

Facultad de Ingeniería
Guía de Planeamiento y Control de la
Producción

Plan Agregado de Producción Programa Maestro de la Producción

OBJETIVOS

- Definir los que es una planificación agregada y un programa maestro de producción
- Programación táctica y operativa de la producción
- Cómo realizar una planificación agregada y un Programa Maestro de Producción
- Cómo desarrollan planes agregados las empresas de servicios

MARCO TEÓRICO

Concepto y naturaleza de la planeación agregada

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.

Planeación jerárquica de la producción

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.

Nivel Estratégico	Planificación estratégica LP(años)	Planificación a LP	↔	Plan de Producción a LP	↔	Plan de Ventas a LP
Nivel Táctico	Planificación Agregada MP (6 - 18 meses)	Pronósticos de demanda MP	→	Plan Agregado de Producción	←	Inv. Disponible Cap. De planta M.Primas disponibles Capacidad externa Fuerza de trabajo
Nivel Operativo	Programación Maestra de Producción CP (de varias semanas a meses)	Pronósticos de demanda CP	→	Programa Maestro de Producción	←	Capacidad de Planta

Unidad de medida, horizonte de planificación y cubos de tiempo

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

Para ello es necesario definir:

Unidad de medida	líneas o familias de productos.
Horizonte de planificación	periodo de tiempo que abarca el plan.
Cubos de tiempo	periodicidad del horizonte de planificación

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:	Ejemplos de unidades agregadas de productos:
<ul style="list-style-type: none"> • Número total de trabajadores. • Horas de tiempo de máquinas. • Toneladas de materias primas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Número de pacientes atendidos. • Horas de servicios prestados. • Toneladas de acero forjados. • Litros de jugos producidos.

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.

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 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 .

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 opciones 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 traspase.
- 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 políticas 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

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 impliquen 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 evaluación de los recursos aplicables y de su rentabilidad proyectada

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.
- 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.

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 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 período 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.

Este tipo de opción es habitual en industria con demanda de alta estacionalidad como la de bebidas frescas en temporada de primavera y verano

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.

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 períodos cortos de tiempo.

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

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

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 períodos 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.

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 períodos 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.
- Costos generados por personal administrativo.

Contrariamente, cuando la empresa enfrenta períodos 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.

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.

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.

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

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.

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, ya que 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 subcontrate 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.

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 organizaciones intercambien clientes entre 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 acción. Si una industria produce bienes perecederos no puede utilizar la acumulación inventario como alternativa para nivelar la producción.

Opciones para desarrollar un plan agregado

Las áreas funcionales de una organización que aportan insumes 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 tendientes 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 períodos 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 periodo. Para hacer frente a variaciones en las necesidades, la producción total puede cambiar usando horarios reducidos durante los períodos de menor actividad, utilizando horas extra para los períodos 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 períodos 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 mas allá de una estrategia pura.

Programa maestro de producción

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, 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.

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 cambios 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 en **firme, fijo o congelado**, al resto como **abierto**, y significa que se puede acomodar la programación a modificaciones y a nuevos pedidos.

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.

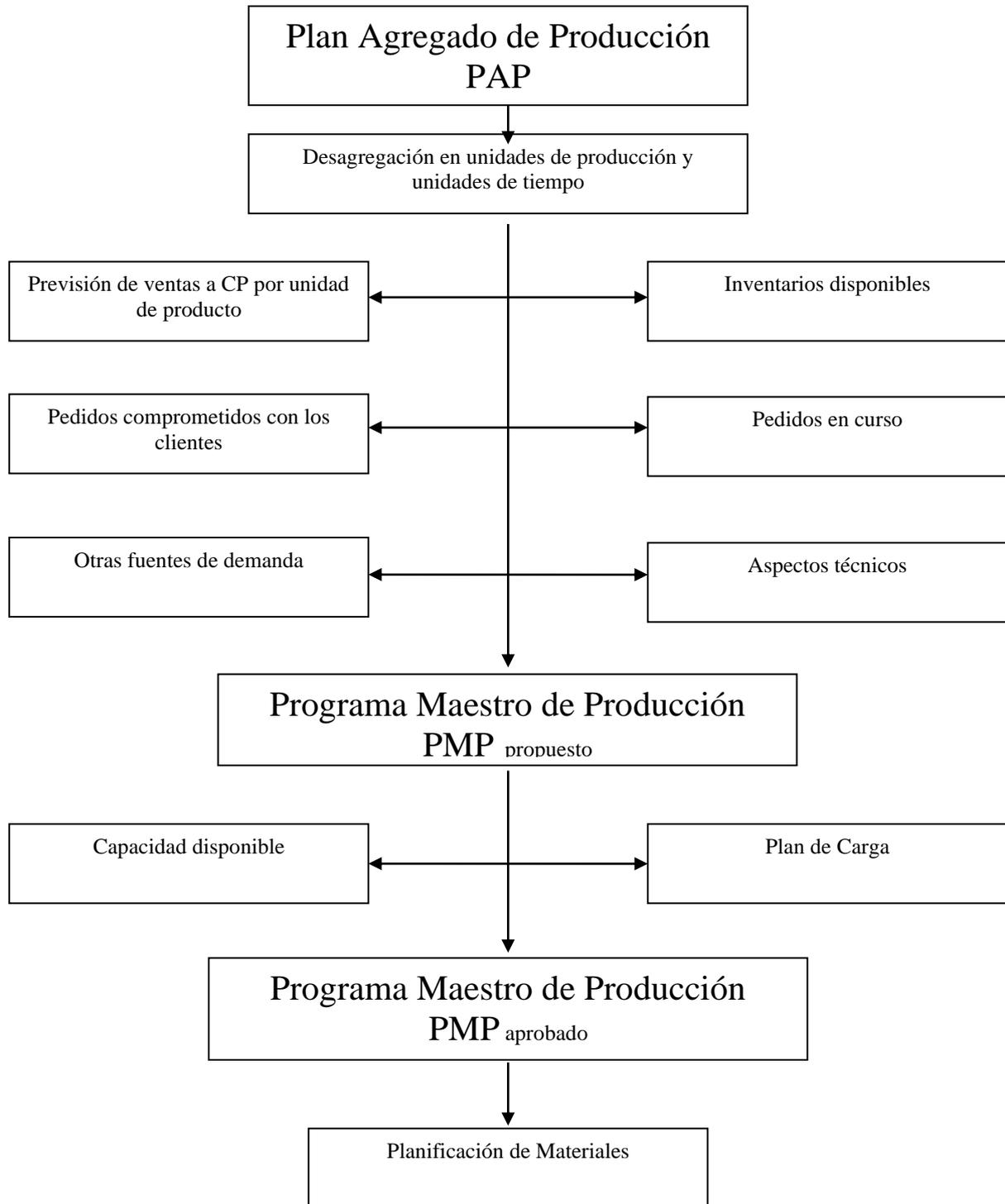
La desagregación facilita precisar en qué momento hacen falta los productos y cuáles son las distintas actividades a llevar a cabo para obtenerlos.

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*).

Con esta información el área de operaciones podrá determinar los programas detallados para la producción y el ensamble de los componentes.

En el proceso de desagregación, para la elaboración del PMP, el horizonte de planificación abarca hasta doce meses en el uso de **planeación de requerimientos de materiales** (MRP), pudiendo ser menor en otros sistemas

Como requisito usualmente aceptado, el horizonte de planificación como mínimo, igual al mayor tiempo de suministro acumulado (TSA) de los productos finales que incluye el PMP, entendiendo por TSA el tiempo que comprende la adquisición de las materia 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 mas largo, determinará el tiempo mínimo que deberá abarcar un horizonte de planificación.

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

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 empresa, 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.

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 computerizados de programación, resultando 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,
- del estado del inventarios,
- de las restricciones en la capacidad,
- de los pronósticos de la demanda
- del tamaño de los lotes, y
- de los niveles deseados de existencia de seguridad,

son utilizados lo el programa para hacer detallados cálculos de PMP, comparado estas cifras con las cargas de los centros de trabajos y con las restricciones de capacidad, generando un PMP actualizado.

ACTIVIDADES DE LA PRACTICA

Un fabricante de materiales para la construcción ha desarrollado una previsión mensual de sus ventas para un importante producto, correspondiente al primer semestre de 2016:

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Totales
Demanda esperada	1000	800	900	1.300	1.600	1.200	6.800
Días de producción	22	18	21	21	22	20	124

Para satisfacer la previsión de la demanda, esta empresa elige una estrategia de alcance (Caza), según la cual puede contratar y despedir empleados variando el tamaño de la plantilla según sea necesario, con el fin de producir de la forma más aproximada al Plan de Necesidades de Producción; no se fabricará nunca por debajo de lo que exija el Plan de Necesidades de Producción, acumulándose el inventario sobrante mes a mes hasta el final del periodo. No se realizarán horas extras ni se subcontratará producción.

Suponemos que el inventario inicial es igual a cero, y que la plantilla antes de iniciarse el mes de enero es de 15 trabajadores. Para producir una unidad de producto se necesitan 1,6 horas de trabajo. La jornada laboral regular tiene una duración de 8 horas.

Información de costos:

Costo de almacenamiento =	5 \$/unidad/mes
Costo de la subcontratación =	10 \$/unidad
Costo salarial estándar =	6 \$/hora (48 \$/día/trabajador)
Costo de la hora extra =	8 \$/hora
Costo de las contrataciones =	10 \$ por contratación
Costo de los despidos =	15 \$ por despido

Desarrolle el plan agregado de producción de esta empresa para el primer semestre de 2017, y determine cuáles son los costos totales de esta alternativa:

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Total
Plan Necesidades producción							
Días productivos Producción Regular	22	18	21	21	22	20	124
Horas mano de obra regular							
Mano de obra							
Costo mano de obra regular							
Inventario final							
Costo de posesión/retraso							
Variación mano de obra							
Costo variación mano de obra							
Costo mano de obra ociosa							
Costo total							

CONSEJO: Conviene desarrollar en forma completa la columna del mes de Enero con todas las celdas vinculadas. Luego extender hacia la derecha y ajustar lo que sea necesario.

EJERCICIO 2

La empresa X desea establecer el Plan Agregado de Producción del producto Y para el próximo año, de acuerdo con la siguiente información:

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Julo	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic	Acum
Previsión ventas	9000	15000	10000	5000	5000	5000	10000	5000	5000	10000	15000	20000	14000
Pedidos comprometidos	1000	1800											
Pedidos pendientes	4500												
Stock seguridad	500												
Plan de necesidades de producción													
Plan acumulado													
Días productivos	20	20	22	20	22	21	20	22	22	20	21	20	250

Se conocen los siguientes datos:

- La empresa fabrica una única familia de productos.
- Para la obtención de una unidad de producto son necesarias 1,5 horas de trabajo (mano de obra).
- Cada operario trabaja 8 horas diarias. Hay 3 turnos de trabajo. Sólo es posible el trabajo simultáneo de 50 operarios en cada turno.
- La plantilla está formada por 150 trabajadores (50 fijos y 100 eventuales)
- Se estima un stock de seguridad de 500 unidades.

Los costos de la empresa son los siguientes:

- Hora estándar de mano de obra en jornada regular: 1.000 u.m.
- Hora extra de mano de obra: 1.500 u.m.
- Hora ociosa de mano de obra: 1.100 u.m.
- Costo de Contratación: 100.000 u.m./operario.
- Despido de un trabajador eventual: 150.000 u.m./operario
- Subcontratación de una unidad de producto: 1.000 u.m (sobre el costo de producción regular)
- Costo de posesión: 200 u.m./unidad/mes.
- Costo de ruptura/retraso: 1.500 u.m./unidad/mes.

Existen además las siguientes restricciones y factores a tener en cuenta para el desarrollo de la planificación agregada, derivados de las políticas de la empresa:

- Existen tres turnos diarios de trabajo, cada uno de ellos con 50 trabajadores.
- El máximo de horas extra permitidas por convenio es el 10% de las disponibilidades de trabajo regular.
- No se contempla la posibilidad de despidos de operarios fijos.
- La demanda y los costos se consideran lineales uniformes y continuos.

De acuerdo con la información anterior, determine cuál sería el Plan Agregado de Producción más factible de entre las siguientes alternativas:

- Alternativa de caza: Producción ajustada a las necesidades mensuales de producto. Además no se permite realizar horas extras ni subcontratación de producción. Pueden haber despidos y contrataciones, mano de obra ociosa y retrasos en las entregas.
- Alternativa de nivelación: Plantilla fija en el periodo. Además no se permiten horas extras ni subcontratación ni despidos ni contrataciones.
- Optimizar la mejor de las alternativas con el resto de variables

a.- Alternativa de caza

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Plan neces. Prod.													
Días productivos	20	20	22	20	22	21	20	22	22	20	21	20	
Prod.Regular													
Prod. H. Extra													
Prod. Subcont.													
Horas M.O. reg.													
Mano de Obra													
Cto. Mo Regular													
Variación M.O.													
Costo var M.O.													
Horas extra	No												
Cto. H.Extra	No												
Cto Subcontrat.	No												
Inventario final													
Cto. Pos./retraso													
Cto. M.O.ociosa													
Costo total													

b.- Alternativa de nivelación

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Plan neces. Prod.													
Días productivos	20	20	22	20	22	21	20	22	22	20	21	20	
Prod.Regular													
Prod. H. Extra	No												
Prod. Subcont.													
Horas M.O. reg.													
Mano de Obra													
Cto. M.O Regular													
Variación M.O.													
Costo var M.O.													
Horas Extra	No												
Cto. Horas Extra	No												
Cto Subcontrat.	No												
Inventario final													
Cto. Pos./retraso													
Cto. M.O.ociosa													
Costo total													

Fuente: Domínguez Machuca, J.A. y ot.(1995). "Dirección de Operaciones: aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios".Ed. McGraw Hill.

EJERCICIO 3

Establezca en la empresa X el Plan Maestro de Producción inicial para cada producto en un horizonte temporal de 3 meses teniendo en cuenta la siguiente información:

- Cada mes tiene 4 semanas y cada semana tiene 5 días laborables. Tenga en cuenta que el mes de marzo tiene 22 días laborables.
- La familia de productos está formada por 2 productos, siendo la participación de cada producto en dicha familia del 60% y 40% respectivamente.
- Hay 2 pedidos en curso de fabricación que serán recibidos en la primera semana, de las siguientes cantidades: P1: 4.000 uf P2: 3.500 uf
- Las órdenes de fabricación para cada producto se hacen por lotes de 4000 y 3500 unidades respectivamente.
- El inventario inicial de cada producto es 2.000 y 1.000 respectivamente

	Enero				Febrero				Marzo			
PAP (U./Fam 1)	15.040				15.040				9.172			
PAP (P1 un/mes)												
Semanas	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
PAP P1 (un/sem) NB												
Inventario inicial												
Pedidos en curso Fabricacion												
Necesidades netas												
PMP Inicial P1												

PAP (P2 un/mes)												
Semanas	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
PAP P2 (un/sem) NB												
Inventario inicial												
Pedidos en curso Fabricacion												
Necesidades netas												
PMP Inicial P2												

EJERCICIO 4

Supongamos una fábrica de bicicletas de carrera que tiene que determinar cuánto producir en cada uno de los trimestres del año próximo, 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, 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 periodo.

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 extras 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 = 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:

$$\text{Min } z = 400 X_1 + 400 x_2 + 400 x_3 + 400 x_4 + 450 Y_1 + 450 Y_2 + 450 Y_3 + 450 Y_4 + 20 e_1 + 20 e_2 + 20 e_3 + 20 e_4$$

Si d_t es la demanda durante el periodo 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:

Inventario final del trimestre _t =	Inventario final del trimestre _(t-1) + producción del trimestre _t - demanda en el trimestre _t
---	--

Lo que es igual a:

$$e_t = e_{(t-1)} + (x_t + y_t) - d_t$$

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 $e_t \geq 0$; entonces se cumplirá con la demanda en un dicho periodo si y sólo si:

$$e_t = e_{(t-1)} + (x_t + y_t) - d_t \geq 0$$

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:

$$x_1, x_2, x_3, x_4 \leq Pr_t \quad \text{Siendo } Pr_t = \text{producción en tiempo normal para } (t = 1,2,3,4)$$

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

$$\begin{aligned} e_1 &= 10 + x_1 + y_1 - 40 \\ e_2 &= e_1 + x_2 + y_2 - 60, \\ e_3 &= e_2 + x_3 + y_3 - 75 \\ e_4 &= e_3 + x_4 + y_4 - 25 \end{aligned}$$

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:

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

o lo que es igual:

$$\begin{aligned} x_1 + y_1 - e_1 &= 30 \\ x_2 + y_2 + e_1 - e_2 &= 60 \\ x_3 + y_3 + e_2 - e_3 &= 75 \\ x_4 + y_4 + e_3 &= 25 \\ x_1 + O_1 &= 40 \\ x_2 + O_2 &= 40 \\ x_3 + O_3 &= 40 \\ x_4 + O_4 &= 40 \end{aligned}$$

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

La solución óptima para el problema es;

$$\begin{aligned} Z &= 78450 \\ X_1 &= X_2 = X_3 = 40 \\ X_4 &= 25 \\ Y_1 &= 0 \\ Y_2 &= 10 \\ Y_3 &= 35 \\ Y_4 &= 0 \\ E_1 &= 10 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}E_3 &= e_3 = e_4 = 0 \\ O_1 &= O_2 = O_3 = 0 \\ O_4 &= 15\end{aligned}$$

Por el Método de 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:

- 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 período, así como también 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 período del horizonte de planificación, se elabora una tabla como se muestra en la siguiente figura, correspondiente a un plan de producción en cuatro períodos de tiempo (ver Cuadro 1 adjunto)

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

C_{S_t} = Costo unitario de mantenimiento de inventario por período.

C_{r_t} = Costo unitario del tiempo regular por período.

C_{e_t} = Costo unitario del tiempo extra por período.

C_{e_t} = Nivel de inventario inicial.

P_{r_t} = Producción en tiempo regular en el período t.

P_{e_t} = Producción en tiempo extra en el período t.

D_t = Demanda pronosticada para el período 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} que representa las unidades provenientes de un origen (en este caso trimestre de producción y tipo de tiempo de 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 2 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, ... 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, ... 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 ($C_r + 2 C_s$) correspondiente 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 izquierda 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.

Producción por trimestre		Periodo de tiempo				Capac no utilizada		Cap total
		1ro	2do	3ro	4to			
Inventario inicial		0	Cs	2Cs	3Cs	1000	I₀	
T. Normal	1er Trim	Cr	Cr+Cs	Cr+2Cs	Cr+3Cs	0	P_{r1}	
		X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	X ₂₄	X ₂₅		
T. Extra	1er Trim	Ce	Ce+Cs	Ce+2Cs	Ce+3Cs	0	P_{e2}	
		X ₃₁	X ₃₂	X ₃₃	X ₃₄	X ₃₅		
T. Normal	2do Trim	M	Cr	Cr+Cs	Cr+2Cs	0	P_{r2}	
		X ₄₁	X ₄₂	X ₄₃	X ₄₄	X ₄₅		
T. Extra	2do Trim	M	Ce	Ce+Cs	Ce+2Cs	0	P_{e2}	
		X ₅₁	X ₅₂	X ₅₃	X ₅₄	X ₅₅		
T. Normal	3er Trim	M	M	Cr	Cr+Cs	0	P_{r3}	
		X ₆₁	X ₆₂	X ₆₃	X ₆₄	X ₆₅		
T. Extra	3er Trim	M	M	Ce	Ce+Cs	0	P_{e3}	
		X ₇₁	X ₇₂	X ₇₃	X ₇₄	X ₇₅		
T. Normal	4to Trim	M	M	M	Cr	0	P_{r1}	
		X ₈₁	X ₈₂	X ₈₃	X ₈₄	X ₈₅		
T. Extra	4to Trim	M	M	M	Ce	0	P_{e1}	
		X ₉₁	X ₉₂	X ₉₃	X ₉₄	X ₉₅		
Demanda		D₁	D₂	D₃	D₄			

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MAYNARD, Manual del Ingeniero Industrial IV, William K. Hodson, Editorial McGRAW-HILL
R. SULE, Instalaciones de Manufactura, Editorial Thomson Learning, Segunda Edición
http://www.thomsonparainfo.com/material_apoyo/8497322584ITransparencias/Capitulo06_archivos/frame.htm#slide0001.htm