JACOBS, *Administración de producción y operaciones*, Irwin McGraw-Hill, 2000.

17.5.1. Estrategias operacionales

El plan agregado de operaciones se confecciona de acuerdo con la conveniencia y políticas de la organización, que previamente han sido plasmadas en la planificación estratégica, por lo que se trabaja realizando los ajustes necesarios para sincronizar la productividad con las demandas fluctuantes. Para ello, el planificador cuenta con distintas alternativas de ajuste transitorio que se utilizarán para ampliar o disminuir la capacidad a mediano y corto plazo, conformando las estrategias de operaciones.

Estas alternativas pueden ser:

- Variación en el nivel de la fuerza laboral.
- Variación en las tasas de producción por utilización de horas extra o de tiempo ocioso.
- Ajustes en el tiempo del trabajo diario.
- Incorporación de mano de obra temporal o eventual.
- Variación en los niveles de inventarios.

a) Variación en el nivel de la fuerza laboral

Esta alternativa consiste en igualar la tasa de producción con la demanda mediante la opción de contratar o despedir mano de obra, según como se presenten las variaciones de la demanda.

Decidir por esta estrategia puede ser efectivo en algunas situaciones evitando los tiempos ociosos y acumulaciones de inventarios y horas extra. La planeación agregada debe examinar el efecto que estas políticas tienen sobre los costos y las utilidades.

El uso de esta opción suele traer aparejado riesgos, tales como:

- Imposibilidad de contar con mano de obra especializada para contratar cuando se incrementa la demanda o, por el contrario, necesidad de capacitar y entrenar, lo

- Acumulación de órdenes de pedido de los clientes.
- Agotamientos.
- Subcontratación.
- Capacidad compartida.

Estas alternativas se disponen como opciones válidas en la administración de operaciones, y cada una de ellas aportará ventajas y desventajas, que se analizarán desde distintas ópticas antes de tomar una decisión. Una vez que se ha tomado la decisión de utilizar determinadas alternativas de ajuste transitorio, éstas se convierten en fuertes estrategias de planeación de operaciones.

Algunas alternativas actúan como opciones de capacidad porque no intentan modificar la demanda, sino que absorben las variaciones de ella; otras son opciones de demanda porque el propósito es, mediante alguna acción deliberada de la organización, aplacar o suavizar cambios de la demanda según la planificación de las operaciones.

que conlleva a la disminución en los niveles de producción.

- Despedir a los trabajadores, cuando el ritmo de la demanda baja, impacta en la motivación de los que continúan en la organización, así como también se deterioran las relaciones con el medio; los empleados pueden disminuir su ritmo de trabajo por temor a ser despedidos.
- Se incrementan los costos de contratación debido a las actividades a llevar a cabo, desde anuncios de demanda laboral, reclutamiento, entrevistas, exámenes, trabajos administrativos, formación y entrenamientos en el periodo de seguimiento, hasta la adaptación a las tareas, por lo que se produce mayor cantidad de desechos iniciales y caída de productividad.

- Se incrementan los costos de despidos originados por los gastos administrativos, indemnizaciones y aquellos costos derivados de los conflictos que se presentan en esta situación.

b) Variación en las tasas de producción por utilización de horas extra o de tiempos ociosos

La utilización de horas extra evita contratar trabajadores eventuales, impidiendo la acumulación de inventarios y los retrasos en los servicios sin variar la mano de obra, pasando a ser una ventaja para la empresa. Por lo general, los operarios aceptan complacidos cierta cantidad de horas extra, pero se debe tener en cuenta que su exceso crea situaciones de fatiga, reducción de la calidad del producto, accidentes de trabajo, enfermedades profesionales. Además se deben considerar las limitaciones legales y de convenio de trabajo que acotan la cantidad de horas extra aceptables para el buen estado del individuo.

El pago de las horas extra incrementan los costos, pero evitan aquellos derivados de la reducción de la producción, cuando la demanda está aún sin satisfacer.

c) Ajustes en el tiempo del trabajo diario

Ante fluctuaciones en las ventas, los empleados suelen trabajar más horas en temporadas de alta demanda a cambio de menos horas de

d) Incorporación de mano de obra temporal o eventual

Los empleados a tiempo parcial o los empleados eventuales son una alternativa para ampliar la capacidad de operaciones en periodos cortos de tiempo. Se usa especialmente en el sector servicios, pero también en empresas de transformación, para cubrir las necesidades de mano de obra poco calificada.

Este tipo de opción es habitual en industrias con demanda de alta estacionalidad como las de bebidas frescas en temporada de primavera y verano.

La situación opuesta también merece un análisis. Cuando decrece la demanda y se producen tiempos ociosos de los trabajadores, la empresa debe absorber los costos, por el pago de los salarios y cargas sociales, aun cuando no se trabaja, y que se refleja en una productividad inferior a la normal. La opción radica en analizar si mantener horas ociosas resulta mejor decisión que el despido, permitiendo conservar a los trabajadores calificados y eficientes dentro de la organización, evitando los efectos negativos que producen los despidos. Solamente es posible mantener el nivel de mano de obra ociosa en periodos cortos de tiempo.

Se suele optar por otorgar vacaciones en los periodos de baja demanda, reduciendo la mano de obra sin costo adicional, siempre que no exista algún impedimento legal o de convenio colectivo de trabajo.

trabajo en temporadas de baja demanda. También en esta alternativa hay que tener en cuenta los aspectos legales y sindicales.

Es muy común en los restaurantes de comida rápida, supermercados, empresas de turismo, etc., así como también en industrias cuya materia prima principal deriva de productos de temporada, como las industrias de enlatado de frutas y de verduras.

e) Variación en los niveles de inventarios

En esta opción se utiliza el nivel de inventario como amortiguador o colchón entre la oferta y la demanda, usando acciones encontradas, ya sea acumulando o agotando los inventarios, permitiendo de esta manera una operación más uniforme.

En los periodos de baja demanda se pueden incrementar los inventarios para posteriormente satisfacer pedidos cuando la demanda es alta.

Para adoptar este tipo de alternativa hay que analizar los costos asociados a los *stocks*, siendo estos costos un porcentaje elevado sobre el valor del producto final. Los costos de mantener inventarios incluyen:

- Costo de almacenamiento propiamente dicho: alquiler, almacenes, depreciación, impuestos y seguros.
- Costos de gestión de materiales: equipos, depreciación, electricidad y costos operativos.
- Costos de pérdida, desechos y obsolescencia.
- Costos del capital inmovilizado.

f) Acumulación de órdenes de pedidos de los clientes

Suelen presentarse situaciones en las cuales los clientes, mediante un acuerdo previo, permiten que les envíen los pedidos con retraso o que los ubiquen en lista de espera.

Por ejemplo, una empresa automotriz acuerda con un proveedor retrasar la entrega de un pedido, acumulándolo con el despacho del siguiente.

g) Agotamientos

Existen organizaciones, especialmente las de servicios, que tienen como opción válida no satisfacer la demanda en su totalidad, sino un porcentaje selectivo de ella, tal es el caso de escuelas, hoteles, restaurantes, modistos,

- Costos generados por personal administrativo.

Contrariamente, cuando la empresa enfrenta periodos de creciente demanda, y no cuenta con niveles de inventarios suficientes, se originan problemas que derivan en pérdidas de venta por no cumplir con los tiempos de entrega y un deficiente servicio al cliente.

En general, los costos de pedidos pendientes de cumplimiento son muy difíciles de medir y, además de la pérdida de la venta, venta pendiente o servida con retraso, existen aquellos que se originan por mostrar una imagen negativa de la empresa ante los clientes, por envíos urgentes, por trabajos adicionales del personal administrativo y de ventas.

Para mantener estable los niveles de mano de obra, utilizar un número reducido de horas extra o incurrir en niveles bajos de tiempos ociosos. La empresa debe analizar sus costos para poder establecer cuál es el límite de acumulación de inventarios conveniente y qué escasez se puede permitir, utilizando los inventarios para amortiguar las fluctuaciones de la demanda.

Si la competencia es excesiva, puede acarrear serios problemas a la empresa que adopte esta opción, puesto que puede perder ventas actuales y futuras. Es difícil medir los costos de esta opción en el momento actual, pero disminuir servicio al cliente se verá plasmado drásticamente en las utilidades futuras.

etc., que por considerar a su organización prestigiosa, desechan demanda que no está de acuerdo con las pretensiones impuestas por la organización.

Al igual que en la opción anterior, en las organizaciones industriales de sectores altamente competitivos los costos por agotamiento del inventario reflejan la reducción de la es-

h) Subcontratación

No contar con la suficiente capacidad instalada para hacer frente a un incremento de la demanda hace que las empresas recurran a la opción de contratar a otra industria del ramo para que fabrique una determinada cantidad de productos durante un cierto período de tiempo, logrando de esta manera adquirir capacidad temporal. Esta decisión deriva en un costo de subcontratación, que es el precio que una empresa paga a otra para que fabriquen las unidades de productos que necesita. Ese precio puede ser mayor o menor que el costo resultante de producirlo internamente.

Esta alternativa puede referirse al producto terminado, así como también a algunos de sus componentes. Esta opción tiene algunas ventajas, tales como no realizar inversiones adicionales por falta de capacidad, evitar la sobreutilización del equipo fijo, no incurrir en nuevas contrataciones o posteriores despidos, horas extra; no poseyendo impedimentos legales ni de convenio.

i) Capacidad compartida

Para hacer frente a distintas funciones se suele contar con personal flotante capacitado y, de esta manera, cubrir puestos según se presenten las necesidades de capacidad. Es una alternativa que se puede ejecutar dentro de la misma empresa o fuera de ella. Se transfieren empleados de un área a otra, previo entrenamiento, incrementando la capacidad en el sector que la necesita.

Puede efectuarse entre distintas sucursales, transfiriéndose mano de obra con el fin de aprovechar el incremento de demanda y no perder ventas, o bien puede ser que dos or-

trategia de servicios a los clientes y se manifiesta en la pérdida de prestigio ante los usuarios y la posible pérdida de ventas futuras.

Si bien la subcontratación soluciona un problema en una situación donde hay fluctuaciones de demanda, se deben analizar los riesgos que derivan de esta opción, tales como:

- La probabilidad de perder clientes, porque los adquiere la empresa que se subcontrata, lo cual hace necesario una sólida confianza con la empresa a contratar.
- Poco control sobre el proceso productivo y, por lo tanto, sobre la calidad del producto fabricado, sobre los tiempos de entrega y de cumplimiento hacia el cliente.
- Disponibilidad de empresas a subcontratar en el medio.
- Costos adicionales por el margen de beneficio a obtener por la empresa subcontratada.

Esta opción es considerada como una estrategia de alto riesgo.

organizaciones intercambien clientes entre sí cuando agotan su capacidad.

Vistas las posibles alternativas de capacidad a mediano plazo que posee una organización, para hacer frente a demandas que fluctúan en distintos períodos de tiempo, vemos que no siempre pueden implementarse fácilmente debido a factores que limitan su accionar:

- Si una industria produce bienes perecederos no puede utilizar la acumulación de inventario como alternativa para nivelar la producción.

- Si se necesita personal altamente calificado y el mercado laboral no lo proporciona, no se puede utilizar la alternativa de despidos y contrataciones.
- Una organización de servicio no puede utilizar la opción de lista de espera o pedidos pendientes con demasiada frecuencia si existe capacidad en exceso en la competencia, porque corre el riesgo de perder a sus clientes.

Todo lo mencionado anteriormente para la planeación agregada en el sector manufacturero es de aplicación similar en el sector servicios. Dadas las características propias de los servicios, al planificar se deben adaptar las alternativas, adecuándolas en cada caso, llevando a cabo una combinación en las opciones de estrategia.

La planeación agregada, en este tipo de organizaciones, prácticamente es un sinónimo de los presupuestos y de la planeación de personal por lo que se suele denominar **plan de personal (Staffing Plan)**.

La mano de obra resulta vital para el desarrollo y la prestación del servicio, por lo que la planeación agregada de operaciones está enfocada generalmente a determinar la plantilla del personal y el control de sus costos, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Contar con mano de obra flexible que permita, cuando está disponible, reasignarla en otros puestos de trabajo. Así como también respecto de las variaciones de las horas de trabajo cuando se incrementa la demanda.
- Planificar acertadamente las horas de trabajo para asegurar satisfacer la demanda con respuesta rápida.
- Contar con mano de obra eventual cuando se presenta demanda no prevista.

Cuando se planean los niveles de capacidad en los sistemas de servicios, los gerentes de producción se encuentran que al no poseer inventarios de productos terminados que actúen como amortiguador entre la capacidad

del sistema y la demanda de los clientes, y al no contar con un patrón de demanda uniforme, deben usar distintas alternativas que permitan disminuir la diferencia entre la tasa variable de la demanda y la tasa constante de la producción.

La demanda en este sector no es uniforme, lo que provoca que se busque manipularla y hacerla más uniforme, mediante el uso de las alternativas mencionadas precedentemente.

Hay organizaciones que determinan algunas formas de incentivos para los períodos que baja la demanda o períodos fuera de pico, tal es el caso de las empresas telefónicas que ofrecen tarifas reducidas por llamados que se efectúan a determinadas horas.

También se utilizan programas de citas y los programas fijos como tácticas para uniformar la demanda. Generalmente los profesionales de la salud, abogados, contadores y profesores programan con anticipación citas con sus clientes para evitar el tiempo de espera en la prestación del servicio requerido y de esta manera mantener una capacidad de producción uniforme.

Debido a sus características hay organizaciones que poseen programas de operaciones en donde los clientes deben ajustar su demanda a los programas de las empresas, tal es el caso de los servicios de aerolíneas.

Aunque estas medidas de flexibilizar las operaciones de servicios, tratando de satisfacer la demanda volátil, de alguna manera mejoran la prestación de las operaciones parcialmente, puesto que la demanda sigue siendo no uniforme.

Entonces, ¿qué estrategia debe adoptar la empresa? La alternativa adecuada para una organización, ya sea manufacturera o de servicio, depende de cuál es la que mejor se adapte a ella en cuanto a necesidades de capacidad, costos relativos a cada una de las operaciones utilizadas y cuál es su situación competitiva en el mercado.

17.6. Opciones para desarrollar un plan agregado

Las áreas funcionales de una organización que aportan insumos para el plan agregado suelen tener objetivos opuestos que rivalizan por el uso de los recursos de la organización. Podemos mencionar algunos de los objetivos a considerar durante el desarrollo de un plan de producción: **minimizar** cambios en las tasas de producción, cambios en los niveles de inventarios, inversión en inventario, costos, cambios en los niveles de la fuerza de trabajo; **maximizar** la utilización de la planta y equipo, ganancias, servicios al cliente.

Se debe establecer un equilibrio entre estos objetivos con la finalidad de obtener un plan agregado aceptable, considerando diversas acciones. Estas pueden ser: **reactivas (o pasivas)** y **agresivas (o activas)**.

Las acciones **reactivas** son aquellas tendencias a atender los requerimientos de la demanda, por lo que la organización buscará adaptarse y satisfacerla mediante opciones tales como: modificar las horas extra, los niveles de la fuerza de trabajo, los niveles de inventarios, la subcontratación, la programación de vacaciones, etc.

Por el contrario, las acciones **agresivas** son las que intentan modificar la demanda.

Por ejemplo, si queremos aumentar la demanda, en aquellos periodos en que es inferior a la capacidad de la firma, y disminuirla cuando ocurra lo contrario, debemos implementar acciones comerciales, tales como: promoción, disminución de precios, generación de nuevos productos, servir con retraso.

Generalmente los gerentes combinan acciones reactivas y agresivas en diversas formas, y su aplicación conlleva a la determinación de la estrategia a utilizar.

Dos estrategias muy diferentes, la estrategia de **caza** y la estrategia de **nivelación**, son útiles como punto de partida para la búsqueda del mejor plan.

Ajustarse a la demanda es la finalidad de una estrategia de caza. Se persigue que la producción planificada satisfaga las necesidades período a período, valiéndose de contrataciones, despidos, subcontratación, horas extra, etc. La ventaja de esta alternativa es que se mantienen niveles bajos de inventarios y se consigue flexibilidad a los cambios de la demanda. Lo negativo es la inestabilidad que genera en la producción originando gastos por el ajuste continuo de los niveles de fuerza de trabajo, posibles distanciamiento de los trabajadores y pérdida de productividad y calidad como consecuencia de los cambios en la fuerza de trabajo.

En una estrategia de nivelación se persigue mantener constante la mano de obra o una tasa de producción estable durante el período. En el primer caso, mantener constante la mano de obra, lo fundamental es dejar invariable la producción regular por período. Para hacer frente a variaciones en las necesidades, la producción total puede cambiar usando horarios reducidos durante los periodos de menor actividad, utilizando horas extra para los periodos de máxima actividad y empleando subcontratistas, cuando se requiera para cubrir las necesidades adicionales.

En el segundo caso, conservar una tasa de producción constante, es fundamental mantener inalterable la producción total por período. Las variaciones en las necesidades se absorben programando los periodos de vacaciones para que coincidan con las épocas de menor actividad, realizando previsión de inventarios, planificando las horas extra para mantener una tasa de producción nivelada, permitiendo los atrasos en las órdenes para ajustar las fechas de programación según los requerimientos de producción.

Cuando se utilizan por sí solas estrategias de caza y de nivelación difícilmente se logre el mejor de los planes agregados. Se obtienen mejores resultados si se consideran planes que no impliquen estrategias puras. Lo más

adecuado es utilizar una estrategia **mixta** en la cual se aplique una gama de alternativas reactivas y que vaya más allá de una estrategia de caza o de nivelación en forma **pura**.

Podemos definir como **estrategias puras** a aquellas que actúan sobre una sola variable, por ejemplo, contratar, despedir, subcontratar, etc.

17.7. Técnicas para la planeación agregada

La planeación agregada refleja cómo los sistemas de producción logran los objetivos planeados por la organización, haciendo un uso adecuado de los recursos disponibles mientras se satisfacen restricciones de la demanda agregada.

Para la confección de un plan agregado se han desarrollado distintos métodos, siendo algunos de más fácil aplicación que otros, así como también algunos métodos optimizan y otros son aproximaciones al óptimo.

17.7.1. Modelos matemáticos

En la elaboración de un plan agregado la aplicación de las técnicas de programación matemática resulta óptima en la medida en que el planteamiento del modelo se acerque a la realidad del sistema de producción.

En la práctica, resulta difícil debido a los innumerables factores que intervienen, muchos

de ellos cambiantes, y que necesitan ser ajustados continuamente, ya sean los modelos matemáticos como los intuitivos o de prueba-error, por lo que estas técnicas sirven como base para luego desarrollar planes alternativos que lo mejoren y lo acerquen a las condiciones reales.

- Las principales técnicas de planeación son:
- Modelos matemáticos:
 - Programación lineal:
 - General.
 - Transporte.
 - Modelo de coeficiente administrativo.
 - Reglas lineales de decisión.
 - Simulación.
 - Método gráfico y cuadros (técnica prueba-error).

a) Programación lineal

1. General

La **programación lineal** es uno de los modelos matemáticos más utilizados. Autores varios, como BOWMAN (1956), MANNE (1958), SHWINTER (1972), GOLDBERG (1975), BITRON-HAX (1977), CANDEA (1977), BAKER y COLLINS (1986) han realizado importantes aportes en su aplicación.

La programación lineal busca minimizar los costos derivados de la mano de obra regular, horas extra, contrataciones y despidos, inventarios y retrasos.

Para ello se plantea una función objetivo a optimizar, que está relacionada con las restricciones que poseen cada uno de los recursos a utilizar para satisfacer la demanda agregada.

Ejemplo

A modo de ejemplo vemos cómo una fábrica de bicicletas de carrera tiene que determinar cuánto producir en cada uno de los trimestres del próximo año, para cumplir a tiempo con la demanda prevista.

La demanda agregada durante cada uno de los trimestres del año es:

Primer trimestre:	40 bicicletas
Segundo trimestre:	60 bicicletas
Tercer trimestre:	75 bicicletas
Cuarto trimestre:	25 bicicletas

La empresa al principio del primer trimestre cuenta con un inventario de 10 bicicletas, y al comienzo de cada trimestre debe determinar la cantidad de unidades a producir en el mismo, estableciendo que la fabricación en un período de análisis sirve para satisfacer la demanda de ese período.

Por la capacidad instalada en la planta industrial se sabe que durante cada trimestre se puede fabricar hasta 40 bicicletas en el tiempo regular de trabajo a un costo total de \$ 400 por bicicleta.

Si la demanda en un período resultara mayor a la prevista, la empresa puede decidir fabricar más bicicletas, pero para ello necesita recurrir al empleo de horas extra durante un trimestre a un costo total de \$ 450 por bicicleta.

Al final de cada trimestre se presentan los costos de mantenimiento de inventario que son de \$ 20 por bicicleta.

Ante la problemática presentada la empresa determina un programa de producción para minimizar la suma de los costos de producción y de inventario para los cuatro trimestres mediante el uso de la programación lineal.

Lo primero a determinar es el número de bicicletas a fabricar en cada uno de los trimestres mediante trabajo en tiempo normal y en tiempo extra.

Es necesario definir cuáles son las variables de decisión que se utilizan en la programación, por lo que definimos las siguientes:

x_t = Bicicletas producidas con trabajo en tiempo normal (a \$ 400 por bicicleta) en el trimestre t , donde $t = 1, 2, 3, 4$

y_t = Bicicletas producidas con trabajo en tiempo extra (a \$ 450 por bicicleta) en el trimestre t , donde $t = 1, 2, 3, 4$

e_t = Bicicletas en existencia final del trimestre t , donde $t = 1, 2, 3, 4$

La función objetivo será el costo total (CT) de la producción en tiempo regular, en tiempo extra y de mantenimiento de inventario.

$$\text{Min } z = \sum_{t=1}^n f(Cr_t, Ce_t, Cs_t) \quad \text{donde, } t = 1, 2, \dots, n$$

o sea

$$\text{Min } z = Cr_1x_1 + Cr_2x_2 + Cr_3x_3 + Cr_4x_4 + Ce_1y_1 + Ce_2y_2 + Ce_3y_3 + Ce_4y_4 + Cs_1e_1 + Cs_2e_2 + Cs_3e_3 + Cs_4e_4$$

Donde:

Cr_t = Costo del tiempo regular de trabajo por bicicleta $t = 1, 2, 3, 4$

Ce_t = Costo del tiempo extra por bicicleta $t = 1, 2, 3, 4$

Cs_t = Costo de mantenimiento de inventario por bicicleta $t = 1, 2, 3, 4$

La función de costo total a minimizar sería:

$$\text{Min } z = 400x_1 + 400x_2 + 400x_3 + 400x_4 + 450y_1 + 450y_2 + 450y_3 + 450y_4 + 20e_1 + 20e_2 + 20e_3 + 20e_4$$

Si d_t es la demanda durante el período t , entonces $d_1 = 40$; $d_2 = 60$; $d_3 = 75$ y $d_4 = 25$ bicicletas, podemos decir que el inventario final para cada trimestre puede expresarse de la forma:

$$\text{Inventario final del trimestre } t = \text{Inventario final del trimestre } (t-1) + \text{producción del trimestre } t - \text{demanda en el trimestre } t$$

Lo que es igual a:

$$e_t = e(t-1) + (x_t + y_t) - d_t \quad \text{siendo } (t = 1, 2, 3, 4) \quad (1)$$

Esta ecuación relaciona las variables de decisión asociadas a diferentes períodos de tiempo.

En la formulación de problemas de programación lineal de múltiples períodos, normalmente es complicado encontrar la relación de las variables de decisión en distintos períodos.

La demanda en el período t será satisfecha a tiempo, si y sólo si $e_t \geq 0$; y si vemos que se tiene $e_t - 1 + (x_t + y_t)$ para cumplir con la demanda en el período t , entonces se cumplirá con la demanda en un dicho período si y sólo si:

$$e_t - 1 + (x_t + y_t) \geq d_t \quad \text{o} \quad e_t = e_t - 1 + (x_t + y_t) - d_t \geq 0$$

Esto significa que las restricciones $e_t \geq 0$ ($t = 1, 2, 3, 4$) aseguran el cumplimiento de la demanda en cada trimestre.

Para armar el conjunto de restricciones del problema, primeramente usamos las cuatro restricciones relacionadas al uso del tiempo normal para asegurar que la producción en cada período no sea mayor que 40, quedando $x_1, x_2, x_3, x_4 \leq Pr_t$

Siendo Pr_t = producción en tiempo normal para ($t = 1, 2, 3, 4$)

Luego se añaden las restricciones de la forma (1) para cada período de tiempo t ($t = 1, 2, 3, 4$) y se arman las cuatro restricciones siguientes:

$$e_1 = 10 + x_1 + y_1 - 40 \\ e_2 = e_1 + x_2 + y_2 - 60$$

2. Resolución por método Simplex

Elementos utilizados en las siguientes grillas y su correspondencia con respecto a la terminología usada en el ejercicio planteado:

$P_1; P_2; P_3; P_4$ Son los vectores asociados a $x_1; x_2; x_3; x_4$ respectivamente

$$e_3 = e_2 + x_3 + y_3 - 75 \\ e_4 = e_3 + x_4 + y_4 - 25$$

Se agregan las restricciones:

$x_t \geq 0$ Para evitar niveles de producción negativo de inventario

$y_t \geq 0$ Para evitar niveles de producción negativo de inventario

$e_t \geq 0$ Para asegurar el cumplimiento de la demanda de cada trimestre a tiempo

Por lo que se obtiene:

$$\text{Min } z = 400x_1 + 400x_2 + 400x_3 + 400x_4 + 450y_1 + 450y_2 + 450y_3 + 450y_4 + 20e_1 + 20e_2 + 20e_3 + 20e_4$$

Sujeto a las siguientes restricciones:

$$x_1 \leq 40; x_2 \leq 40; x_3 \leq 40; x_4 \leq 40 \\ e_1 = 10 + x_1 + y_1 - 40 \\ e_2 = e_1 + x_2 + y_2 - 60 \\ e_3 = e_2 + x_3 + y_3 - 75 \\ e_4 = e_3 + x_4 + y_4 - 25$$

O lo que es igual:

$$x_1 + y_1 - e_1 = 30 \\ x_2 + y_2 + e_1 - e_2 = 60 \\ x_3 + y_3 + e_2 - e_3 = 75 \\ x_4 + y_4 + e_3 - e_4 = 25 \\ x_1 + o_1 = 40 \\ x_2 + o_2 = 40 \\ x_3 + o_3 = 40 \\ x_4 + o_4 = 40$$

con $e_t \geq 0$; $x_t \geq 0$; $y_t \geq 0$ para un ($t = 1, 2, 3, 4$)

siendo o_t la capacidad no utilizada u ociosidad

$P_5; P_6; P_7; P_8$ Son los vectores asociados a $y_1; y_2; y_3; y_4$ respectivamente

$P_9; P_{10}; P_{11}; P_{12}$ Son los vectores asociados a $e_1; e_2; e_3; e_4$ respectivamente

$P_{13}; P_{14}; P_{15}; P_{16}$ Son los vectores asociados a $o_1; o_2; o_3; o_4$ respectivamente

Base	C	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₁₅	P ₁₆	P ₁₇	P ₁₈	P ₁₉	P ₂₀	P ₂₁	P ₂₂	P ₂₃	P ₂₄	P ₂₅	P ₂₆	P ₂₇	P ₂₈	P ₂₉	P ₃₀	P ₃₁	P ₃₂	P ₃₃	P ₃₄	P ₃₅	P ₃₆	P ₃₇	P ₃₈	P ₃₉	P ₄₀	P ₄₁	P ₄₂	P ₄₃	P ₄₄	P ₄₅	P ₄₆	P ₄₇	P ₄₈	P ₄₉	P ₅₀	P ₅₁	P ₅₂	P ₅₃	P ₅₄	P ₅₅	P ₅₆	P ₅₇	P ₅₈	P ₅₉	P ₆₀	P ₆₁	P ₆₂	P ₆₃	P ₆₄	P ₆₅	P ₆₆	P ₆₇	P ₆₈	P ₆₉	P ₇₀	P ₇₁	P ₇₂	P ₇₃	P ₇₄	P ₇₅	P ₇₆	P ₇₇	P ₇₈	P ₇₉	P ₈₀	P ₈₁	P ₈₂	P ₈₃	P ₈₄	P ₈₅	P ₈₆	P ₈₇	P ₈₈	P ₈₉	P ₉₀	P ₉₁	P ₉₂	P ₉₃	P ₉₄	P ₉₅	P ₉₆	P ₉₇	P ₉₈	P ₉₉	P ₁₀₀	P ₁₀₁	P ₁₀₂	P ₁₀₃	P ₁₀₄	P ₁₀₅	P ₁₀₆	P ₁₀₇	P ₁₀₈	P ₁₀₉	P ₁₁₀	P ₁₁₁	P ₁₁₂	P ₁₁₃	P ₁₁₄	P ₁₁₅	P ₁₁₆	P ₁₁₇	P ₁₁₈	P ₁₁₉	P ₁₂₀	P ₁₂₁	P ₁₂₂	P ₁₂₃	P ₁₂₄	P ₁₂₅	P ₁₂₆	P ₁₂₇	P ₁₂₈	P ₁₂₉	P ₁₃₀	P ₁₃₁	P ₁₃₂	P ₁₃₃	P ₁₃₄	P ₁₃₅	P ₁₃₆	P ₁₃₇	P ₁₃₈	P ₁₃₉	P ₁₄₀	P ₁₄₁	P ₁₄₂	P ₁₄₃	P ₁₄₄	P ₁₄₅	P ₁₄₆	P ₁₄₇	P ₁₄₈	P ₁₄₉	P ₁₅₀	P ₁₅₁	P ₁₅₂	P ₁₅₃	P ₁₅₄	P ₁₅₅	P ₁₅₆	P ₁₅₇	P ₁₅₈	P ₁₅₉	P ₁₆₀	P ₁₆₁	P ₁₆₂	P ₁₆₃	P ₁₆₄	P ₁₆₅	P ₁₆₆	P ₁₆₇	P ₁₆₈	P ₁₆₉	P ₁₇₀	P ₁₇₁	P ₁₇₂	P ₁₇₃	P ₁₇₄	P ₁₇₅	P ₁₇₆	P ₁₇₇	P ₁₇₈	P ₁₇₉	P ₁₈₀	P ₁₈₁	P ₁₈₂	P ₁₈₃	P ₁₈₄	P ₁₈₅	P ₁₈₆	P ₁₈₇	P ₁₈₈	P ₁₈₉	P ₁₉₀	P ₁₉₁	P ₁₉₂	P ₁₉₃	P ₁₉₄	P ₁₉₅	P ₁₉₆	P ₁₉₇	P ₁₉₈	P ₁₉₉	P ₂₀₀	P ₂₀₁	P ₂₀₂	P ₂₀₃	P ₂₀₄	P ₂₀₅	P ₂₀₆	P ₂₀₇	P ₂₀₈	P ₂₀₉	P ₂₁₀	P ₂₁₁	P ₂₁₂	P ₂₁₃	P ₂₁₄	P ₂₁₅	P ₂₁₆	P ₂₁₇	P ₂₁₈	P ₂₁₉	P ₂₂₀	P ₂₂₁	P ₂₂₂	P ₂₂₃	P ₂₂₄	P ₂₂₅	P ₂₂₆	P ₂₂₇	P ₂₂₈	P ₂₂₉	P ₂₃₀	P ₂₃₁	P ₂₃₂	P ₂₃₃	P ₂₃₄	P ₂₃₅	P ₂₃₆	P ₂₃₇	P ₂₃₈	P ₂₃₉	P ₂₄₀	P ₂₄₁	P ₂₄₂	P ₂₄₃	P ₂₄₄	P ₂₄₅	P ₂₄₆	P ₂₄₇	P ₂₄₈	P ₂₄₉	P ₂₅₀	P ₂₅₁	P ₂₅₂	P ₂₅₃	P ₂₅₄	P ₂₅₅	P ₂₅₆	P ₂₅₇	P ₂₅₈	P ₂₅₉	P ₂₆₀	P ₂₆₁	P ₂₆₂	P ₂₆₃	P ₂₆₄	P ₂₆₅	P ₂₆₆	P ₂₆₇	P ₂₆₈	P ₂₆₉	P ₂₇₀	P ₂₇₁	P ₂₇₂	P ₂₇₃	P ₂₇₄	P ₂₇₅	P ₂₇₆	P ₂₇₇	P ₂₇₈	P ₂₇₉	P ₂₈₀	P ₂₈₁	P ₂₈₂	P ₂₈₃	P ₂₈₄	P ₂₈₅	P ₂₈₆	P ₂₈₇	P ₂₈₈	P ₂₈₉	P ₂₉₀	P ₂₉₁	P ₂₉₂	P ₂₉₃	P ₂₉₄	P ₂₉₅	P ₂₉₆	P ₂₉₇	P ₂₉₈	P ₂₉₉	P ₃₀₀	P ₃₀₁	P ₃₀₂	P ₃₀₃	P ₃₀₄	P ₃₀₅	P ₃₀₆	P ₃₀₇	P ₃₀₈	P ₃₀₉	P ₃₁₀	P ₃₁₁	P ₃₁₂	P ₃₁₃	P ₃₁₄	P ₃₁₅	P ₃₁₆	P ₃₁₇	P ₃₁₈	P ₃₁₉	P ₃₂₀	P ₃₂₁	P ₃₂₂	P ₃₂₃	P ₃₂₄	P ₃₂₅	P ₃₂₆	P ₃₂₇	P ₃₂₈	P ₃₂₉	P ₃₃₀	P ₃₃₁	P ₃₃₂	P ₃₃₃	P ₃₃₄	P ₃₃₅	P ₃₃₆	P ₃₃₇	P ₃₃₈	P ₃₃₉	P ₃₄₀	P ₃₄₁	P ₃₄₂	P ₃₄₃	P ₃₄₄	P ₃₄₅	P ₃₄₆	P ₃₄₇	P ₃₄₈	P ₃₄₉	P ₃₅₀	P ₃₅₁	P ₃₅₂	P ₃₅₃	P ₃₅₄	P ₃₅₅	P ₃₅₆	P ₃₅₇	P ₃₅₈	P ₃₅₉	P ₃₆₀	P ₃₆₁	P ₃₆₂	P ₃₆₃	P ₃₆₄	P ₃₆₅	P ₃₆₆	P ₃₆₇	P ₃₆₈	P ₃₆₉	P ₃₇₀	P ₃₇₁	P ₃₇₂	P ₃₇₃	P ₃₇₄	P ₃₇₅	P ₃₇₆	P ₃₇₇	P ₃₇₈	P ₃₇₉	P ₃₈₀	P ₃₈₁	P ₃₈₂	P ₃₈₃	P ₃₈₄	P ₃₈₅	P ₃₈₆	P ₃₈₇	P ₃₈₈	P ₃₈₉	P ₃₉₀	P ₃₉₁	P ₃₉₂	P ₃₉₃	P ₃₉₄	P ₃₉₅	P ₃₉₆	P ₃₉₇	P ₃₉₈	P ₃₉₉	P ₄₀₀	P ₄₀₁	P ₄₀₂	P ₄₀₃	P ₄₀₄	P ₄₀₅	P ₄₀₆	P ₄₀₇	P ₄₀₈	P ₄₀₉	P ₄₁₀	P ₄₁₁	P ₄₁₂	P ₄₁₃	P ₄₁₄	P ₄₁₅	P ₄₁₆	P ₄₁₇	P ₄₁₈	P ₄₁₉	P ₄₂₀	P ₄₂₁	P ₄₂₂	P ₄₂₃	P ₄₂₄	P ₄₂₅	P ₄₂₆	P ₄₂₇	P ₄₂₈	P ₄₂₉	P ₄₃₀	P ₄₃₁	P ₄₃₂	P ₄₃₃	P ₄₃₄	P ₄₃₅	P ₄₃₆	P ₄₃₇	P ₄₃₈	P ₄₃₉	P ₄₄₀	P ₄₄₁	P ₄₄₂	P ₄₄₃	P ₄₄₄	P ₄₄₅	P ₄₄₆	P ₄₄₇	P ₄₄₈	P ₄₄₉	P ₄₅₀	P ₄₅₁	P ₄₅₂	P ₄₅₃	P ₄₅₄	P ₄₅₅	P ₄₅₆	P ₄₅₇	P ₄₅₈	P ₄₅₉	P ₄₆₀	P ₄₆₁	P ₄₆₂	P ₄₆₃	P ₄₆₄	P ₄₆₅	P ₄₆₆	P ₄₆₇	P ₄₆₈	P ₄₆₉	P ₄₇₀	P ₄₇₁	P ₄₇₂	P ₄₇₃	P ₄₇₄	P ₄₇₅	P ₄₇₆	P ₄₇₇	P ₄₇₈	P ₄₇₉	P ₄₈₀	P ₄₈₁	P ₄₈₂	P ₄₈₃	P ₄₈₄	P ₄₈₅	P ₄₈₆	P ₄₈₇	P ₄₈₈	P ₄₈₉	P ₄₉₀	P ₄₉₁	P ₄₉₂	P ₄₉₃	P ₄₉₄	P ₄₉₅	P ₄₉₆	P ₄₉₇	P ₄₉₈	P ₄₉₉	P ₅₀₀	P ₅₀₁	P ₅₀₂	P ₅₀₃	P ₅₀₄	P ₅₀₅	P ₅₀₆	P ₅₀₇	P ₅₀₈	P ₅₀₉	P ₅₁₀	P ₅₁₁	P ₅₁₂	P ₅₁₃	P ₅₁₄	P ₅₁₅	P ₅₁₆	P ₅₁₇	P ₅₁₈	P ₅₁₉	P ₅₂₀	P ₅₂₁	P ₅₂₂	P ₅₂₃	P ₅₂₄	P ₅₂₅	P ₅₂₆	P ₅₂₇	P ₅₂₈	P ₅₂₉	P ₅₃₀	P ₅₃₁	P ₅₃₂	P ₅₃₃	P ₅₃₄	P ₅₃₅	P ₅₃₆	P ₅₃₇	P ₅₃₈	P ₅₃₉	P ₅₄₀	P ₅₄₁	P ₅₄₂	P ₅₄₃	P ₅₄₄	P ₅₄₅	P ₅₄₆	P ₅₄₇	P ₅₄₈	P ₅₄₉	P ₅₅₀	P ₅₅₁	P ₅₅₂	P ₅₅₃	P ₅₅₄	P ₅₅₅	P ₅₅₆	P ₅₅₇	P ₅₅₈	P ₅₅₉	P ₅₆₀	P ₅₆₁	P ₅₆₂	P ₅₆₃	P ₅₆₄	P ₅₆₅	P ₅₆₆	P ₅₆₇	P ₅₆₈	P ₅₆₉	P ₅₇₀	P ₅₇₁	P ₅₇₂	P ₅₇₃	P ₅₇₄	P ₅₇₅	P ₅₇₆	P ₅₇₇	P ₅₇₈	P ₅₇₉	P ₅₈₀	P ₅₈₁	P ₅₈₂	P ₅₈₃	P ₅₈₄	P ₅₈₅	P ₅₈₆	P ₅₈₇	P ₅₈₈	P ₅₈₉	P ₅₉₀	P ₅₉₁	P ₅₉₂	P ₅₉₃	P ₅₉₄	P ₅₉₅	P ₅₉₆	P ₅₉₇	P ₅₉₈	P ₅₉₉	P ₆₀₀	P ₆₀₁	P ₆₀₂	P ₆₀₃	P ₆₀₄	P ₆₀₅	P ₆₀₆	P ₆₀₇	P ₆₀₈	P ₆₀₉	P ₆₁₀	P ₆₁₁	P ₆₁₂	P ₆₁₃	P ₆₁₄	P ₆₁₅	P ₆₁₆	P ₆₁₇	P ₆₁₈	P ₆₁₉	P ₆₂₀	P ₆₂₁	P ₆₂₂	P ₆₂₃	P ₆₂₄	P ₆₂₅	P ₆₂₆	P ₆₂₇	P ₆₂₈	P ₆₂₉	P ₆₃₀	P ₆₃₁	P ₆₃₂	P ₆₃₃	P ₆₃₄	P ₆₃₅	P ₆₃₆	P ₆₃₇	P ₆₃₈	P ₆₃₉	P ₆₄₀	P ₆₄₁	P ₆₄₂	P ₆₄₃	P ₆₄₄	P ₆₄₅	P ₆₄₆	P ₆₄₇	P ₆₄₈	P ₆₄₉	P ₆₅₀	P ₆₅₁	P ₆₅₂	P ₆₅₃	P ₆₅₄	P ₆₅₅	P ₆₅₆	P ₆₅₇	P ₆₅₈	P ₆₅₉	P ₆₆₀	P ₆₆₁	P ₆₆₂	P ₆₆₃	P ₆₆₄	P ₆₆₅	P ₆₆₆	P ₆₆₇	P ₆₆₈	P ₆₆₉	P ₆₇₀	P ₆₇₁	P ₆₇₂	P ₆₇₃	P ₆₇₄	P ₆₇₅	P ₆₇₆	P ₆₇₇	P ₆₇₈	P ₆₇₉	P ₆₈₀	P ₆₈₁	P ₆₈₂	P ₆₈₃	P ₆₈₄	P ₆₈₅	P ₆₈₆	P ₆₈₇	P ₆₈₈	P ₆₈₉	P ₆₉₀	P ₆₉₁	P ₆₉₂	P ₆₉₃	P ₆₉₄	P ₆₉₅	P ₆₉₆	P ₆₉₇	P ₆₉₈	P ₆₉₉	P ₇₀₀	P ₇₀₁	P ₇₀₂	P ₇₀₃	P ₇₀₄	P ₇₀₅	P ₇₀₆	P ₇₀₇	P ₇₀₈	P ₇₀₉	P ₇₁₀	P ₇₁₁	P ₇₁₂	P ₇₁₃	P ₇₁₄	P ₇₁₅	P ₇₁₆	P ₇₁₇	P ₇₁₈	P ₇₁₉	P ₇₂₀	P ₇₂₁	P ₇₂₂	P ₇₂₃	P ₇₂₄	P ₇₂₅	P ₇₂₆	P ₇₂₇	P ₇₂₈	P ₇₂₉	P ₇₃₀	P ₇₃₁	P ₇₃₂	P ₇₃₃	P ₇₃₄	P ₇₃₅	P ₇₃₆	P ₇₃₇	P ₇₃₈	P ₇₃₉	P ₇₄₀	P ₇₄₁	P ₇₄₂	P ₇₄₃	P ₇₄₄	P ₇₄₅	P ₇₄₆	P ₇₄₇	P ₇₄₈	P ₇₄₉	P ₇₅₀	P ₇₅₁	P ₇₅₂	P ₇₅₃	P ₇₅₄	P ₇₅₅	P ₇₅₆	P ₇₅₇	P ₇₅₈	P ₇₅₉	P ₇₆₀	P ₇₆₁	P ₇₆₂	P ₇₆₃	P ₇₆₄	P ₇₆₅	P ₇₆₆	P ₇₆₇	P ₇₆₈	P ₇₆₉	P ₇₇₀	P ₇₇₁	P ₇₇₂	P ₇₇₃	P ₇₇₄	P ₇₇₅	P ₇₇₆	P ₇₇₇	P ₇₇₈	P ₇₇₉	P ₇₈₀	P ₇₈₁	P ₇₈₂	P ₇₈₃	P ₇₈₄	P ₇₈₅	P ₇₈₆	P ₇₈₇	P ₇₈₈	P ₇₈₉	P ₇₉₀	P ₇₉₁	P ₇₉₂	P ₇₉₃	P ₇₉₄	P ₇₉₅	P ₇₉₆	P ₇₉₇	P ₇₉₈	P ₇₉₉	P ₈₀₀	P ₈₀₁	P ₈₀₂	P ₈₀₃	P ₈₀₄	P ₈₀₅	P ₈₀₆	P ₈₀₇	P ₈₀₈	P ₈₀₉	P ₈₁₀	P ₈₁₁	P ₈₁₂	P ₈₁₃	P ₈₁₄	P ₈₁₅	P ₈₁₆	P ₈₁₇	P ₈₁₈	P ₈₁₉	P ₈₂₀	P ₈₂₁	P ₈₂₂	P ₈₂₃	P ₈₂₄	P ₈₂₅	P ₈₂₆	P ₈₂₇	P ₈₂₈	P ₈₂₉	P ₈₃₀	P ₈₃₁	P ₈₃₂	P ₈₃₃	P ₈₃₄	P ₈₃₅	P ₈₃₆	P ₈₃₇	P ₈₃₈	P ₈₃₉	P ₈₄₀	P ₈₄₁	P ₈₄₂	P ₈₄₃	P ₈₄₄	P ₈₄₅	P ₈₄₆	P ₈₄₇	P ₈₄₈	P ₈₄₉	P ₈₅₀	P ₈₅₁	P ₈₅₂	P ₈₅₃	P ₈₅₄	P ₈₅₅	P ₈₅₆	P ₈₅₇	P ₈₅₈	P ₈₅₉	P ₈₆₀	P ₈₆₁	P ₈₆₂	P ₈₆₃	P ₈₆₄	P ₈₆₅	P ₈₆₆	P ₈₆₇	P ₈₆₈	P ₈₆₉	P ₈₇₀	P ₈₇₁	P ₈₇₂	P ₈₇₃	P ₈₇₄	P ₈₇₅	P ₈₇₆	P ₈₇₇	P ₈₇₈	P ₈₇₉	P ₈₈₀	P ₈₈₁	P ₈₈₂	P
------	---	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	---

La solución óptima para el problema es:

$$\begin{aligned}
 Z &= 78.450 \\
 x_1 &= x_2 = x_3 = 40 \\
 x_4 &= 25 \\
 y_1 &= 0 \\
 y_2 &= 10 \\
 y_3 &= 35 \\
 y_4 &= 0 \\
 e_1 &= 10 \\
 e_2 = e_3 = e_4 &= 0 \\
 o_1 &= 0 \\
 o_2 &= 0 \\
 o_3 &= 0 \\
 o_4 &= 15
 \end{aligned}$$

3. Transporte

El método de transporte es un problema particular de aplicación de programación lineal. La primera aplicación de este método se debió a E. H. BOWMAN en 1956 quien, basándose en una serie de hipótesis, procuró minimizar el costo total.

Este método supone (6):

- Que se dispone de un pronóstico de demanda para cada uno de los periodos.
- Que se posee un plan de nivel de mano de obra como fuerza de trabajo en tiempo regular.
- Que se conocen los límites de horas extra para cada periodo, así como también

A similar resolución se podría haber arribado a través de la herramienta provista junto con el software Excel denominado *solver*, que permite resolver, entre otros, problemas de programación lineal.

El costo mínimo obtenido en el programa es de \$ 78.450, debiendo producir 40 bicicletas con trabajo normal durante los trimestres 1, 2, 3, y 25 bicicletas en el trimestre 4.

También se deben fabricar 10 bicicletas en tiempo extra durante el trimestre 2, y 35 bicicletas en el trimestre 3.

Solamente habrá costos de inventario en el primer trimestre.

En el cap. 12 se desarrolló otro ejemplo de aplicación de la programación lineal.

la capacidad de subcontratación, si fuese necesario.

- Que todos los costos están relacionados linealmente con la cantidad de bienes producidos. Si se genera un cambio en el volumen de producción, genera un cambio en los costos.

Conociendo los niveles de la fuerza de trabajo, los límites de capacidad (disponibilidades), las cantidades pronosticadas de demanda (requerimientos), el nivel de inventario inicial y los costos para cada periodo del horizonte de planificación, se elabora una tabla como se muestra en la siguiente figura, correspondiente a un plan de producción en cuatro periodos de tiempo:

Producción por trimestre	Periodo de tiempo				Capacidad no utilizada	Capacidad total	
	1 ^{er}	2 ^{do}	3 ^{er}	4 ^{to}			
Inventario inicial	0	Cs	2Cs	3Cs	M	Io	
Tiempo regular	1er trimestre	Cr	Cr+Cs	Cr+2Cs	Cr+3Cs	0	P _{r1}
	2do trimestre	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	X ₂₄	X ₂₅	
Tiempo extra	1er trimestre	Ce	Ce+Cs	Ce+2Cs	Ce+3Cs	0	P _{e1}
	2do trimestre	X ₃₁	X ₃₂	X ₃₃	X ₃₄	X ₃₅	
Tiempo regular	3er trimestre	M	Cr	Cr+Cs	Cr+2Cs	0	P _{r2}
	4to trimestre	X ₄₁	X ₄₂	X ₄₃	X ₄₄	X ₄₅	
Tiempo extra	3er trimestre	M	Ce	Ce+Cs	Ce+2Cs	0	P _{e2}
	4to trimestre	X ₅₁	X ₅₂	X ₅₃	X ₅₄	X ₅₅	
Tiempo regular	1er trimestre	M	M	Cr	Cr+Cs	0	P _{r3}
	2do trimestre	X ₆₁	X ₆₂	X ₆₃	X ₆₄	X ₆₅	
Tiempo extra	1er trimestre	M	M	Ce	Ce+Cs	0	P _{e3}
	2do trimestre	X ₇₁	X ₇₂	X ₇₃	X ₇₄	X ₇₅	
Tiempo regular	3er trimestre	M	M	M	Cr	0	P _{r1}
	4to trimestre	X ₈₁	X ₈₂	X ₈₃	X ₈₄	X ₈₅	
Tiempo extra	3er trimestre	M	M	M	Ce	0	P _{e1}
	4to trimestre	X ₉₁	X ₉₂	X ₉₃	X ₉₄	X ₉₅	
Demanda	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄			

Cuadro 17.4. Plan de producción por método de transporte

Para la construcción de la tabla precedente se utiliza la siguiente información:

- CS_t** = Costo unitario de mantenimiento de inventario por periodo.
- Cr_t** = Costo unitario del tiempo regular por periodo.
- Ce_t** = Costo unitario del tiempo extra por periodo.
- Io** = Nivel de inventario inicial.
- Pr_t** = Producción en tiempo regular en el periodo t.

Pe_t = Producción en tiempo extra en el periodo t.

D_t = Demanda pronosticada para el periodo t.

O = Capacidad no utilizada/ociosidad.

Cada una de las celdas formadas en la tabla de disponibilidades/requerimientos (orígenes/destinos) se encuentra asociada a una variable de decisión X_{od} (7) que representa las unidades provenientes de un origen (en este caso trimestre de producción y tipo de tiempo de

(6) Adaptación KRAJEWSKY; RITZMAN, op. cit. en nota (2).

(7) X_{od}: o: origen, producción por trimestre; d: destino, demanda por trimestre.

producción) que atenderá los requerimientos de un destino (en este caso demanda de los distintos trimestres).

Este tipo de problema requiere como condición el balanceo, es decir, la sumatoria de los orígenes debe ser igual a la sumatoria de los destinos. En el problema del cuadro 17.5 la capacidad de producción excede a la demanda de ese período, por lo que se recurre a un destino ficticio que a su vez brinda información adicional: capacidad de producción no utilizada u ociosa.

Si la relación hubiese sido inversa, demanda mayor que capacidad de producción, no se requeriría un destino ficticio, sino un origen de este tipo que represente la cantidad de demanda que quedaría insatisfecha.

Fila primera: cantidad de inventario inicial para el momento actual y que puede utilizarse para satisfacer la demanda en cualquier trimestre del plan (x_{1t} , $t = 1, \dots, 5$)

Fila segunda: producción en tiempo regular en el primer trimestre y que también puede usarse para satisfacer la demanda en cualquier trimestre posterior del plan (x_{2t} , $t = 1, \dots, 5$)

Fila tercera: cantidad de producción en tiempo extra, como alternativa propuesta, para el primer trimestre y que puede satisfacer la demanda durante cualquier trimestre posterior del plan.

Fila cuarta a novena: igual procedimiento.

Fila décima: demanda pronosticada en cada trimestre de planeación. Si se desea poseer inventario al final del cuarto trimestre se adiciona a la demanda del período.

Columnas:

- Períodos de tiempo (cubos) que el plan de producción abarca. Los costos que aparecen en el primer período son del tiempo regular y extra. A partir del segundo período, al costo de producción correspondiente se agrega el costo de almacenamiento de los períodos que transcurren desde que se producen hasta que se consumen. Por ejemplo ($C_r + 2 C_s$) corres-

pondiente al período tercero y a la producción regular del primer trimestre.

- Capacidad no utilizada: con respecto al inventario inicial se asigna un costo lo suficientemente grande que sea desechado cuando se está optimizando. En las filas restantes el costo es cero porque no existe ningún tipo de penalización para esta situación. Los costos de no utilizar la capacidad son cero.
- Capacidad total disponible: la cantidad de productos que se puede fabricar en tiempo regular y en tiempo extra para satisfacer las necesidades de producción.

En las **celdas** internas compuestas por la intersección entre la producción en tiempo regular y extra en cada trimestre, se tratará de encontrar la cantidad de unidades a fabricar de manera que minimice el costo total y se respeten las restricciones de capacidad de inventario final y necesidades de producción.

- Los recuadros que aparecen en la esquina superior derecha de cada celda indican cuánto cuesta producir una unidad en el período, y en algunos casos se adiciona la unidad en inventario para su venta en un período futuro.
- Las celdas sombreadas en la parte inferior izquierdo de la tabla no son factibles para el plan. Se asignan costos arbitrariamente grandes para que el método, al tratar de minimizar los costos de fabricación, evite producir en esas fuentes.
- El método, en su afán de optimizar, elegirá las alternativas más económicas, y son aquellas en que los bienes se producen y se venden en el mismo período. Debido a las restricciones de capacidad no siempre se puede elegir.
- El costo unitario de manejo del inventario inicial, en el primer período, es igual a cero en función de decisiones tomadas al planificar.

Los datos del problema general de programación lineal se utilizan en el método de transporte, ver cuadro 17.5.

Producción por trimestre	Período de tiempo				Capacidad no utilizada	Capacidad total
	1 ^{ro}	2 ^{do}	3 ^{ro}	4 ^{to}		
Inventario inicial	0 10	20	40	60	1000	10
Tiempo regular	400 30	420 10	440	460	0	40
Tiempo extra	450	470	490	510	0	35
Tiempo regular	1000	400 40	420	440	0	40
Tiempo extra	1000	450 10	470	490	0	35
Tiempo regular	1000	1000	400 40	420	0	40
Tiempo extra	1000	1000	450 35	470	0	35
Tiempo regular	1000	1000	1000	400 25	0	40
Tiempo extra	1000	1000	1000	450 35	0	35
Demanda	40	60	75	25	110	

Cuadro 17.5. Resolución por método de transporte

Siendo la función de costo total a minimizar:

$$CT = (10.0) + (30.400) + (10.420) + (35.0) \\ + (40.400) + (10.450) + (25.0) + (40.400) \\ + (35.450) + (25.400) + (15.0) + (35.0)$$

$$\text{MinCT} = 0 + 12.000 + 4.200 + 0 + 16.000 \\ + 43.500 + 0 + 16.000 + 15.750 \\ + 10.000 + 0 + 0$$

$$\text{MinCT} = \$ 78.450$$

Se deben producir 40 bicicletas con trabajo normal durante los trimestres 1, 2, 3 y 25 bicicletas en el trimestre 4. Debiendo fabricar con tiempo extra 10 bicicletas en el trimestre 2 y 35 bicicletas en el trimestre 3.

El costo mínimo obtenido en el programa de producción es de \$ 78.450.

b) Modelos de coeficientes administrativos

Este modelo, aplicado por E. H. BOWMAN en 1963 parte de la experiencia y desempeño exitoso en las decisiones pasadas del administrador de la producción. Esas experiencias se utilizan como base para decisiones futuras mediante la aplicación de técnicas de regresión detallando la correspondencia entre variables, por ejemplo de demanda y mano de obra.

c) Reglas lineales de decisión

Esta técnica ⁽⁸⁾ fue desarrollada por CHARLES C. HOLT, FRANCO MODIGLIANI, JOHN E. MUTH y HERBERT SIMON en 1960 y se la conoce como la regla **HMMMS**. El modelo intenta especificar, a través de un conjunto de funciones cuadráticas de costo, el cálculo de la producción y el volumen de la mano de obra para un período de-

d) Simulación

Este modelo denominado **programación por simulación**, desarrollado por R. C. VERGIN (1966), emplea un procedimiento de búsqueda hasta encontrar la combinación que minimiza los costos relacionado con la tasa de producción y la cantidad de mano de obra.

Más tarde, TAUBERT (1968) denominará **regla de búsqueda** a un sistema muy similar donde a partir de un plan agregado con valores de producción regular, horas extra, subcontratación, etc., que satisfaga las necesidades de producción, realiza un análisis y determinación de los costos, luego continúa la búsqueda mediante otras combinaciones determinando sus costos.

El proceso de búsqueda continúa hasta que no se introducen mejoras en los costos, por lo que se elige la última combinación simulada. El inconveniente que presenta este mo-

Este modelo pretende reflejar correctamente el comportamiento de las distintas variables de producción involucradas en la toma de decisiones. Aunque esta técnica funciona bien en ciertos contextos, no se emplea con demasiada frecuencia; ya que una de las causas es la dificultad de los directivos para analizar los datos pasados y ajustar el modelo de regresión.

terminado, minimizando su costo total, así como también de las contrataciones y despídidos, horas extra e inventarios.

Encontrar este tipo de funciones en cada caso específico resulta un esfuerzo considerable, por lo que no es de fácil aplicación.

delo es la gran cantidad de alternativas a simular, lo que puede, a través del desarrollo de los medios informáticos llegar a ser un método apreciable en los planes agregados de producción.

La **investigación operativa**, a través de los años y con el incremento del uso de las computadoras, ha desarrollado la aplicación de varios métodos para la planeación agregada de la producción, buscando delinear planes de capacidad que permitan un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles para adecuarse y satisfacer la demanda agregada.

En la práctica de la administración de operaciones no es común el uso de estas técnicas matemáticas debido a la necesidad de conocimiento previo a su aplicación, pero no obstante es importante destacar que es una herramienta útil para la planificación.

17.7.2. Método gráfico y cuadros

Si bien este método no garantiza un plan de producción óptimo, su uso está ampliamente difundido por ser de fácil aplicación y sencillo de representar, utilizando hojas de cálculo para facilitar el proceso de decisión.

Este enfoque implica elaborar diferentes alternativas de planeación, incorporando mejoras para reducir los costos hasta llegar a un plan agregado aceptable. El proceso de evaluación de los planes alternativos permite a los planeadores comparar la demanda proyectada con la capacidad existente en planta.

A través de la aplicación de este método es factible:

- Obtener los datos de los registros, ya sea contables para costos o bien directamente del personal de gerencia.
- Determinar los requerimientos de demanda para cada período a analizar.
- Determinar cuál es la capacidad, medida en tiempo regular, tiempo extra y subcontratación para cada período.
- Determinar los costos de mano de obra, los costos de contratar y despedir perso-

nal, los costos de mantenimiento y agotamiento de inventario.

- Aplicar las políticas de la compañía con respecto a los inventarios y a la mano de obra.
- Exponer los planes alternativos y considerar sus costos totales.

Esta técnica no posee un proceso sistematizado para su elaboración, pero se sustenta en gráficos y tablas, que ordenan los datos para luego analizar sus resultados y seleccionar aquel que minimice los costos y sea compatible con las políticas de la organización.

A continuación se presenta un problema utilizando el método propuesto para su resolución:

Una empresa dedicada a la fabricación de pañales descartables debe lograr un plan de producción para el próximo semestre que le permita cubrir la demanda estimada por su departamento de comercialización y ventas a un mínimo costo.

La información suministrada por las diferentes áreas de la empresa, es:

PRESUPUESTO DE VENTAS (UNIDADES)

Tamaños/Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Total
Chico:	280	290	280	230	200	200	1.480
Mediano:	340	310	270	270	240	270	1.700
Grande:	600	690	700	480	300	350	3.120
Totales:	1.220	1.290	1.250	980	740	820	6.300

Cuadro 17.6. Información de comercialización

INVENTARIO INICIAL

Tamaños	Unidades
Chico:	40
Mediano:	60
Grande:	100
Totales:	200

Cuadro 17.7. Información de control de la producción

(8) HEIZER; RENDER, Dirección de la producción, Prentice Hall, 2001.

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Total
Días laborables	21	19	22	21	21	20	124

Inventario de seguridad:

% definido de la demanda del mes:

25

Otros datos:

Tiempo (hs) requerido para fabricar 1 unidad:

5

Horas disponibles de trabajo por día:

8

Finanzas:

Costo de mantenimiento de inventarios:

\$ 5,0

P/unid.

Costo del agotamiento de inventarios:

\$ 7,5

P/unid.

Costo de subcontratar:

\$ 80,0

P/unid.

Relaciones humanas:

No existen límites para la cantidad de horas extra.

Costo de contratación de un nuevo trabajador:

\$ 70,0

Costo de despido de un trabajador:

\$ 50,0

Costo de la hora normal de trabajo:

\$ 7,0

Costo de la hora extra de trabajo:

\$ 10,5

Cuadro 17.8. Otros datos

Gerencia general:

- Sólo se construirá el stock de seguridad con horas normales de trabajo.
- El stock de seguridad será considerado para el costo de mantenimiento de inventarios.
- Los pedidos no atendidos en un mes pasan como deuda del mes siguiente.

Analizaremos a continuación las diferentes estrategias de producción posibles para esta empresa a fin de determinar cuál es la más beneficiosa desde el punto de vista de costos, teniendo en cuenta que para esta etapa del análisis lo que se necesita es la información de la familia de pañales y no abierta por

tamaño, la que necesitaremos cuando confeccionemos el **PMP (plan maestro de producción)**.

Estrategias de producción:

- Producción exacta variando la fuerza laboral.
- Fuerza laboral constante y utilización de horas extra.
- Fuerza laboral constante con agotamiento de existencias e inventario variable.
- Fuerza laboral constante y subcontratación.
- Opción mixta: horas extra, subcontratación, producción exacta.

a) Producción exacta; fuerza laboral variada

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Total
Inventario inicial	200	324	341	323	250	216	
Demanda estimada	1.220	1.290	1.250	980	740	820	6.300
Días disponibles	21	19	22	21	21	20	124
Producción requerida	1.325	1.289	1.222	902	675	809	
Horas de producción requeridas	6.625	6.445	6.110	4.510	3.375	4.045	
Horas disponibles por trabajador	168	152	176	168	168	160	
Trabajadores requeridos	40	43	35	27	21	26	
Trabajadores contratados/desp.	0	3	-8	-8	-6	5	
Costo de contratación/despido	0	210	400	400	300	350	1.660
Costo de horas normales	47.040,0	45.752,0	43.120,0	31.752,0	24.696,0	29.120,0	221.480,0
Stock de seguridad requerido	305	323	313	245	185	205	
Inventario final	324	341	323	250	216	228	
Costo mantenimiento inventario	1.310,0	1.662,5	1.660,0	1.432,5	1.165,0	1.110,0	8.340,0
Costo total	48.350,0	47.624,5	45.180,0	33.584,5	26.161,0	30.580,0	231.480,0

Cuadro 17.9. Producción exacta, fuerza laboral variada

Comentarios: en esta opción el departamento de programación y control sólo ha debido determinar la necesidad de horas de trabajo por mes para cubrir exactamente la demanda y el stock de seguridad y de esa manera obtener la cantidad de trabajadores que se requieren en cada período, contratando y/o despidiendo según sea el caso.

Para una mejor comprensión de los resultados obtenidos en cada una de las alternativas expuestas se comenta brevemente los ítem que pueden presentar algún problema:

La **producción requerida** es la necesidad de producción en cada período analizado.

La producción requerida es igual a la demanda estimada más el stock de seguridad menos el inventario inicial.

Para enero sería $1.220 \text{ u} + 305 \text{ u} (1.120 \times 0,25) - 200 \text{ u} = 1.325 \text{ u}$.

Las **horas de producción requeridas** se obtienen multiplicando la producción requerida calculada en el período por el tiempo requerido para fabricar cada unidad de producto.

Para el mes de enero sería $1.325 \text{ u} \times 5 \text{ horas} = 6.625 \text{ horas}$.

Los **trabajadores requeridos** en cada período se calculan dividiendo las horas de producción requeridas por las horas disponibles por trabajador.

Para enero sería $6.625 \text{ horas} / 168 \text{ horas} = 39,43$ lo que es igual a 40 operarios (se aproxima por exceso).

Los **trabajadores a contratar** en un determinado período se determinan por la diferencia entre el número de trabajadores necesarios para dicho período y el anterior.

Para febrero es necesario contratar 3 trabajadores que viene dado por: cantidad de trabajadores necesarios para febrero menos la cantidad de trabajadores necesarios para enero (43 - 40).

La **cantidad de trabajadores despedidos** en un determinado período, se obtiene mediante la diferencia entre los trabajadores del período anterior y los necesarios para el período analizado.

En marzo es necesario despedir 8 operarios.

Horas normales para un determinado periodo: número de trabajadores por los días trabajados por las horas trabajadas.

Para enero sería 40 operarios x 21 días x 8 horas día: 6.720 horas normales.

El **costo de la variación** en la mano de obra se calcula multiplicando los respectivos costos unitarios por las correspondientes contrataciones y despidos.

En febrero se producen 3 contrataciones, por lo que su costo sería:

\$ 70 x 3 trabajadores = \$ 210.

En marzo se efectivizan 8 despidos y su costo estaría dado por:

\$ 50 x 8 trabajadores = \$ 400.

El **costo de horas normales** se determina multiplicando las horas normales del periodo por el costo de la hora normal de trabajo.

En enero sería: 6.720 horas x \$ 7 la hora = \$ 47.040.

El **inventario final** viene dado por el stock de seguridad más el excedente de producción.

En enero sería: 305 u + 19 u = 324 u.

Las unidades excedentes se obtienen: (horas de producción normal menos horas de producción requeridas) dividido por las horas para fabricar una unidad de producto.

En enero sería: (6.720 horas - 6.625 horas) / 5 horas = 19 unidades.

Para el **costo de mantenimiento de inventario** se utiliza la siguiente fórmula:

$((\text{Inventario inicial} + \text{Inventario final}) / 2) \times \text{costo unitario de mantenimiento}$.

Enero: $((200 \text{ u} + 324 \text{ u}) / 2) \times \$ 5 = \$ 1.310$.

b) Fuerza laboral constante; subcontratación

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Total
Inventario inicial	200	55	0	0	95	430	
Demanda estimada	1.220	1.290	1.250	980	740	820	6.300
Días disponibles	21	19	22	21	21	20	124
Horas disponibles por trabajador	168	152	176	168	168	160	992
Trabajadores disponibles	32	32	32	32	32	32	
Producción requerida	1.020	1.235	1.250	980	645	390	
Horas disponibles por trabajador	168	152	176	168	168	160	992
Trabajadores disponibles	32	32	32	32	32	32	
Horas disponibles	5.376	4.864	5.632	5.376	5.376	5.120	
Producción disponible	1.075	973	1.126	1.075	1.075	1.024	
Unidades por subcontratar	0	262	124	0	0	0	
Inventario final	55	0	0	95	430	634	
Costo de la subcontratación	0	20.960,0	9.920,0	0	0	0	30.880,0
Costo horas normales	37.632,0	34.048,0	39.424,0	37.632,0	37.632,0	35.840,0	222.208,0
Costo mantenimiento inventario	637,5	137,5	0	237,5	1.312,5	2.660,0	4.985,0
Costo total	38.269,5	55.145,5	49.344,0	37.869,5	38.944,5	38.500,0	258.073,0

Cuadro 17.10. Fuerza laboral constante, subcontratación

Comentarios: en esta opción, en el primer mes, obtenemos una determinada fuerza laboral que continúa constante para el resto de

los meses. La demanda que no logra cubrirse con producción normal se subcontrata a proveedores externos.

En enero se producen con horas normales 55 unidades en exceso a la demanda, las que se toman como inventario inicial de febrero para la determinación de la producción requerida o necesaria.

Con esta alternativa no se construye inventario de seguridad, ya que la gerencia ha determinado que sólo podrá construirse con trabajo en horas normales de la dotación de planta. Solamente se comentarán los ítem no vistos en la alternativa anterior.

Las **horas disponibles** se calculan multiplicando la cantidad de trabajadores necesarios del periodo por las horas disponibles por trabajador.

Para enero sería: 32 operarios x 168 horas / trabajador = 5.376 horas.

Para obtener la **producción disponible** se divide el total de horas disponibles por las horas necesarias para fabricar una unidad de producto.

Siendo para enero: 5.376 horas / 5 horas = 1.075 unidades.

Las **unidades a subcontratar** se obtienen por la diferencia entre la producción requerida y la disponible, teniendo en cuenta que se mantiene nivelada la mano de obra.

En febrero sería: 1.235 unidades - 973 unidades = 262 unidades a subcontratar.

El **costo de subcontratación** surge de multiplicar la cantidad de unidades a subcontratar por el costo del mismo, siendo para febrero: 262 unidades x \$ 80,0 por unidades = \$ 20.960,0.

c) Fuerza laboral constante; variación y agotamiento de inventario

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Total
Inventario inicial	200	55	-262	-386	-291	44	
Demanda estimada	1.220	1.290	1.250	980	740	820	6.300
Días disponibles	21	19	22	21	21	20	124
Horas disponibles por trabajador	168	152	176	168	168	160	992
Trabajadores disponibles	32	32	32	32	32	32	
Horas disponibles mes	5.376	4.864	5.632	5.376	5.376	5.120	
Producción disponible	1.075	973	1.126	1.075	1.075	1.024	
Inventario final	55	-262	-386	-291	44	248	
Costo horas normales	37.632,0	34.048,0	39.424,0	37.632,0	37.632,0	35.840,0	222.208,0
Costo pedidos pendientes	0	1.965,0	2.895,0	2.182,5	0	0	7.042,5
Costo mantenimiento inventario	637,5	137,5	0	0	110,0	730,0	1.615,0
Costo total	38.269,5	36.150,5	42.319,0	39.814,5	37.742,0	36.570,0	230.865,5

Cuadro 17.11. Fuerza laboral constante, variación y agotamiento de inventario

Comentarios: en esta opción se determina la dotación mediante el cálculo de la necesidad de horas del semestre dividida por las horas disponibles de un trabajador en el mismo periodo y se mantiene la dotación constante para los 6 meses analizados.

La demanda insatisfecha en un mes es trasladada como pedidos pendientes para el mes siguiente, por lo que se adiciona a la demanda de dicho mes.

En esta alternativa aparece el **costo de los pedidos pendientes**, que corresponde a las

unidades de producto que no se han fabricado en un determinado periodo y que se cumplimentarán en el siguiente.

Estos retrasos en satisfacer la demanda se producen debido a que el nivel establecido de mano de obra es inferior al que se necesitaría en el mes analizado.

En el caso de febrero, hay 262 unidades pendientes que multiplicadas por el costo unitario de agotamiento de inventario \$ 7,5 resulta \$ 1.965,0 de costo de pedidos pendientes.

Es necesario añadir que esta alternativa de trabajar con agotamiento de inventario trae aparejado una disminución del nivel de servicio al cliente.

d) Fuerza laboral constante; horas extra

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Total
Inventario inicial	200	0	0	0	28	296	
Demanda estimada	1.220	1.290	1.250	980	740	820	6.300
Días disponibles	21	19	22	21	21	20	124
Horas disponibles por trabajador	168	152	176	168	168	160	
Trabajadores disponibles	30	30	30	30	30	30	
Horas disponibles mes	5.040	4.560	5.280	5.040	5.040	4.800	
Producción disponible	1.008	912	1.056	1.008	1.008	960	
Producción requerida en horas extra	12	378	194	0	0	0	
Horas extra	60	1.890	970	0	0	0	
Inventario final	0	0	0	28	296	436	
Costo horas normales	35.280,0	31.920,0	36.960,0	35.280,0	35.280,0	33.600,0	20.8320,0
Costo horas extra	630,0	19.845,0	10.185,0	0	0	0	30.660,0
Costo mantenimiento inventario	500,0	0	0	70,0	810,0	1.830,0	3.210,0
Costo total	36.410,0	51.765,0	47.145,0	35.350,0	36.090,0	35.430,0	242.190,0

Cuadro 17.12. Fuerza laboral constante, horas extra

Comentarios: en esta opción se parte de una dotación calculada sobre la necesidad de enero y a partir de dicho mes se mantiene constante. La gerencia no ha fijado límites para la realización de horas extra, por lo que se otorgarán las necesarias hasta cubrir la demanda mensual.

Es preciso conocer la cantidad de **producción en horas extra** para satisfacer los requerimientos de producción.

En enero existe un requerimiento de producción de 1.020 unidades y una producción dis-

ponible de 1.008 unidades, surgiendo como resultado una diferencia de 12 unidades que serán fabricadas con la utilización de horas extra.

La **cantidad de horas extra** necesarias se obtiene de multiplicar las unidades a fabricar en horas extra por el tiempo requerido en la elaboración de cada unidad.

Siendo en enero: 12 unidades x 5 horas cada una = 60 horas extra necesarias para satisfacer los requerimientos de producción del mes.

Los **costos de las horas extra** vienen dados por las horas extra necesarias multiplicadas por el costo de cada hora extra.

En enero son necesarias 60 horas extra con un costo de \$ 10,50 cada hora, lo que resulta en un costo incremental de \$ 630.

De las tres alternativas vistas con nivel de mano de obra constante, en el caso de falta de capacidad, habría que analizar a qué opción conviene acudir primero, si a variación de inventario, horas extra o subcontratación.

e) Horas extra (enero, febrero); subcontratación (marzo, abril); producción exacta (mayo, junio)

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Total
Inventario inicial	200	0	0	0	28	195	
Demanda estimada	1.220	1.290	1.250	980	740	820	6.300
Días disponibles	21	19	22	21	21	20	
Horas disponibles por trabajador	168	152	176	168	168	160	992
Trabajadores disponibles	30	30	30	30	27	26	
Horas disponibles mes	5.040	4.560	5.280	5.040	4.536	4.160	
Producción disponible	1.008	912	1.056	1.008	907	832	
Stock de seguridad	0	0	0	0	185	205	
Trabajadores contratados	0	0	0	0	0	0	
Trabajadores despedidos	0	0	0	0	3	1	
Producción requerida en horas extra	12	378	0	0	0	0	
Horas extra	60	1.890	0	0	0	0	
Unidades por subcontratar	0	0	194	0	0	0	
Inventario final	0	0	0	28	195	207	
Costo horas normales	35.280,0	31.920,0	36.960,0	35.280,0	31.752,0	2.9120,0	200.312,0
Costo de contratación / despido	0	0	0	0	150,0	50,0	200,0
Costo horas extra	630,0	19.845,0	0	0	0	0	20.475,0
Costo de la subcontratación	0	0	15.520,0	0	0	0	15.520,0
Costo mantenimiento inventario	500,0	0	0	70,0	557,5	1.005,0	2.132,5
Costo total	36.410,0	51.765,0	52.480,0	35.350,0	32.459,5	30.175,0	238.639,5

Cuadro 17.13. Horas extra (enero, febrero); subcontratación (marzo, abril); producción exacta (mayo, junio)

Comentarios: esta alternativa es denominada mixta, ya que se utilizan varias opciones de trabajo; como ser horas extra, subcontratación y contratación y despido. Para el primer mes se calcula la dotación justa para cubrir la demanda de dicho mes y se continúa con esa dotación hasta mayo, donde se pue-

de comenzar a efectuar contrataciones y despidos.

El **stock** de seguridad sólo podrá construirse en los meses de mayo y junio, ya que no está permitido utilizar horas extra ni subcontratación para fabricarlo.

Resumen del costo total de las alternativas				
A	B	C	D	E
\$ 231.480,0	\$ 258.073,0	\$ 230.865,5	\$ 242.190,0	\$ 238.639,5

Cuadro 17.14. Resumen

Corolario:

Las alternativas **A, B, C y D** están basadas en estrategias puras, enfocándose en el costo específico a cada opción analizada. En cambio en la alternativa **E** se usa la estrategia mixta realizando combinaciones en la fuerza laboral, en las horas extra, subcontratación y variación en los inventarios.

Obviamente pueden existir otras combinaciones factibles para la obtención del costo mínimo.

17.8. Programa maestro de producción

Como resultado del manejo de la capacidad a mediano plazo y para satisfacer la demanda de bienes o servicios, se confecciona el **plan agregado de producción** (PAP) que sirve de base para la elaboración de un **programa maestro de producción** (PMP - *Master Production Schedule*). En el PMP se define para cada producto las cantidades a fabricar y en qué período de tiempo dentro de un horizonte de planificación, logrando la coherencia necesaria entre ambos planes.

Este programa maestro o marco de la producción suministra información a los sistemas de planificación sobre las necesidades de materiales que se refieren a la producción o adquisición de las piezas o componentes necesarios, para hacer el producto final ⁽⁹⁾, según sean las previsiones de demanda.

El programa maestro de producción cumple con las funciones de:

- Incorporar pedidos reales al sistema de programación.
- Concretar el **plan agregado de producción**, tanto en cantidades de productos finales como el tiempo de su fabricación.
- Descomponer los productos agregados planeados en artículos individuales programados.
- Utilizar con eficiencia la capacidad de producción, evitando tanto las subcargas como las sobrecargas de las instalaciones, y determinando su factibilidad.
- Informar al área de finanzas para que programe los presupuestos y flujo de efectivo necesario en los distintos períodos de tiempo.
- Informar al área de comercialización para que programe las entregas y distribuciones de los productos.

Para la realización del programa maestro de producción se hace necesario que el área de operaciones intercambie información con otras áreas funcionales que permitan alcanzar los objetivos y las metas propuestas en el plan de producción.

El PMP necesita ir reajustándose en la medida en que la demanda de clientes, los planes financieros y la disponibilidad de mano de obra se haya modificado, información que constituye los verdaderos *inputs* del programa, así como también los niveles de capacidades, los movimientos del inventario, el seguimiento a los proveedores, entre otros.

El PMP es de naturaleza dinámica, por lo que debe ser flexible y actualizado, adquiriendo continuidad en el tiempo. Requiere ser actualizado permanentemente, por lo general, por semana, lo que significa que una vez transcurrida una semana debe actualizarse la porción primera del programa, quitando el período transcurrido y agregándose otro período igual al final del mismo.

La primera parte del programa tiende a estar conformada por pedidos reales y la parte final por pronósticos de demanda. En el movimiento de los programas estos pronósticos se transforman en pedidos reales, por lo que se afecta dinero para solicitar materiales y se programa la mano de obra.

Mantener actualizado el PMP y permanecer flexible para que puedan introducirse los cam-

bios que producen los ajustes, cuando éstos se realizan en períodos de pedidos reales, suelen ser complicados para el programador, requiriendo ciertas decisiones en conjunto entre el gerente de operaciones y de comercialización.

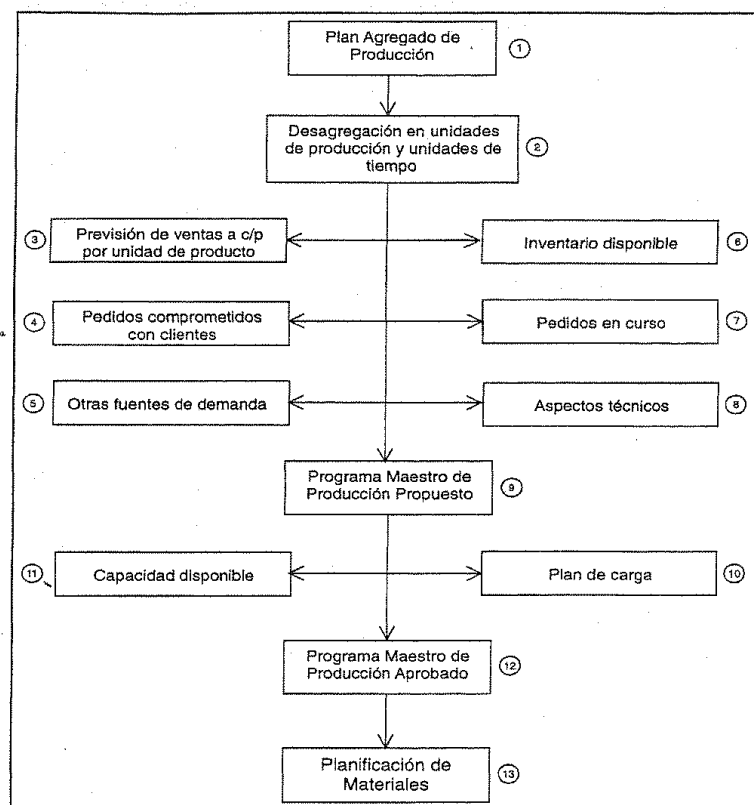
Las modificaciones introducidas suelen ser muy costosas, los incrementos en cantidad en el programa maestro de producción llegan a causar demoras en las entregas a los clientes, o altos costos de expedición, debido a la escasez de materiales.

Por otra parte, las disminuciones en las cantidades dan como resultado que una porción de los materiales o componentes no sean utilizados, incrementando de esa manera los costos de producción.

Lo mismo ocurre cuando se modifican las fechas en que se necesitan las cantidades propuestas en el programa maestro de producción. Todo esto hace que muchas organizaciones decidan *congelar* una parte, por lo cual no se autoriza ningún cambio a esos períodos congelados, que por lo general son los meses más cercanos; por ejemplo pueden mantenerse los próximos dos meses sin ninguna modificación. Esta porción a corto plazo del programa se la conoce como **firme, fijo o congelado**, al resto como **abierto**, y significa que se puede acomodar la programación a modificaciones y a nuevos pedidos.

(9) Heizer; Render, *op. cit.* en nota (8).

17.9. Proceso de desagregación del PAP al PMP



Cuadro 17.15. Procesos de desagregación del PAP al PMP

Para la obtención de un **programa maestro de producción** factible, es necesario realizar un proceso de desagregación partiendo del **plan agregado de producción (1)**, de acuerdo con las alternativas de decisión propuestas y teniendo en cuenta minimizar los costos.

Se procede a desagregar (2) las familias de productos en unidades de ítem finales definiéndolas en función de productos específicos. Los períodos de tiempo o cubos de tiempo se desagregan pasando de meses o trimestre, para el **plan agregado de producción**, a semanas, para el **programa maestro de producción** pudiendo ser períodos más cortos si fuese necesario.

La desagregación facilita precisar en qué momento hacen falta los productos y cuáles son las distintas actividades a llevar a cabo para obtenerlos.

Se hace necesario contar con la previsión de la demanda a corto plazo (3), con sus ajustes correspondientes por unidades de productos que junto a los pedidos comprometidos con los clientes (4) y otras fuentes de demanda (almacén, otras plantas, etc.) (5) determinan las necesidades de productos que deberán desagregarse en demandas semanales.

Por otra parte, a estas necesidades de productos se los analiza con lo disponible en inventarios (6), los pedidos que hubiese en curso de fabricación (7) y toda la información técnica (8) necesaria para conocer como serán los lotes de producción, aproximación de las fechas de fabricación, sus costos y otros aspectos.

Con la información obtenida se está en condiciones de elaborar un **programa maestro de producción** propuesto (9), dado que la carga de trabajo (10) que implica dicho programa deberá ser compatible con la capacidad disponible (11) con que se cuenta.

Cabe destacar que al realizar las desagregaciones mencionadas (en unidades de producto, en cantidad y en tiempo) suele suceder que lo que en el **plan agregado de producción** resultara perfectamente viable, luego no fuera así en el **programa maestro de producción**; por lo que se debe planificar la capacidad a corto plazo. Puede suceder que la capacidad disponible no alcance a cubrir el plan de carga de trabajo previsto en el **programa maestro de producción** propuesto, por lo que entonces se deberán tomar decisiones acerca de aumentos transitorios de la capacidad. Para ello se deberán realizar los cambios necesarios a fin de adaptar los requerimientos de producción a la capacidad, y siempre teniendo en cuenta que las necesidades previstas de los clientes sean satisfechas y que los servicios no se retrasen.

De no ser así, se deberá modificar el **plan agregado de producción** para que el **programa maestro de producción** propuesto sea factible.

Una vez realizadas estas medidas de ajuste, se confecciona el **programa maestro de producción** definitivo (12), del cual surgen cuáles serán las necesidades de materiales (13) que constituyen los datos de entrada al sistema de **planificación de requerimientos de materiales** (MRP, *Material Requirements Planning*). Ver cap. 18.

Con esta información el área de operaciones podrá determinar los programas detallados para la producción y el ensamble de los componentes. Los directores de operaciones confeccionan estos planes junto con los supervisores y capataces, desagregando el plan a mediano plazo en programas semanales, diarios y hasta en horas (10).

En el proceso de desagregación, para la elaboración del PMP, el horizonte de planificación abarca hasta doce meses en el uso de

(10) Heizer, Render, op. cit. en nota (8).

planeación de requerimientos de materiales (MRP), pudiendo ser menor en otros sistemas.

Como requisito usualmente aceptado ⁽¹¹⁾, el horizonte de planificación deberá ser, como mínimo, igual al mayor **tiempo de suministro acumulado (TSA)** de los productos finales que incluye el PMP, entendiéndose por TSA el tiempo que comprende la adquisición de las materias primas y materiales, fabricar las partes o componentes y el montaje del producto final. Por lo tanto el artículo que tenga el tiempo de demora más largo determinará

17.10. El PMP en empresas que fabrican a pedido o para existencias

El procedimiento del programa maestro de producción en las empresas que poseen sistemas de fabricación a pedido o las que producen para existencias, difiere en la forma de administrar la demanda y en la determinación del tamaño de los lotes.

En la fabricación a pedido el programador no trabaja con pronósticos de demanda, sino con la lista de pedidos de los clientes, las fechas de entrega solicitadas y con los **huecos** abiertos en la producción, asignando las cantidades a fabricar.

También se asignan los pedidos que provienen del interior de la empresa, o los pedidos entre plantas; cuando se solicitan muestras de productos para promoción; de Ingeniería de producto e investigación y desarrollo cuando realiza pruebas, así como también las piezas para repuestos y los pedidos de las sucursales.

En la fabricación para existencias, los pedidos provienen de los almacenes de la empre-

sa, basándose en los pronósticos de la demanda futura. El problema se presenta en cuánto programar de cada producto y que resulte económico hacerlo. Si se fabrican lotes pequeños se eleva el costo promedio unitario debido a que el costo fijo de preparación para la producción se distribuye sobre pocos productos.

Dentro de dicho horizonte se hace necesario programar periodos de tiempo más cortos, que por lo general son semanas, permitiendo que las cantidades sean desagregadas, fijando claramente el momento en que éstas hacen falta y qué actividades se han de desarrollar para su obtención. Las cantidades se refieren a un determinado momento del periodo, normalmente al final del mismo y de esa manera es posible coordinar las emisiones y llegadas de pedidos con las consiguientes necesidades y disponibilidades ⁽¹²⁾.

Si por el contrario, se fabrican lotes grandes, también se elevará el costo promedio unitario, porque se involucran los costos de mantenimiento de inventarios que se han incrementado por el solo hecho de tener que mantener una mayor cantidad de productos en almacenes.

Es necesario lograr un equilibrio entre los costos de preparación para fabricar y el costo de mantenimiento de los productos en stock, determinando los lotes económicos de producción que minimizan el costo total.

El PMP se puede confeccionar a través de sistemas computarizados de programación, re-

sultando económico su realización y en algunos casos, indispensable para procesar todos los datos que provienen de varios departamentos de producción. La información de la demanda de los productos finales, la información del estado de los inventarios, las restricciones en la capacidad, los pronósticos de la demanda, el tamaño de los lotes y los niveles deseados de existencias de seguridad, son utilizados por la computadora para hacer de-

tallados cálculos de programación maestra de producción, comparando estas cifras con las cargas de los centros de trabajo y con las restricciones de capacidad, generando un programa maestro de producción ⁽¹³⁾.

Cuando el PMP ha sido elaborado correctamente los productos finales se fabrican en las cantidades justas y convenientes, utilizando plenamente los recursos de producción y manteniendo bajos los niveles de inventarios.

17.11. Desarrollo del programa maestro de producción

Una vez que se han analizado las distintas alternativas de planificación agregada y habiéndose elegido una de ellas, en función de minimizar los costos totales, se procede a confeccionar el **plan maestro de producción**, que consiste en desagregar, tanto el horizonte de tiempo como las unidades de productos, el plan agregado efectuado anteriormente, con el objeto de programar los lotes fijos de producción de cada producto en el periodo estrictamente necesario.

Si siguiendo el ejemplo de la empresa dedicada a la fabricación de pañales descartables, desarrollado anteriormente, vemos que luego de analizar las alternativas propuestas se deberá elegir aquella menos costosa para la organización, siendo la **alternativa C (Fuerza laboral constante: Variación y agotamiento de inventario)** la opción seleccionada.

Se desagregan las familias de pañales por tamaños de pañal y el horizonte de tiempo se divide en semanas determinando la cantidad de productos a fabricar cada vez que se emite una orden de fabricación.

Los lotes fijos de producción son:

- Tamaño chico: 150 unidades
- Tamaño mediano: 230 unidades
- Tamaño grande: 300 unidades

En esta etapa de análisis se ha efectuado la desagregación de la información disponible en tiempo y por tamaño de producto, mediante el análisis semanal de los dos primeros meses del semestre (ver cuadro 17.16).

Lo primero que se obtiene es el plan agregado por tamaño, partiendo del *mix* de producción para cada ítem. Para el tamaño chico de pañal corresponde un 20 % de la familia de pañales; para el tamaño mediano, un 30 %, y para el tamaño grande, un 50 %. A partir de dicha información se determinan las semanas en que cada lote será fabricado para garantizar el abastecimiento fluido de productos al departamento de expedición.

En la figura correspondiente al PMP para pañales de tamaño chico se programa fabricar 150 unidades en la primera semana y 150 unidades en la tercera semana de enero, de esa manera se satisface la demanda planeada de 215 pañales.

De igual manera se confecciona el PMP para pañales de tamaño mediano y grande.

(11) ORLUCK (1975); MALKO (1977); FLOSSI y otros (1979); SMITH (1983) y DOMÍNGUEZ MACHUCA, J. A. (2000).

(12) DOMÍNGUEZ MACHUCA, José Antonio y otros, *Dirección de operaciones, aspectos estratégicos en la producción y los servicios*, McGraw-Hill, 1995.

(13) CATHER, FRAZIER, *Administración de producción y operaciones*, 4ta. edición, Thomson, 2000.

PMP tamaño chico

Mes	Enero				Febrero			
Plan agregado de la familia	1.075				973			
Plan agregado chico (20 %)	215				195			
Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8
Plan Agregado Semanal	54	54	54	53	49	49	49	48
Inventario en exceso al PAP	0	96	42	138	85	36	137	88
Producción requerida (PMP)	150	0	150	0	0	150	0	0
Inventario final	96	42	138	85	36	137	88	40

Cuadro 17.16. PMP tamaño chico

PMP tamaño mediano

Mes	Enero				Febrero			
Plan agregado de la familia	1.075				973			
Plan agregado mediano (30 %)	323				292			
Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8
Plan agregado semanal	81	81	81	80	73	73	73	73
Inventario en exceso al PAP	0	149	68	217	137	64	221	148
Producción requerida (PMP)	230	0	230	0	0	230	0	0
Inventario final	149	68	217	137	64	221	148	75

Cuadro 17.17. PMP tamaño mediano

PMP tamaño grande

Mes	Enero				Febrero			
Plan agregado de la familia	1.075				973			
Plan agregado grande (50 %)	538				486			
Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8
Plan agregado semanal	135	134	135	134	122	121	122	121
Inventario en exceso al PAP	0	165	31	196	62	240	119	297
Producción requerida (PMP)	300	0	300	0	300	0	300	0
Inventario final	165	31	196	62	240	119	297	176

Cuadro 17.18. PMP tamaño grande

17.12. Bibliografía

- ADAMS JR.; EVERETT E.; EBERT, RONALD, *Administración de la producción y las operaciones*, Prentice Hall, 1991.
- CHASE; AQUILANO; JACOBS, *Administración de Producción y Operaciones*, Irwin McGraw-Hill, 2000.
- DOMÍNGUEZ MACHUCA, JOSÉ ANTONIO y otros, *Dirección de operaciones, aspectos estratégicos en la producción y los servicios*, McGraw-Hill, 1995.
- GAITHER; FRAZIER, *Administración de producción y operaciones*, 4ta. edición, Thomson, 2000.
- HEIZER; RENDER, *Dirección de la producción*, Prentice Hall, 2001.
- KRAJEWSKY; RITZMAN, *Administración de operaciones. Estrategia y análisis*, Prentice Hall, 2000.
- MEREDITH, JACK, *Administración de operaciones*, Limusa Wiley, 1999.
- NOORI, HAMID; RADFORD, RUSSELL, *Administración de operaciones y producción. Calidad total y respuesta sensible rápida*, McGraw-Hill, 1997.
- RIGGS, JAMES, *Sistema de producción. Planeación, análisis y control*, Limusa, 1999.
- SCHROEDER, ROGER, *Administración de operaciones*, McGraw-Hill, 1992.
- SOLANA, RICARDO, *Producción, su organización y administración en el umbral del tercer milenio*, Ediciones Interoceánicas, 1994.
- VOLLMANN, THOMAS; BERRY, WILLIAM; WHYBARK, CLAY, *Sistemas de planificación y control de la fabricación*, Irwin, McGraw-Hill, 1995.