

## CAPÍTULO

**4****PLANIFICACIÓN  
AGREGADA  
Y PLAN MAESTRO  
DE PRODUCCIÓN**

## Objetivos del capítulo

1. Plan agregado de producción
2. Análisis de planes agregados
3. Estrategias en la planificación agregada de producción
  - 3.1. Estrategias internas
  - 3.2. Estrategias externas
  - 3.3. Factores a considerar
4. Técnicas para la planificación agregada
  - 4.1. Técnicas matemáticas
  - 4.2. A prueba y error
  - 4.3. Técnicas de simulación
5. Ejemplo de planificación agregada
6. El plan maestro de producción
  - 6.1. Horizonte de planificación
  - 6.2. Entornos de operación
7. Método para obtener un plan maestro de producción
8. La planificación aproximada de la capacidad

### FUNDAMENTOS DE DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN Y OPERACIONES

---

Conceptos básicos

Actividades de autocomprobación

Ejercicios voluntarios

Referencias bibliográficas



## OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

Este capítulo se centra en la planificación de la producción a medio/corto plazo. En este sentido, al finalizar su estudio el lector deberá:

- Ser capaz de realizar un plan agregado de producción.
- Ser capaz de realizar un programa maestro de producción.

Para alcanzar estos objetivos, se ha organizado este capítulo en diferentes epígrafes. En la primera parte de los mismos, se analizará el marco de la planificación agregada. Se hará énfasis en los distintos tipos de estrategias que se pueden adoptar, internas o externas, y qué factores se deben tomar en cuenta en la realización del plan agregado de producción.

Posteriormente se va a realizar con todo detalle un ejemplo de planificación agregada, explicando cómo se determina, y qué estrategia es más adecuada, desde un punto de vista económico. Para ello se determinarán todos los costes asociados a la estrategia propuesta, así como los ingresos, dando como resultado un beneficio para cada estrategia analizada.

La segunda parte versará sobre el programa maestro de producción. Se analizará el horizonte de planificación que tiene que tener, así como sus peculiaridades en los distintos entornos de fabricación, como son la fabricación para almacenamiento (*make to stock*, MTS), la fabricación bajo pedido (*make to order*, MTO) y el ensamblado bajo pedido (*assembly to order*, ATO).

También se detallará cómo ha de hacerse un programa maestro de producción, en función de los pedidos comprometidos con los clientes y del pronóstico realizado. Asimismo, se verá qué es y para qué sirve el disponible para prometer (DPP).

Por último, se estudiará qué es la planificación aproximada de capacidad y de dónde se obtiene.

## 1. PLAN AGREGADO DE PRODUCCIÓN

El **plan agregado de producción** proporciona información de las necesidades de producción, normalmente mes a mes. Se basa en pronósticos agregados por familias, que son más fiables que los pronósticos para productos individuales. Las familias se forman mediante la agrupación de los productos o servicios que necesitan recursos similares. El número de familias que se identifican no suele ser mayor de 15.

Como principal fuente de información se tienen los pronósticos, que deben estar alineados con los planes estratégicos de la empresa, de cara a que contemplen promociones, ofertas, políticas de precios, desarrollos de nuevos productos, etc.

En este plan se especifica la fuerza laboral con la que se cuenta, su producción media mensual, así como distintas posibilidades para hacer frente a la demanda esperada, siempre teniendo en cuenta la capacidad aproximada que se tiene.

Posteriormente, se desagregará el plan agregado de producción para períodos de tiempo más cortos, lo que originará el programa maestro de producción, ya para productos individuales.

El horizonte de planificación del plan agregado de producción suele ir de 6 a 18 meses; siendo normalmente meses los períodos de tiempo en que se divide este horizonte.

## 2. ANÁLISIS DE PLANES AGREGADOS

La gestación de un plan agregado debe considerar dos factores: los recursos de la organización y la distribución de la demanda. El plan agregado buscará que estas dos variables estén lo más próximas posibles. Para lograrlo puede haber tres posibles aproximaciones:

- **Nivelación de los recursos.** En este caso, se establece un nivel determinado de recursos, con mínimas alteraciones a lo largo del tiempo. Esto proporciona una estabilidad en la producción muy alta, pero en su contra, si

la demanda es muy variable a lo largo de los meses, requerirá hacer uso de inventarios con sus costes asociados en los momentos de baja demanda para hacer frente a los períodos con mayor demanda.

Este caso es el más utilizado, siendo especialmente importante en ciertos tipos de servicios como son los servicios turísticos, hospitalarios, etc.

- **Seguimiento de la demanda.** Esta aproximación busca producir por período aproximadamente lo mismo que la demanda esperada. Para ello se debe modificar el uso de los recursos productivos, intensificándolos en períodos de alta demanda, y reduciéndolos cuando la demanda es baja. Esto es válido para proveedores de nivel intermedio de productos manufacturados o empresas de electricidad, por ejemplo.
- **Mezcla de nivelación y seguimiento.** En este caso, se busca el efecto simultáneo de la nivelación de recursos y del seguimiento de la demanda. Se intentará influir en la demanda, pero a la vez procurando que haya un nivel de recursos relativamente estable.

### 3. ESTRATEGIAS EN LA PLANIFICACIÓN AGREGADA DE PRODUCCIÓN

Se pueden distinguir dos tipos de estrategias, según el objetivo de las mismas sea realizar acciones para adecuarse a la demanda, o que la demanda se adapte a la estructura de la organización.

#### 3.1. ESTRATEGIAS INTERNAS

Se basan en adaptar el proceso productivo de la organización a la demanda existente. Dentro de estas estrategias destaca la estrategia de caza, que se basa en ajustarse totalmente a la demanda, produciendo mes a mes exactamente lo que se necesita, abandonando cada mes con un inventario nulo. Como estrategias internas más importantes están:

- **Contrataciones/despidos.** Se basa en determinar cuántos operarios se van a necesitar cada mes, e ir contratando y despidiendo para ajustarse cada mes al número deseado. Con respecto a las contrataciones, hay que considerar que, aparte de los costes que tiene, también afecta a la productividad

de la organización, ya que un operario nuevo hasta que conoce el trabajo y opera al mismo ritmo que sus compañeros transcurre un tiempo. Es lo que se conoce como curva de aprendizaje.

Cuando se plantean los despidos, suelen tener un efecto desmoralizador en el resto de compañeros de trabajo, lo que ocasiona que baje su eficiencia y efectividad.

Dentro de este mismo apartado se pueden considerar también los trabajadores temporales, que se suelen utilizar para períodos muy concretos en los que se necesita mano de obra adicional (picos de trabajo).

- **Horas extra/tiempos ociosos.** Se basan en la utilización de horas extra cuando es necesaria una mayor producción, o en que el trabajador permanezca ocioso un determinado periodo, ya que por las características del producto y proceso productivo no interesa que se vaya acumulando *stock* de producto terminado. Esos tiempos ociosos deben ser aprovechados para temas de formación, entrenamiento, gestión de la calidad, etc.

El uso de horas extra es una solución transitoria, y que ocasiona un sobre-coste, ya que el coste de una hora extra es muy superior al de una hora ordinaria de trabajo. También se debe tener en cuenta que existen limitaciones legales y de convenios colectivos, que restringen el uso de las mismas.

- **Subcontratación.** Consiste en comprar a un proveedor externo el mismo producto/servicio que se ofrece. Suele ser mucho más caro que fabricarlo, pero puede ser una opción cuando hay que servir un pedido sin posibilidad de demora y no se cuenta con suficiente producto terminado para suministrar al cliente o no se dispone de los recursos necesarios para dar el servicio. La subcontratación tiene varios peligros que van desde la pérdida del control de calidad del producto o servicio que se vende, ya que lo fabrica o presta un tercero sin nuestra supervisión, hasta que el cliente y el proveedor del producto subcontratado se pongan de acuerdo, y nuestra organización se quede fuera de la venta.
- **Mantenimiento de inventario.** Sucede cuando, en épocas de poca demanda, se va produciendo y almacenando el producto final, para servirlo cuando se espera que haya una demanda superior a la capacidad productiva. Es útil cuando los costes de mantenimiento del inventario no son grandes, y los productos no son perecederos.
- **Rotura de stock.** Sucede cuando se deja de servir un pedido o parte de él a un cliente por falta de existencias en los almacenes. Es una práctica peligrosa, ya que puede tener fuertes penalizaciones en los contratos que se hayan

establecido con el cliente. Por otro lado, la pérdida puede ser mayor, ya que el cliente puede optar la próxima vez por buscarse otro proveedor más fiable.

- **Modificar las tasas de producción.** Se puede intentar hacer cambios en el proceso productivo, que impliquen un aumento de la producción.
- **Programar las vacaciones del personal.** Se basa en intentar que la mano de obra tenga las vacaciones en las épocas de menor demanda, de manera que cuando exista mayor demanda, se tenga disponibles a todos los operarios.

### 3.2. ESTRATEGIAS EXTERNAS

Se basan en intentar influir en la demanda, para que sea lo más beneficiosa posible a mi capacidad productiva. Dentro de este tipo destacan las promociones, la publicidad, las ofertas en paquetes de productos, las reservas anticipadas con descuento, etc.

### 3.3. FACTORES A CONSIDERAR

En la mayoría de los casos finalmente se utilizan estrategias mixtas, usando estrategias internas y externas simultáneamente. En cualquier caso y de cara a decidir cuál será el mejor plan agregado, hay una serie de factores que siempre se deberán considerar:

- **Limitaciones legales y convenios colectivos**, que acortan las posibilidades de acción de la organización.
- La **satisfacción del cliente** con el producto/servicio ofrecido, tanto en cantidades, tiempos y calidad.
- El **beneficio** obtenido con cada una de las posibles alternativas, comparando los ingresos por ventas, así como los costes asociados.
- Cada empresa adopta una serie de **políticas internas**, como puede ser el caso de no subcontratar nunca, permitir o no rotura de stock, el uso de las horas extra, el uso de contrataciones y despidos como estrategia, los tiempos ociosos y cómo gestionarlos, etc.
- Hay que considerar que cualquier plan agregado tendrá unos **costes fijos** asociados a la actividad de producción, como son los alquileres, seguros, personal de seguridad, amortización de la maquinaria, etc., que no suelen estar reflejados en el mismo.

## 4. TÉCNICAS PARA LA PLANIFICACIÓN AGREGADA

Existen una serie de técnicas que ayudarán a la realización del plan agregado. Las más destacadas son las siguientes:

### 4.1. TÉCNICAS MATEMÁTICAS

Se distinguen dos tipos:

- **Técnicas heurísticas.** Partiendo de un método analítico, buscan llegar a una solución suficientemente buena, a partir de las premisas establecidas.
- **Técnicas de optimización.** Este tipo de técnicas buscan la solución óptima, es decir, aquella que dará mayores beneficios. El encontrar la solución óptima no suele ser nada fácil y se necesita de la ayuda de la programación lineal, que pone en forma de ecuaciones todas las restricciones que existen en el problema, e intenta maximizar la función objetivo establecida para lograr el máximo beneficio. Para la resolución de estas técnicas es fundamental contar con un buen *software* que pueda resolver los problemas planteados. Hasta hace pocos años apenas se utilizaban debido a la falta de este tipo de *software*, pero hoy en día hasta las hojas de cálculo llevan funciones que resuelven este tipo de problemas.

### 4.2. A PRUEBA Y ERROR

Estas técnicas toman una posible solución como punto de partida, y a partir de ella se van realizando modificaciones y viendo cuál es el resultado. De esta manera, se va afinando la solución poco a poco hasta llegar a una solución que se considere aceptable. El uso de hojas de cálculo hace de esta opción una de las más usadas debido a la facilidad de ejecución, y la rapidez de ver los resultados.

### 4.3. TÉCNICAS DE SIMULACIÓN

Estas técnicas se basan en el uso de *software* de simulación que permite, a partir de unos parámetros de partida, recrear numerosas soluciones, y determinar cuál es la mejor.

Primero habrá que parametrizar el *software* usado al problema en cuestión, proporcionando una serie de probabilidades de que ocurran los sucesos, tanto de la demanda como de la producción, de manera que pueda realizar multitud de simulaciones. Cuanto más detallada esté la parametrización, mejores resultados dará.

## 5. EJEMPLO DE PLANIFICACIÓN AGREGADA

Para la realización de la planificación agregada se necesitarán, por un lado, unos datos de partida, que enumeren todos los costes asociados, así como el precio de venta del producto/servicio; y, por otro lado, la estrategia que se quiere analizar. En esta estrategia habrá que decidir aspectos tales como si la mano de obra va a ser constante o no, el uso que se va a dar de las horas extra o subcontrataciones, si se permite rotura de *stock*, cuánto inventario se puede almacenar, etc.

### EJEMPLO 1

Se quiere realizar el plan agregado de producción para los meses de enero a junio. Para el ejemplo se van a tomar los siguientes datos de partida:

- Coste materias primas: 60 euros por unidad de producto final.
- Coste mantenimiento del inventario por mes: 5 euros por unidad almacenada.
- Coste rotura de *stock*: 25 euros por unidad de producto final no servida.
- Costes de contratación y entrenamiento: 500 euros por trabajador.
- Costes de despido: 200 euros por trabajador.
- Coste de subcontratación de un producto final: 250 euros por unidad.
- Coste hora trabajo: 10 euros por hora de trabajo en horario normal.
- Coste hora extra: 15 euros por hora extra trabajada.
- Horas de trabajo requeridas por unidad: 4 horas por unidad.
- Horas de trabajo productivas por día: 8 horas de trabajo al día.
- Inventario inicial: 100 unidades.
- Precio venta producto: 300 euros por unidad vendida.
- Trabajadores iniciales: 17 trabajadores a final de diciembre.
- *Stock* de seguridad: 0 unidades (no se tiene *stock* de seguridad).
- Máximo número de horas extra por trabajador y día: 1 hora extra al día.

.../...

.../...

En la siguiente tabla se detallan para cada mes los días laborables que hay y la demanda esperada:

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Días por mes .....	22	19	21	21	22	20
Demanda .....	700	770	800	850	1.000	1.050

Con esta información, se va a obtener la siguiente tabla, que servirá para analizar todas las posibles estrategias. En ella se van a obtener:

- **El número de horas que va a tener cada trabajador al mes.** Se obtiene multiplicando los días que tiene el mes por el número de horas de trabajo al día. Por ejemplo, para enero:  $22 \times 8 = 176$ .
- **La producción que va a lograr en esas horas un trabajador.** Habrá que dividir las horas por trabajador entre el número de horas que se emplean en producir una unidad. Para enero será:  $176/4 = 44$ .
- **El coste por trabajador.** Se obtiene de multiplicar las horas de un trabajador por el coste que tiene la hora. Para enero será:  $176 \times 10 = 1.760$ .

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Días por mes .....	22	19	21	21	22	20
Demanda .....	700	770	800	850	1.000	1.050
Horas por trabajador y mes	176	152	168	168	176	160
Producción por trabajador	44	38	42	42	44	40
Coste por trabajador .....	1.760	1.520	1.680	1.680	1.760	1.600

Con esta información, ya se podrán analizar diversas estrategias para ver cuál reporta mayores beneficios.

En nuestro ejemplo se van a analizar dos posibles estrategias.

#### Estrategia 1. Estrategia de nivelación con las siguientes características:

- Mano de obra constante. Se van a mantener los 17 trabajadores iniciales.

.../...

.../...

- No se permite rotura de *stock*. Siempre se deberá servir al cliente la demanda esperada cada mes. Para lograrlo se hará uso de las horas extra en primer lugar, y, si se necesitan más productos, se subcontratarán.
- Recordatorio. El número máximo de horas extra por trabajador y día es 1.
- No hay limitación de almacenaje en los almacenes.

Para analizar esta estrategia habrá que desglosar por mes los siguientes conceptos:

- **Inventario inicial.** Inventario a comienzo del mes.
- **Requerimientos netos de producción.** Cuánto se necesita producir ese mes en función del inventario inicial y de la demanda. Se calcula como la demanda menos el inventario inicial. En enero, por ejemplo:  $700 - 100 = 600$ .
- **Producción ordinaria.** Hay que determinar cuál será la producción en horas ordinarias. En principio, toda la que se pueda. Se calcula como la producción por trabajador multiplicada por el número de trabajadores ese mes. En enero:  $44 \times 17 = 748$ .
- **Producción máxima horas extra.** Se determina cuál es la máxima producción en horas extra ese mes, teniendo en cuenta que solo se puede hacer una hora por trabajador y día. Se calcula como el (número de días del mes)  $\times$  (número de horas extra al día de un trabajador)  $\times$  (número de trabajadores)/(número de horas necesarias para producir una unidad). Para enero:  $22 \times 1 \times 17/4 = 93,5$  unidades  $\rightarrow 93$  unidades.
- **Producción horas extra.** Es la producción que finalmente se hará en horas extra, debido a que la producción en horas ordinarias no cubre los requerimientos netos de producción. Se calcula en el caso que la producción ordinaria no cubra los requerimientos netos de producción. En enero, como la producción en horas ordinarias es mayor que los requerimientos netos de producción, no hace falta la producción en horas extra. Por ejemplo, en marzo faltan 62 unidades ( $776 - 714$ ) para cubrir los requerimientos netos de producción, y, como hay disponibles 89 posibles unidades en horas extra, finalmente, se utilizarán las horas extra necesarias para las 62 unidades.
- **Subcontratación.** Es la cantidad de productos que se deberán subcontratar ese mes debido a que no se ha logrado cubrir la demanda con la producción en horas ordinarias más la de las horas extra. Se calcula como los requerimientos netos de producción menos toda la producción (ordinaria + extra). En abril ocurre esta situación:  $850 - (714 + 89) = 47$ .
- **Inventario final.** Inventario que queda al final del mes. Se calcula como (producción ordinaria) + (producción horas extra) + (subcontratación) - (requerimientos netos de producción). En enero:  $748 + 0 + 0 - 600 = 148$ .

.../...

.../...

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Días por mes .....	22	19	21	21	22	20
Demanda .....	700	770	800	850	1.000	1.050
Horas por trabajador y mes	176	152	168	168	176	160
Producción por trabajador	44	38	42	42	44	40
Coste por trabajador .....	1.760	1.520	1.680	1.680	1.760	1.600
Inventario inicial .....	100	148	24	0	0	0
Requerimientos netos de producción .....	600	622	776	850	1.000	1.050
Producción ordinaria .....	748	646	714	714	748	680
Producción máxima horas extra .....	93	80	89	89	93	85
Producción horas extra .....			62	89	93	85
Subcontratación .....				47	159	285
Inventario final .....	148	24	0	0	0	0

Una vez que se tiene esta tabla, ya se pueden calcular los costes y los ingresos:

- **Costes horas ordinarias.** Se calculan multiplicando el coste por trabajador por el número de trabajadores ese mes. En enero:  $1.760 \times 17 = 29.920$ .
- **Costes materias primas.** Se obtienen multiplicando el número de unidades producidas, tanto en horas ordinarias como extra, por el coste de materias primas que tiene una unidad. En enero:  $748 \times 60 = 44.880$ .
- **Costes mantenimiento inventario.** Se calculan multiplicando el inventario a final del periodo por el coste unitario de mantenimiento de inventario. En enero:  $148 \times 5 = 740$ .
- **Costes horas extra.** Se obtienen como  $(\text{número de unidades producidas en horas extra}) \times (\text{número de horas para producir una unidad}) \times (\text{coste de una hora extra})$ . En marzo:  $62 \times 4 \times 15 = 3.720$ .
- **Costes subcontratación.** Se calculan multiplicando el número de unidades subcontratadas por el coste unitario de subcontratación. En abril:  $47 \times 250 = 11.750$ .
- **Ingresos totales.** Para cada mes se calculan como lo que se espera vender multiplicado por el precio de venta. Como no hay rotura de stock, lo que se espera vender coincide con la demanda esperada. En enero:  $700 \times 300 = 210.000$ .

.../...

.../...

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Total
Costes horas ordinarias	29.920	25.840	28.560	28.560	29.920	27.200	
Costes materias primas	44.880	38.760	46.560	48.180	50.460	45.900	
Costes mantenimiento inventario .....	740	120	0	0	0	0	
Costes horas extra .....	0	0	3.720	5.340	5.580	5.100	
Costes subcontratación .	0	0	0	11.750	39.750	71.250	
Costes totales .....	75.540	64.720	78.840	93.830	125.710	149.450	588.090
Ingresos totales .....	210.000	231.000	240.000	255.000	300.000	315.000	
Beneficio .....	134.460	166.280	161.160	161.170	174.290	165.550	962.910

De esta forma, se puede obtener el beneficio mensual y el total restando a los ingresos de las ventas los costes asociados. La estrategia 1 deja un beneficio total de 962.910 euros.

**Estrategia 2. Estrategia de seguimiento de la demanda**, para lo que se usará lo siguiente:

- Contrataciones y despidos.
- No se quieren realizar horas extra.
- No se permite rotura de stock.
- No se permiten subcontrataciones.
- No hay limitación de almacenaje en los almacenes.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Días por mes .....	22	19	21	21	22	20
Demanda .....	700	770	800	850	1.000	1.050
Horas por trabajador y mes	176	152	168	168	176	160
Producción por trabajador	44	38	42	42	44	40
Coste por trabajador .....	1.760	1.520	1.680	1.680	1.760	1.600
						.../...

.../...

.../...

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
.../...						
Inventario inicial .....	100	16	6	4	36	4
Requerimientos netos de producción.....	600	754	794	846	964	1.046
Trabajadores necesarios ....	13,6	19,8	18,9	20,1	21,9	26,15
Trabajadores .....	14	20	19	21	22	27
Contrataciones .....	0	6	0	2	1	5
Despidos .....	3	0	1	0	0	0
Producción ordinaria .....	616	760	798	882	968	1.080
Inventario final .....	16	6	4	36	4	34

Lo primero que se debe hacer es determinar el número de trabajadores necesarios cada mes en función de la demanda y del inventario inicial. Se calculará como los requerimientos netos de producción dividido entre el número de unidades que hace un trabajador, y se redondeará hacia arriba, ya que no se permite la rotura de stock. En función de esto, se determinarán las contrataciones/despidos necesarios cada mes. El inventario final será la producción ordinaria menos los requerimientos netos de producción.

Los costes, ingresos y beneficios serán los reflejados en la siguiente tabla:

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Total
Costes horas ordinarias	24.640	30.400	31.920	35.280	38.720	43.200	
Costes materias primas	36.960	45.600	47.880	52.920	58.080	64.800	
Costes mantenimiento inventario .....	80	30	20	180	20	170	
Costes contratación .....	0	3.000	0	1.000	500	2.500	
Costes despido .....	600	0	200	0	0	0	
Costes totales .....	62.280	79.030	80.020	89.380	97.320	110.670	518.700
Ingresos totales .....	210.000	231.000	240.000	255.000	300.000	315.000	1.551.000
<b>Beneficio .....</b>	<b>147.720</b>	<b>151.970</b>	<b>159.980</b>	<b>165.620</b>	<b>202.680</b>	<b>204.330</b>	<b>1.032.300</b>

La estrategia 2 deja un beneficio total de 1.032.300 euros, superior al de la estrategia 1, por lo tanto, esta será la estrategia elegida.

## 6. EL PLAN MAESTRO DE PRODUCCIÓN

Es una de las herramientas más importantes por cuanto ha de ser aprobado por producción, marketing, compras y la alta dirección. Es un plan de base temporal en el que se plasman con detalle los productos y cantidades que la compañía ha de fabricar para cumplir el plan agregado de producción y, por tanto, alcanzar sus objetivos. En él se alcanza el compromiso entre los objetivos de venta establecidos por el área de marketing y los planes del área de producción, de forma que se optimizan los recursos maximizando el beneficio.

El plan maestro de producción se basa en el plan agregado de producción, y debe desagregar las cantidades del plan agregado para definir las unidades de productos finales a producir, y el momento exacto (normalmente se especifica la semana) en que son necesarias. Para realizar esto se basa, por un lado, en el pronóstico de ventas para ese producto final, y, por otro, en los pedidos que ya se tienen comprometidos con los clientes. En función del plan maestro de producción, se especificará el plan aproximado de capacidad.

Otro concepto interesante es el de disponible para prometer o disponible para promesa (DPP). Es la cantidad de productos de un pedido del plan maestro de producción que todavía no están comprometidos con los clientes, y dará una información muy útil de cara a saber si en un momento dado se puede hacer frente a un nuevo pedido de clientes o no.

### 6.1. HORIZONTE DE PLANIFICACIÓN

El horizonte de planificación del plan maestro de producción es más corto que el del plan agregado de producción. Suele ser de 12 a 26 semanas, aunque para entornos en los que se utiliza el MRP (*material requirements planning* o planificación de requerimientos de materiales) suele llegar al año. Eso sí, siempre deberá ser mayor que el tiempo de suministro acumulado de todos los productos finales o servicios del mismo. Este horizonte se divide normalmente en semanas.

Las cantidades reflejadas en el plan maestro de producción estarán referidas a un punto concreto de la semana, a su final.

En el horizonte de planificación se distinguen diversos períodos de tiempo:

- Aquel periodo de tiempo en el cual solo se tienen en cuenta los pedidos ya comprometidos con los clientes, ignorándose el pronóstico de ventas, se llama barrera de tiempo de demanda. En este periodo no se pueden hacer cambios en los pedidos planificados, por lo que se llama **área congelada**.

- El periodo de tiempo mayor que el tiempo de suministro acumulado se llama barrera de tiempo de planificación. En este periodo se pueden programar todos los cambios que sean precisos en los pedidos. Se denomina **área libre**.
- El tiempo que hay entre estos dos periodos, barrera de tiempo de demanda y barrera de tiempo de planificación, se llama **área flexible**. Cuando haya que hacer algún cambio en esta área, se deberá analizar cuidadosamente si es factible o no, ya que *a priori* no se puede decidir.

Para ver el tiempo de suministro acumulado, se analizará la lista de materiales, también conocida como estructura del producto. Esta lista proporciona información referente a todos los componentes necesarios, con tiempos de espera de cada uno, las cantidades necesarias de cada componente y su relación con los demás. Suele venir en forma gráfica. La lista de materiales se analizará con detenimiento en capítulos posteriores.

## 6.2. ENTORNOS DE OPERACIÓN

Dependiendo de la motivación que tiene la fabricación de un producto, existen tres entornos bien diferenciados:

- **Fabricación para almacenamiento (make to stock, MTS).** Este es el caso típico de todos los productos de consumo masivo. Se va fabricando a plena capacidad del sistema productivo, y se va almacenando, para luego darle salida a los distribuidores y clientes finales, en función de la demanda. Como la fabricación es continua y constante, hay que intentar adaptar la demanda a la producción. La metodología MRP es un ejemplo típico de este tipo de entornos.
- **Fabricación bajo pedido (make to order, MTO).** Se comienza la fabricación cuando se tiene un pedido comprometido de los clientes. Para ello es necesario que estén bien dimensionados todos los inventarios necesarios para poder reaccionar rápidamente a los pedidos y que el plazo de entrega sea lo menor posible. La filosofía *just in time* es un ejemplo de MTO.
- **Ensamblado bajo pedido (assembly to order, ATO).** Este tipo de entorno está asociado a empresas que tienen varios productos finales que tienen componentes en común y otros componentes particulares de cada producto. De todos estos componentes se tiene ya fabricada una cantidad determinada, y se espera a tener los pedidos comprometidos con los clientes para realizar el montaje final (según el programa de ensamblaje final, PEF). Este entorno es típico de la industria electrónica.

## 7. MÉTODO PARA OBTENER UN PLAN MAESTRO DE PRODUCCIÓN

Se va a explicar el método para obtener un plan maestro de producción con la realización del siguiente ejemplo.

### EJEMPLO 2

#### Datos de partida

- Producto: A.
- Tamaño lote: 100 unidades.
- Disponible (inventario inicial): 95 unidades.
- Barrera de tiempo de demanda: 2 semanas.

Como punto de inicio se muestra la siguiente tabla, con el pronóstico realizado y los pedidos de clientes:

Período	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pronóstico .....	40	50	40	65	60	40	40	50	50	45	40	125
Pedidos clientes ....	35	55	45	40	35	35	30	25	30	15	5	5
Inventario final .....												
DPP .....												
PMP .....												

DPP = Disponible para prometer.  
PMP = Programa maestro de producción.

El primer objetivo del programa maestro de producción es determinar cuándo hay que programar los pedidos de producción (PMP). Para ello habrá que ir determinando periodo a periodo el inventario final que se tendría.

En caso de ser negativo, habría que solicitar un pedido de 100 unidades, ya que es el tamaño del lote.

..../...

.../...

Para determinar el inventario al final de un periodo hay que restar al inventario inicial el máximo entre el pronóstico y los pedidos de los clientes.

$$\text{Inventario final} = \text{Inventario inicial} - \begin{array}{l} \text{Máximo} \\ (\text{inventario final del} \\ \text{periodo anterior}) \end{array} - \begin{array}{l} \text{pronóstico,} \\ \text{pedidos clientes} \end{array}$$

Esto es así excepto en el periodo de la barrera de tiempo de la demanda (2 semanas en este ejemplo), en que solo se tienen en cuenta los pedidos de los clientes, siendo el inventario final el inventario inicial menos los pedidos de los clientes.

$$\text{Inventario final} = \text{Inventario inicial} - \text{Pedidos clientes}$$

Se empieza en el periodo de la barrera de tiempo de la demanda:

$$\text{Para el periodo 1: Inventario final} = 95 - 35 = 60$$

$$\text{Para el periodo 2: Inventario final} = 60 - 55 = 5$$

Una vez pasado el periodo de la barrera de tiempo de la demanda:

$$\begin{aligned} \text{Para el periodo 3: Inventario final} &= \text{Máximo (40; 45)} = \\ &= 45 \end{aligned}$$

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pronóstico .....	40	50	40	65	60	40	40	50	50	45	40	125
Pedidos clientes ....	35	55	45	40	35	35	30	25	30	15	5	5
Inventario final ....	60	5	-40									
DPP .....												
PMP .....												

Para evitar que el inventario sea negativo, en ese periodo se debe programar la llegada de un pedido de producción (PMP).

Al llegar ese pedido del tamaño del lote (100) unidades, finalmente:

$$\text{Inventario final del periodo 3} = -40 + 100 = 60$$

.../...

.../...

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pronóstico .....	40	50	40	65	60	40	40	50	50	45	40	125
Pedidos clientes ....	35	55	45	40	35	35	30	25	30	15	5	5
Inventario final .....	60	5	60									
DPP .....												
PMP .....				100								

Para el periodo 4: Inventario final = 60 - Máximo (65; 40) = 60 - 65 = -5

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pronóstico .....	40	50	40	65	60	40	40	50	50	45	40	125
Pedidos clientes ....	35	55	45	40	35	35	30	25	30	15	5	5
Inventario final .....	60	5	60	-5								
DPP .....												
PMP .....				100								

Para evitar que el inventario sea negativo, en ese periodo se debe programar la llegada de un pedido de producción (PMP). Al llegar ese pedido del tamaño del lote (100) unidades, finalmente:

Inventario final del periodo 4 = -5 + 100 = 95

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pronóstico .....	40	50	40	65	60	40	40	50	50	45	40	125
Pedidos clientes ....	35	55	45	40	35	35	30	25	30	15	5	5
Inventario final .....	60	5	60	95								
DPP .....												
PMP .....				100	100							

.../...

.../...

Continuando con este método se llegaría a la siguiente tabla:

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pronóstico .....	40	50	40	65	60	40	40	50	50	45	40	125
Pedidos clientes ....	35	55	45	40	35	35	30	25	30	15	5	5
Inventario final ....	60	5	60	95	35	95	55	5	55	10	70	45
DPP .....			100	100		100			100		100	100
PMP .....												

Una vez que se sabe cuándo van a llegar los pedidos de producción del PMP, se puede obtener el disponible para prometer (DPP).

Antes de la llegada del 1.<sup>er</sup> pedido en el periodo 3, el DPP se calcula como:

$$\text{DPP} \text{ (periodo 1)} = \text{Inventario inicial} - \text{Pedidos clientes antes del 1.<sup>er</sup> pedido}$$

$$\text{PMP (periodos 1 y 2)} = 95 - 35 - 55 = 5$$

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pronóstico .....	40	50	40	65	60	40	40	50	50	45	40	125
Pedidos clientes ....	35	55	45	40	35	35	30	25	30	15	5	5
Inventario final ....	60	5	60	95	35	95	55	5	55	10	70	45
DPP .....	5		100	100		100			100		100	100
PMP .....												

Para el resto de períodos, el DPP se calcula en el periodo que está prevista la llegada de un pedido del PMP, de la siguiente manera:

$$\text{DPP} = \text{PMP} - \text{Sumatorio (todos los pedidos de los clientes hasta el siguiente PMP)}$$

- Para el periodo 3:  $\text{DPP} = 100 - 45 = 55$
- Para el periodo 4:  $\text{DPP} = 100 - 40 - 35 = 25$
- Para el periodo 6:  $\text{DPP} = 100 - 35 - 30 - 25 = 10$
- Para el periodo 9:  $\text{DPP} = 100 - 30 - 15 = 55$
- Para el periodo 11:  $\text{DPP} = 100 - 5 = 95$
- Para el periodo 12:  $\text{DPP} = 100 - 5 = 95$

.../...

.../...

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pronóstico .....	40	50	40	65	60	40	40	50	50	45	40	125
Pedidos clientes ....	35	55	45	40	35	35	30	25	30	15	5	5
Inventario final .....	60	5	60	95	35	95	55	5	55	10	70	45
DPP .....	5		55	25		10			55		95	95
PMP .....			100	100		100			100		100	100

### Establecimiento de inventario de seguridad

¿Cómo sería el plan maestro de producción si se establece un inventario de seguridad de 30 unidades?

En este caso, el inventario al final de cada periodo como mínimo debe ser de esas 30 unidades, con lo que en el caso de que el inventario al final de un periodo fuera menos de 30 unidades, en ese periodo debería llegar un pedido:

Empezamos en el periodo de la barrera de tiempo de la demanda:

- Para el periodo 1: Inventario final = 95 – 35 = 60
- Para el periodo 2: Inventario final = 60 – 55 = 5

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pronóstico .....	40	50	40	65	60	40	40	50	50	45	40	125
Pedidos clientes ....	35	55	45	40	35	35	30	25	30	15	5	5
Inventario final .....	60	5	60	95	35	95	55	5	55	10	70	45
DPP .....			55	25		10			55		95	95
PMP .....			100	100		100			100		100	100

Como en el periodo 2, el inventario es menor de 30 unidades, deberá llegar un pedido de 100 unidades, con lo que el inventario final quedará como las 5 unidades más las 100 del nuevo pedido:

.../...

.../...

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pronóstico .....	40	50	40	65	60	40	40	50	50	45	40	125
Pedidos clientes ....	35	55	45	40	35	35	30	25	30	15	5	5
Inventario final .....	60	105										
DPP .....												
PMP .....		100										

Una vez pasado el periodo de la barrera de tiempo de la demanda:

- Para el periodo 3: Inventario final = 105 – Máximo (40; 45) = 105 – 45 = 60
- Para el periodo 4: Inventario final = 60 – Máximo (65; 40) = 60 – 65 = -5

Y continuando con el método se llegaría a:

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pronóstico .....	40	50	40	65	60	40	40	50	50	45	40	125
Pedidos clientes ....	35	55	45	40	35	35	30	25	30	15	5	5
Inventario final .....	60	105	60	95	35	95	55	105	55	110	70	45
DPP (1) .....	30	0		25		35		45		80		95
PMP .....		100		100		100		100		100		100

(1) El DPP con inventario de seguridad se calcula igual excepto para la primera semana. En esa primera semana hay que restar el inventario de seguridad:

$$\begin{aligned} \text{DPP (periodo 1)} &= \text{Inventario inicial} - \text{Pedidos hasta el 1.º PMP} - \text{Inventario de seguridad} = \\ &= 95 - 35 - 30 = 30 \end{aligned}$$

Como se observa, al tener inventario de seguridad, algunos de los pedidos del PMP se adelantan para poder hacer frente a las unidades de más que se quieren tener en el inventario.

## 8. LA PLANIFICACIÓN APROXIMADA DE LA CAPACIDAD

Es un plan de base temporal derivado del programa maestro de producción, y se basa también en otras series de datos con el fin de determinar la capacidad necesaria

para producir los artículos o prestar los servicios que en el mismo se especifican. Esta capacidad objetivo calculada se compara con la real disponible, de forma que el resultado permite determinar la viabilidad de la misma, y el poder realizar con anticipación, en caso necesario, la previsión de los ajustes vinculados a la actividad, como creación o modificación de turnos, subcontratación de determinados procesos, etc.

La información necesaria para obtener la planificación aproximada de la capacidad es la siguiente:

- Programa maestro de producción.
- La lista de materiales.
- Información de las rutas a realizar en los distintos centros de trabajo, tanto por los productos finales, como por sus componentes, que especifican todas las actividades a realizar.
- Los tamaños de los lotes a procesar.
- Los tiempos unitarios de producción de cada una de las actividades en cada centro de trabajo, así como los tiempos de preparación necesarios en cada centro de trabajo. También es necesaria la información de cuántas piezas que se producen son defectuosas. Como resultado de todo esto se obtendrá el tiempo de carga unitario para cada producto o componente.

El tema de la capacidad se verá con mayor detalle en capítulos posteriores.



## CONCEPTOS BÁSICOS

- Área congelada o barrera de tiempo de demanda.
- Área flexible.
- Área libre o barrera de tiempo de planificación.
- Disponible para prometer (DPP).
- Estrategia externa.
- Estrategia interna.
- Inventario de seguridad.
- Lista de materiales.
- Nivelación de los recursos.
- Plan agregado de producción.
- Plan aproximado de capacidad.
- Programa de ensamblaje final.
- Programa maestro de producción (PMP).
- Seguimiento de la demanda.
- Subcontratación.
- Superlista.
- Técnicas de a prueba y error para planificación agregada.
- Técnicas de optimización de planificación agregada.
- Técnicas de simulación para planificación agregada.
- Técnicas heurísticas de planificación agregada.



## ACTIVIDADES DE AUTOCOMPROBACIÓN

### Enunciado 1

Se quiere realizar el plan agregado de producción para los meses de enero a junio. Para la actividad se van a tomar los siguientes datos de partida:

- Coste materias primas: 75 euros por unidad de producto final.
- Coste mantenimiento del inventario por mes: 10 euros por unidad almacenada.
- Coste rotura de *stock*: 60 euros por unidad de producto final.
- Costes de contratación y entrenamiento: 500 euros por trabajador.
- Costes de despido: 200 euros por trabajador.
- Coste de subcontratación de un producto final: 140 euros por unidad.
- Coste hora trabajo: 10 euros en horario normal.
- Coste hora extra: 15 euros por hora extra trabajada.
- Horas de trabajo requeridas por unidad: 2 horas por unidad.
- Horas de trabajo productivas por día: 8 horas de trabajo al día.
- Inventario inicial: 80 unidades.
- Precio venta producto: 160 euros por unidad vendida.
- Trabajadores iniciales: 14 trabajadores a final de diciembre.
- *Stock* de seguridad: no se tiene *stock* de seguridad.
- Máximo número de horas extra por trabajador y día: 2 horas extra al día.

En la siguiente tabla se detallan para cada mes los días laborables que hay y la demanda esperada:

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Días por mes .....	22	19	21	21	22	20
Demanda .....	1.200	1.150	1.300	1.200	1.500	1.600

Con esta información se quieren analizar diversas estrategias para ver cuál reporta mayores beneficios. En nuestra actividad se van a analizar dos posibles estrategias.

### *Estrategia 1. Estrategia de nivelación*

Tiene las siguientes características:

- Mano de obra constante. Se van a mantener los 14 trabajadores iniciales.
- No se permite rotura de *stock*. Siempre se deberá servir al cliente la demanda esperada cada mes. Para lograrlo se hará uso de las horas extra en primer lugar, y, si se necesitan más productos, se subcontratarán.
- Recordatorio. El número máximo de horas extra por trabajador y día es de 2.
- No hay limitación de almacenaje en los almacenes.

### *Estrategia 2. Estrategia de seguimiento de la demanda*

Se usará lo siguiente:

- Contrataciones y despidos.
- Se pueden realizar horas extra si con eso se evita tener que contratar a otro operario.
- No se permite rotura de *stock*.
- No se permiten subcontrataciones.
- No hay limitación de almacenaje en los almacenes.

## **Enunciado 2**

¿Cuál es el horizonte de planificación de un plan agregado de producción?

## **Enunciado 3**

Obtener el plan maestro de producción de la siguiente situación:

- Producto B.
- Tamaño lote: 1.100 unidades.
- Disponible (inventario inicial): 540 unidades.
- Barrera de tiempo de demanda: 3 semanas.
- Barrera de tiempo de planificación: 10 semanas.

Como punto de inicio se muestra la siguiente tabla, con el pronóstico realizado y los pedidos de clientes:

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pronóstico .....	450	400	480	495	500	480	400	375	350	360	400	420
Pedidos clientes .....	470	420	460	450	520	380	350	350	320	180	150	120
Inventario final .....												
DPP .....												
PMP .....												

DPP = Disponible para prometer.  
PMP = Programa maestro de producción.

## Enunciado 4

Obtener el plan maestro de producción de la siguiente situación:

- Producto D.
- Tamaño lote: 120 unidades.
- Disponible (inventario inicial): 60 unidades.
- Barrera de tiempo de demanda: 3 semanas.
- Barrera de tiempo de planificación: 10 semanas.

Como punto de inicio se muestra la siguiente tabla, con el pronóstico realizado y los pedidos de clientes:

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pronóstico .....	55	60	50	65	75	80	70	60	55	60	70	75
Pedidos clientes .....	50	65	45	55	65	50	45	50	35	20	25	15
Inventario final .....												
DPP .....												
PMP .....												

DPP = Disponible para prometer.  
PMP = Programa maestro de producción.

## Enunciado 5

Obtener el plan maestro de producción de la siguiente situación:

- Producto E.
- Tamaño lote: 200 unidades.
- Disponible (inventario inicial): 180 unidades.
- Barrera de tiempo de demanda: 2 semanas.
- Barrera de tiempo de planificación: 10 semanas.

Como punto de inicio se muestra la siguiente tabla, con el pronóstico realizado y los pedidos de clientes:

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pronóstico .....	150	130	125	160	175	115	100	90	105	110	120	125
Pedidos clientes .....	160	125	130	140	150	95	80	75	85	50	70	80
Inventario final .....												
DPP .....												
PMP .....												

DPP = Disponible para prometer.  
PMP = Programa maestro de producción.

## Enunciado 6

Obtener el plan maestro de producción de la siguiente situación:

- Tamaño lote: 700 unidades.
- Disponible (inventario inicial): 225 unidades.
- Barrera de tiempo de demanda: 4 semanas.
- Barrera de tiempo de planificación: 10 semanas.

Como punto de inicio se muestra la siguiente tabla, con el pronóstico realizado y los pedidos de clientes:

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pronóstico .....	220	220	160	355	250	215	180	325	490	310	400	465
Pedidos clientes .....	285	155	235	350	200	260	235	345	150	305	110	150
Inventario final .....												
DPP .....												
PMP .....												

DPP = Disponible para prometer.  
PMP = Programa maestro de producción.

## Enunciado 7

Obtener el plan maestro de producción de la siguiente situación:

- Tamaño lote: 850 unidades.
- Disponible (inventario inicial): 175 unidades.
- Barrera de tiempo de demanda: 3 semanas.
- Barrera de tiempo de planificación: 10 semanas.

Como punto de inicio se muestra la siguiente tabla, con el pronóstico realizado y los pedidos de clientes:

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pronóstico .....	470	475	175	305	405	460	145	370	205	205	225	395
Pedidos clientes .....	345	260	145	220	200	220	320	175	200	270	300	110
Inventario final .....												
DPP .....												
PMP .....												

DPP = Disponible para prometer.  
PMP = Programa maestro de producción.

## Solución 1

### Estrategia 1

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Total
Días por mes .....	22	19	21	21	22	20	
Demandas .....	1.200	1.150	1.300	1.200	1.500	1.600	
Horas por trabajador y mes .	176	152	168	168	176	160	
Producción por trabajador ...	88	76	84	84	88	80	
Coste por trabajador .....	1.760	1.520	1.680	1.680	1.760	1.600	
Inventario inicial .....	80	112	26	0	0	0	
Requerimientos netos de producción .....	1.120	1.038	1.274	1.200	1.500	1.600	
Producción ordinaria .....	1.232	1.064	1.176	1.176	1.232	1.120	
Producción máxima horas extra .....	308	266	294	294	308	280	
Producción horas extra .....			98	24	268	280	
Subcontratación .....						200	
Inventario final .....	112	26	0	0	0	0	
Costes horas ordinarias .....	24.640	21.280	23.520	23.520	24.640	22.400	
Costes materias primas .....	92.400	79.800	95.550	90.000	112.500	105.000	
Costes mantenimiento inventario .....	1.120	260	0	0	0	0	
Costes horas extra .....	0	0	2.940	720	8.040	8.400	
Costes subcontratación .....	0	0	0	0	0	28.000	
Costes totales .....	118.160	101.340	122.010	114.240	145.180	163.800	<b>764.730</b>
Ingresos totales .....	192.000	184.000	208.000	192.000	240.000	256.000	<b>1.272.000</b>
<b>Beneficio .....</b>	<b>73.840</b>	<b>82.660</b>	<b>85.990</b>	<b>77.760</b>	<b>94.820</b>	<b>92.200</b>	<b>507.270</b>

*Estrategia 2*

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Total
Días por mes .....	22	19	21	21	22	20	
Demanda .....	1.200	1.150	1.300	1.200	1.500	1.600	
Horas por trabajador y mes .....	176	152	168	168	176	160	
Producción por trabajador	88	76	84	84	88	80	
Coste por trabajador ....	1.760	1.520	1.680	1.680	1.760	1.600	
Producción máxima horas extra por trabajador .....	22	19	21	21	22	20	
Inventario inicial .....	80	0	0	0	0	0	
Requerimientos netos de producción .....	1.120	1.150	1.300	1.200	1.500	1.600	
Trabajadores necesarios	10,2	12,1	12,4	11,4	13,6	16	
Trabajadores .....	11	13	13	12	14	16	
Contrataciones .....		2			2	2	
Despidos .....	3			1			
Producción ordinaria ....	968	988	1.092	1.008	1.232	1.280	
Producción horas extra .	152	162	208	192	268	320	
Inventario final .....	0	0	0	0	0	0	
Costes horas ordinarias	19.360	19.760	21.840	20.160	24.640	25.600	
Costes materias primas	84.000	86.250	97.500	90.000	112.500	120.000	
Coste horas extra .....	4.560	4.860	6.240	5.760	8.040	9.600	
Costes contratación .....	0	1.000	0	0	1.000	1.000	
Costes despido .....	600	0	0	200	0	0	
Costes totales .....	108.520	111.870	125.580	116.120	146.180	156.200	<b>764.470</b>
Ingresos totales .....	192.000	184.000	208.000	192.000	240.000	256.000	<b>1.272.000</b>
<b>Beneficio .....</b>	<b>83.480</b>	<b>72.130</b>	<b>82.420</b>	<b>75.880</b>	<b>93.820</b>	<b>99.800</b>	<b>507.530</b>

Se observa que la estrategia 2 tiene un beneficio superior a la estrategia 1, por lo que sería la estrategia elegida, aunque realmente la diferencia entre ambas estrategias es mínima.

## Solución 2

El horizonte de planificación del plan agregado de producción suele ir de 6 a 18 meses; siendo normalmente meses los períodos de tiempo en que se divide este horizonte.

## Solución 3

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pronóstico .....	450	400	480	495	500	480	400	375	350	360	400	420
Pedidos clientes ..	470	420	460	450	520	380	350	350	320	180	150	120
Inventario final ...	70	750	290	895	375	995	595	220	970	610	210	890
DPP .....	70	220		130		20			450			980
PMP .....		1.100		1.100		1.100			1.100			1.100

## Solución 4

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pronóstico .....	55	60	50	65	75	80	70	60	55	60	70	75
Pedidos clientes ..	50	65	45	55	65	50	45	50	35	20	25	15
Inventario final ...	10	65	20	75	0	40	90	30	95	35	85	10
DPP .....	10	10		0		70	25		65		80	
PMP .....		120		120		120	120		120		120	

Consideración importante: al ser la barrera de tiempo de demanda de 3 semanas, en esas 3 semanas únicamente se consideran los pedidos de los clientes. A partir de la semana 4 se toma el máximo entre los pedidos y el pronóstico.

## Solución 5

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pronóstico .....	150	130	125	160	175	115	100	90	105	110	120	125
Pedidos clientes ..	160	125	130	140	150	95	80	75	85	50	70	80
Inventario final ...	20	95	165	5	30	115	15	125	20	110	190	65
DPP .....	20	75	-70		50	25		40		150	50	
PMP .....		200	200		200	200		200		200	200	

Consideraciones importantes:

- Al ser la barrera de tiempo de demanda de 2 semanas, en esas 2 semanas únicamente se consideran los pedidos de los clientes. A partir de la semana 3 se toma el máximo entre los pedidos y el pronóstico.
- Se observa que en la semana 3 se obtiene un DPP negativo. Esta posibilidad existe, aunque no suele ser muy normal. Se puede dar si existen en las semanas anteriores DPP que sumen más que el negativo, y que le contrarresten.

## Solución 6

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pronóstico .....	220	220	160	355	250	215	180	325	490	310	400	465
Pedidos clientes ..	285	155	235	350	200	260	235	345	150	305	110	150
Inventario final ...	640	485	250	600	350	90	555	210	420	110	410	645
DPP .....	250	0	0	-110	0	0	120	0	245	0	590	550
PMP .....	700	0	0	700	0	0	700	0	700	0	700	700

Aclaración DPP de la primera semana:

$$\begin{aligned} \text{Inventario inicial + PMP} - \text{Pedidos clientes hasta siguiente PMP} &= \\ &= 225 + 700 - 285 - 155 - 235 = 250 \end{aligned}$$

## Solución 7

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pronóstico .....	470	475	175	305	405	460	145	370	205	205	225	395
Pedidos clientes ..	345	260	145	220	200	220	320	175	200	270	300	110
Inventario final ...	680	420	275	820	415	805	485	115	760	490	190	645
DPP .....	275	0	0	430	0	135	0	0	80	0	0	740
PMP .....	850	0	0	850	0	850	0	0	850	0	0	850

Aclaración DPP de la primera semana:

$$\begin{aligned} \text{Inventario inicial + PMP - Pedidos clientes hasta siguiente PMP} &= \\ &= 175 + 850 - 345 - 260 - 145 = 275 \end{aligned}$$



## EJERCICIOS VOLUNTARIOS

1. ¿Qué tipo de estrategias internas se usan en la planificación agregada de producción?
2. ¿Qué tipos de períodos de tiempo distintos (áreas) se distinguen en el programa maestro de producción?
3. Realizar el siguiente programa maestro de producción:

- Producto C.
- Tamaño lote: 500 unidades.

- Disponible (inventario inicial): 430 unidades.
- Barrera de tiempo de demanda: 2 semanas.
- Barrera de tiempo de planificación: 10 semanas.

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pronóstico .....	210	230	195	200	190	225	260	210	200	180	190	195
Pedidos clientes	215	200	180	175	200	160	150	130	125	100	55	40
Inventario final												
DPP .....												
PMP .....												



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### Básica

- Chapman, S. N. *Planificación y control de la producción*, México, Pearson Education, 2006.
- Davis, M. M.; Aquilano, N. J. y Chase, R. B. *Fundamentals of operations management*, International Edition, McGraw-Hill, 1999.
- *Administración de producción y operaciones. Manufactura y servicios*, Santa Fe de Bogotá, McGraw-Hill, 2000.
- Domínguez Machuca, J. A. et al. *Dirección de operaciones. Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios*, Madrid, McGraw-Hill, 1995.
- Gaither, N. y Frazier, G. *Administración de producción y operaciones*, México, Thomson Editores, 2000.
- Heizer, J. y Render, B. *Dirección de la producción. Decisiones tácticas*, Madrid, Pearson Education, 2001.