

# TÉCNICAS DE PLANIFICACIÓN AGREGADA

**Autores:** Ángel A. Juan (ajuana@uoc.edu), Rafael García Martín (rgarciamart@uoc.edu).

## INTRODUCCIÓN

La planificación es un proceso continuo que tiene por objeto anticipar decisiones con la finalidad de optimizar el uso de los recursos productivos. Supone, en definitiva, un intento de resolver el problema de ajustar las capacidades del sistema productivo a la demanda real o prevista. En este sentido, los inventarios jugarán un papel fundamental, ya que en algunos períodos fabricaremos cantidades superiores a la demanda, y en otros, cantidades inferiores, generándose así un ciclo de estocs.

Resulta habitual considerar diferentes **niveles de planificación**:

Planificación	Horizonte temporal	Objetivo	Tipo de decisiones
Agregada	Largo	Fijar las grandes líneas de actuación y detectar grandes problemas con antelación	Poco concretas
Detallada	Medio	Gestión de materiales y cálculo de necesidades	Bastante detalladas
Programación	Corto	Analizar detalladamente lo que pasará y decidir las acciones más apropiadas	Muy concretas

La planificación es un **proceso continuo**: coexisten simultáneamente diversos planes/niveles vigentes, coordinados y jerarquizados, de manera que cada uno estudia el problema desde un punto de vista diferente. Estos planes tendrán en consideración horizontes diferentes y serán reelaborados periódicamente antes de que se llegue al final de su horizonte.

Para definir un plan, deberemos fijar seis características:

- 1) **Finalidad**: objetivos del plan
- 2) **Nivel de detalle**: tipo de información que contiene
- 3) **Horizonte**: período de tiempo durante el cual se considerará
- 4) **Unidad temporal**: intervalos temporales en que se divide el horizonte (meses, semanas, etc.)
- 5) **Frecuencia**: tiempo que transcurrirá entre dos versiones sucesivas del plan
- 6) **Rigidez**: período durante el cual las decisiones planificadas ya son definitivas

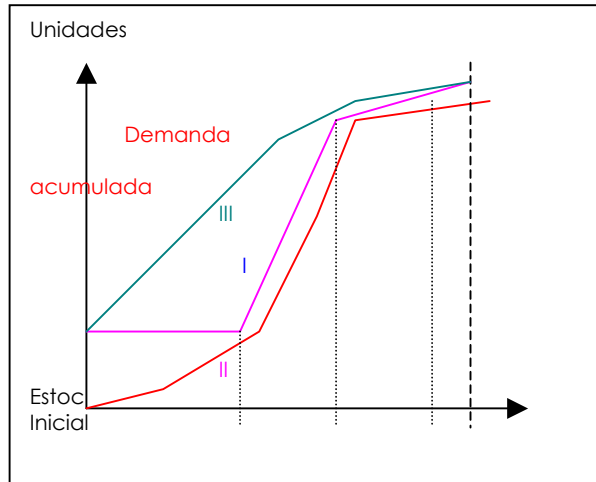
## DISEÑO DE UN SISTEMA DE PLANIFICACIÓN CONTINUADA

Nombre	Finalidad	Horizonte	Unidad temporal	Frecuencia	Período de rigidez	Detalle
Plan estratégico de productos	Definir nuevos productos o nuevo mercado	10 años	1 a 2 años	Anual/ bianual	3 a 4 años	Grandes familias de productos
Plan estratégico de procesos	Modificaciones de la tecnología o la capacidad	5 a 7 años	1 a 2 años	Anual	1 a 4 años	Grandes opciones
Plan táctico de inversiones	Coordinar proyectos de inversión	3 a 5 años	1 trimestre a 1 año	Anual	1 año	Proyectos/ actividades
Plan maestro de producción	Coordinar el uso de los recursos escasos	12 a 18 meses	1 mes a 1 trimestre	Mensual	2 a 4 meses	Unidades de base (familias) + opciones
Plan detallado de producción	Coordinar producción y ventas. Aprovisionamiento	3 a 8 meses	1 semana a 1 mes	Semanal/ Mensual	1 a 3 meses	Unidades de base (familias)
Programa de producción	Asignar operaciones a períodos y lugares	1 a 6 semanas	Día	Diaria/ Semanal	2 a 3 días	Unidades, subconjuntos, piezas, elementos
Secuencia (lanzamiento)	Establecer la secuencia de operaciones					

## PLANIFICACIÓN INTUITIVA

La **planificación intuitiva** nos da un procedimiento con el cual resulta sencillo elaborar y evaluar diferentes planes maestros, pero no ofrece garantías de que estos planes sean los óptimos. Partimos de un gráfico en que el eje de abscisas representa el tiempo, desde el inicio del plan hasta el horizonte de planificación ( $T$ ). En el eje de ordenadas hemos de indicar las *unidades* adecuadas para medir la producción, la demanda y los estocs.

El gráfico representa la **demanda acumulada** a lo largo del período a planificar, así como los diferentes planes alternativos, cada uno de los cuales representa la **producción acumulada** en cada momento (incluido el estoc inicial). El estoc en un instante cualquiera,  $t$ , será la diferencia de ordenada entre la línea de producción y la de demanda, y si la primera se sitúa por debajo de la segunda en algún punto, en dicho instante se producirá una **ruptura de estocs**.



La pendiente de la línea de producción indica la tasa de producción que el plan prevé en cada punto, lo que significa que hay un ángulo máximo admisible, correspondiente a la producción máxima (así podremos comprobar si un plan es factible o no). En este gráfico se han representado, para una misma línea de demanda y estocs inicial y final, tres planes diferentes.

El **plan I** mantiene siempre una tasa de producción constante, pero genera una ruptura de estocs entre  $t_2$  y  $t_3$ , por tanto, no resultará aceptable. El **plan II** no genera ruptura, y mantiene siempre un nivel bajo de estocs, pero durante el tramo de los instantes  $t_1$  a  $t_2$  hay una tasa de producción muy alta, que podría resultar no factible (o factible pero a un gran coste). Además, tanto al principio como al final, la tasa de producción es muy baja. Finalmente, el **plan III** mantiene siempre unas tasas de producción razonables, aunque a costa de crear un estoc considerable durante más de la mitad del tiempo.

Es muy habitual que la empresa opte por mantener un **estoc mínimo o de seguridad** en el almacén (en especial cuando la demanda estimada pueda sufrir variaciones importantes, o los costes de diferir la entrega sean muy elevados). Así, la línea de producción no solamente no ha de situarse por debajo de la de demanda, sino que deberá mantenerse a cierta distancia, es decir, por encima de la línea de la **demanda corregida**. En el caso de que el estoc mínimo a mantener sea constante, esta demanda corregida será simplemente la demanda + el estoc de seguridad. Si el estoc mínimo es variable, en cada período de planificación habrá cierta cantidad de unidades que se deberán de añadir o extraer de la demanda a causa de la variación de estoc. Así, p.e., si la demanda en un período es de 500 unidades y el estoc mínimo baja de 200 a 150 unidades, no será necesario producir 50 de las unidades de la demanda ya que las podremos obtener de la disminución en el estoc. En general, tendremos pues que, para el período  $t$ -ésimo ( $P_t$ ):

$$\text{Demanda corregida en } P_t = \text{demanda en } P_t + \text{estoc seguridad en } P_t - \text{estoc seguridad en } P_{(t-1)}$$

Por convenio, para el primer período, tomaremos la demanda corregida como la suma de la demanda y el estoc de seguridad asociado. El estoc inicial siempre lo incluiremos en la producción disponible. A la hora de planificar la producción, cabrán pues tres estrategias posibles en base a las propiedades de la demanda:

1. En aquellos casos en que la demanda estimada tenga nula (o casi nula) variabilidad, y en los que además el coste de diferir la entrega sea relativamente razonable, será posible plantearse la posibilidad de **diferir voluntariamente la demanda** (rupturas previstas de estoc) y estudiar si los costes derivados de ello compensan la consecuente disminución en los costes de posesión. Observar que la única restricción

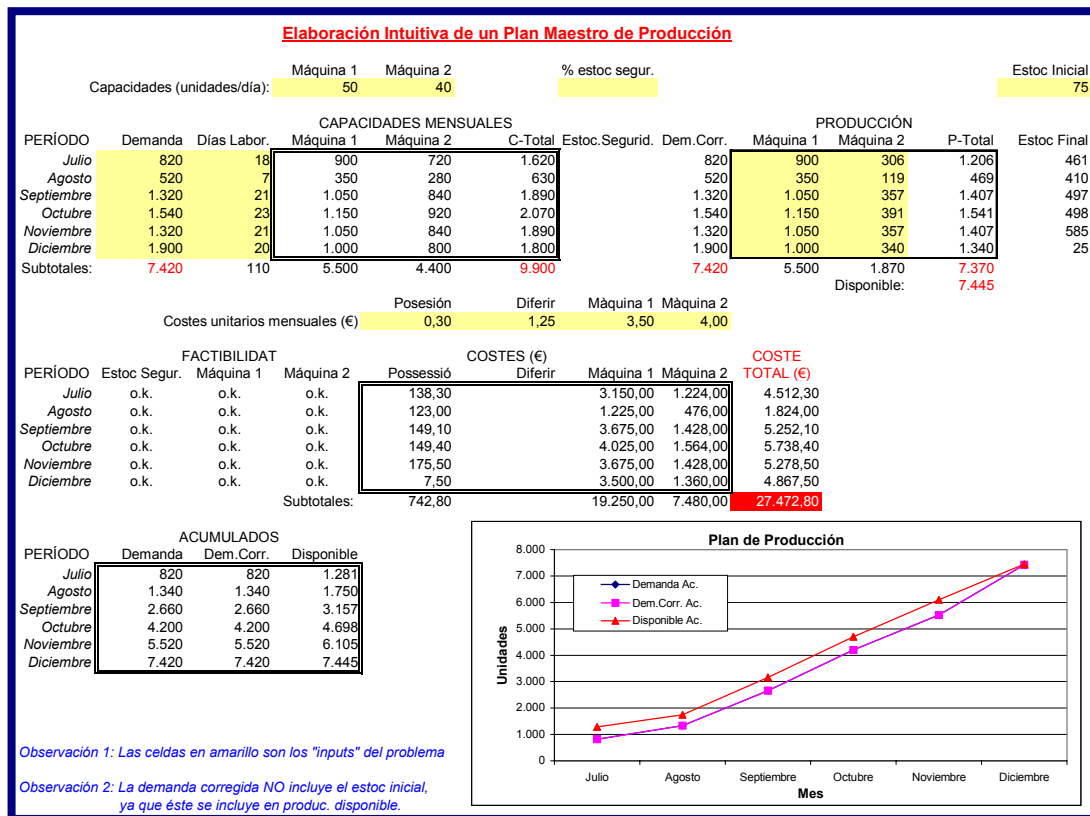
que estamos imponiendo a nuestro plan es que al final del horizonte de planificación hayamos satisfecho toda la demanda estimada.

2. Cuando los costes de diferir la entrega sean muy elevados pero sigamos teniendo una demanda estimada sin variabilidad (i.e., la demanda prevista coincidirá con la demanda real), planificaremos directamente sobre la demanda estimada, aunque **no consentiremos rupturas de estoc** en nuestro plan (debido a los elevados costes que esto causaría). En este caso, la restricción que le estamos imponiendo al plan será la de satisfacer la demanda prevista a final de cada mes (o período).
3. Finalmente, si estimamos que la demanda prevista podrá sufrir variaciones importantes, resultará conveniente **considerar un estoc de seguridad** que nos sirva de "colchon" ante posibles aumentos de la misma. En tal caso, a la hora de elaborar nuestro plan, utilizaremos la demanda corregida como punto de partida. Al introducir estos estocs mínimos en nuestro plan, estaremos exigiendo que, a final de cada mes, se satisfaga la demanda corregida del período.

**Ejemplo 1:** La empresa JOVÉ & FARRÉ, S.L. quiere planificar su producción para los próximos seis meses en base a los datos de la tabla inferior. Se dispone de una máquina 1 que es capaz de producir 50 unidades por día a un coste de 3,50 € por unidad, y de una máquina 2 con una capacidad de 40 unidades diarias a un coste unitario de 4,00 €. El coste de posesión por unidad y mes es de 0,30 €, mientras que el coste de diferir la demanda de cada unidad es de 1,25 € por mes. El estoc inicial es de 75 unidades. y se pretende establecer un estoc de seguridad variable que sea el 15% de la demanda de cada mes.

	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Días Laborales	18	7	21	23	21	20
Demanda	820	520	1320	1540	1320	1900

a) Determinar un plan con tasa de producción diaria constante e igual a la media.



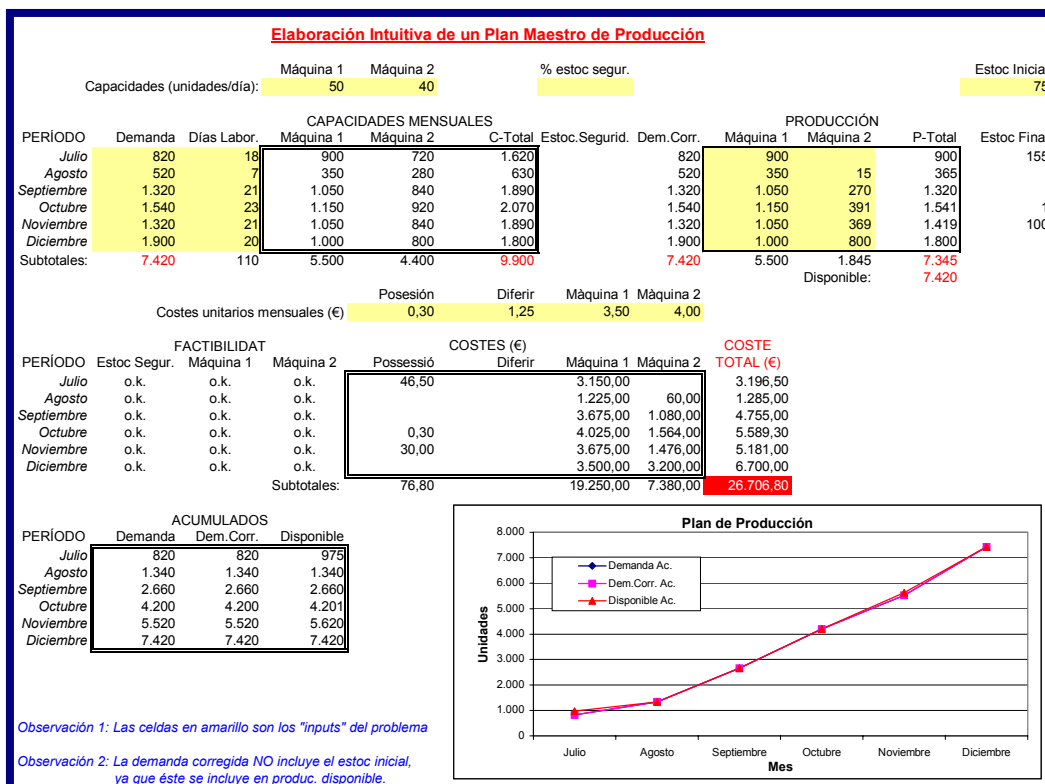
A fin de agilizar la planificación de la producción, usaremos el fichero **Planif\_Intuit.xls**. A partir del enunciado anterior podemos calcular la demanda neta total, que será de 7.345 (7.420 – 75) unidades. Como en total disponemos de 110 días laborables, la tasa media de producción diaria es de aprox. 67 unidades. Multiplicando esta tasa por el número de días laborables de cada mes obtenemos la producción mensual, la cual distribuiremos entre las máquinas 1 y 2 según se muestra en la hoja (“apurando”) las capacidades de la máquina 1, cuyo uso es más económico, antes de utilizar la máquina 2):

Vemos pues que: el plan propuesto es totalmente factible (no se ha disparado ninguna de las “alarmas” que avisarían de una eventual ruptura de estocs o de una propuesta de producción excesiva para las capacidades reales), supondrá la producción total de 7.370 unidades (67 por día x 110 días), con un estoc final de 25 unidades y con un coste total de 27.472,80 €. En el gráfico incluido en la hoja se puede observar la evolución de las tres líneas (demanda acumulada, demanda corregida acumulada y producción acumulada).

Es evidente que este plan, a pesar de ser factible, no es óptimo: al producir a una tasa diaria constante (independientemente de que la demanda de ese mes sea mayor o menor), obtenemos un nivel de estocs que se sitúa, en muchos períodos, bastante por encima del nivel ideal (estoc de seguridad). Ello acarrea como consecuencia unos costes de posesión elevados.

b) Hallar un segundo plan que, siendo factible, mejore el anterior (tenga un coste menor).

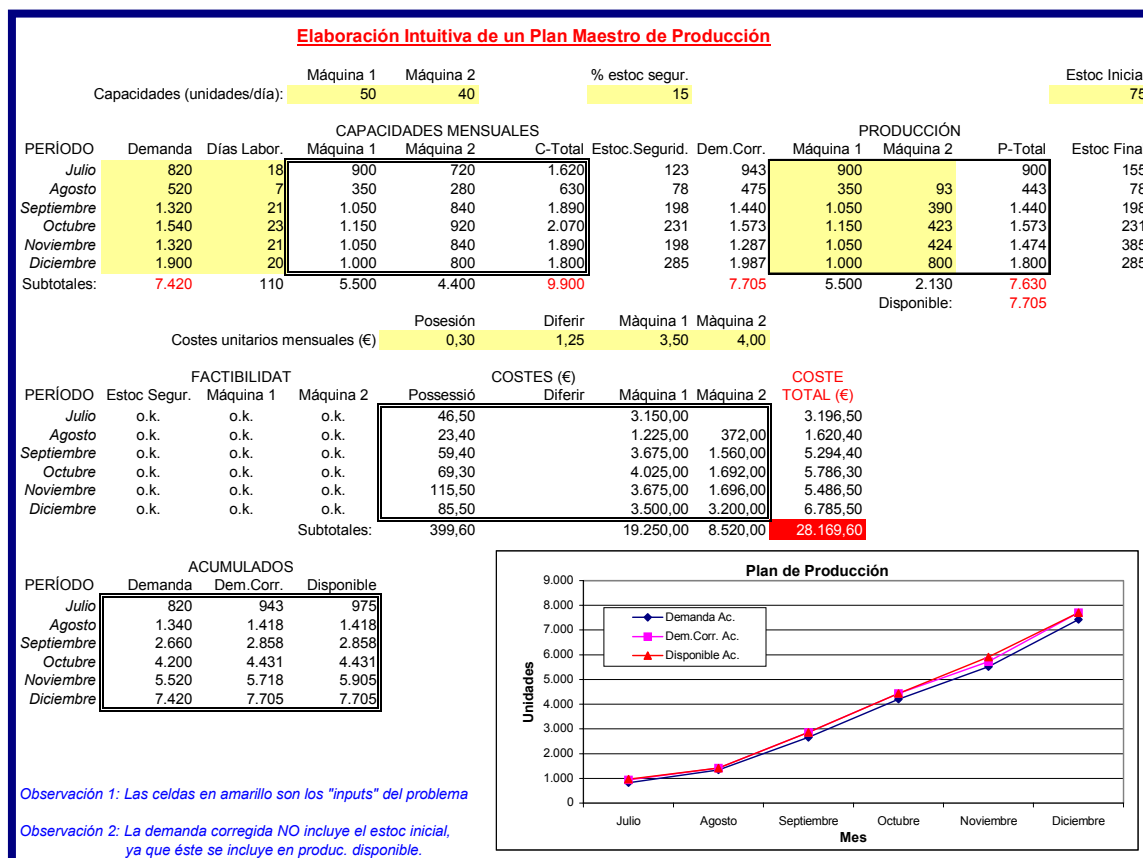
A fin de obtener un plan de producción mejor, propondremos ajustar más la producción a la demanda mensual, de forma que se evite, en lo posible, producir mucho en meses en los que la demanda es más baja. En cualquier caso, no debemos olvidar las limitaciones de capacidad que tenemos, ni tampoco la táctica anterior de “apurar” la capacidad productiva de la máquina 1 antes de pasar a usar la 2.



En base a estos criterios, podemos ir “jugando” con las celdas que definen la producción mensual de cada máquina, con lo que obtendremos una serie de planes. El siguiente es uno de ellos, resulta factible, produce un total de 7.345 unidades (justo las que realmente

necesitamos), y tiene un coste total de 26.706,80 € (notar la sensible disminución en concepto de costes de posesión respecto al plan anterior):

- c) Supongamos ahora que la empresa decide trabajar con un estoc de seguridad variable consistente en el 15% de la demanda prevista para cada mes. Determinar un plan que, siendo factible, mantenga el nivel de estoc final previsto por encima del estoc de seguridad. Dado que queremos mantener un estoc mínimo, deberemos satisfacer la demanda corregida a final de cada mes. Esta demanda corregida totaliza 7.705 unidades, de las cuales 75 ya han sido fabricadas (estoc inicial), por lo que deberemos producir un total de 7.630 nuevas unidades. A continuación se muestra un plan factible que "respeta" en todo momento los estocs mínimos exigidos:



**Ejemplo 2:** Se trata de planificar la producción anual de una empresa de Sabadell, tomando como unidad temporal el mes a partir de la demanda prevista y los días laborables de cada mes:

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Dem.	800	650	900	700	1050	1400	1600	1550	1350	1250	700	900
Labor.	18	14	19	17	17	12	14	0	17	18	19	18

En cada día de producción se pueden fabricar hasta 50 unidades, producción que puede incrementarse en un 16% vía horas extras, con un sobrecoste adicional de 0,4 €/unidad. Caso de no ser suficiente, podemos subcontratar producción en un taller externo, con un sobrecoste de 0,6 €/unidad, si bien de forma limitada: durante los primeros cuatro meses se pueden subcontratar un tope de 800 unidades/mes; en mayo y junio, un máximo de 400 unidades/mes; entre julio y octubre, ninguna, mientras que en noviembre y diciembre, un tope de 200 unidades/mes.

El estoc inicial es de 400 unidades, y el estoc remanente a final de mes supone un coste de posesión de 0,3 €/unidad.

- a) Diseñar un plan suponiendo que la demanda estimada vaya a coincidir con la real, y sabiendo que el coste de diferir la entrega es de 3 € por unidad y mes.



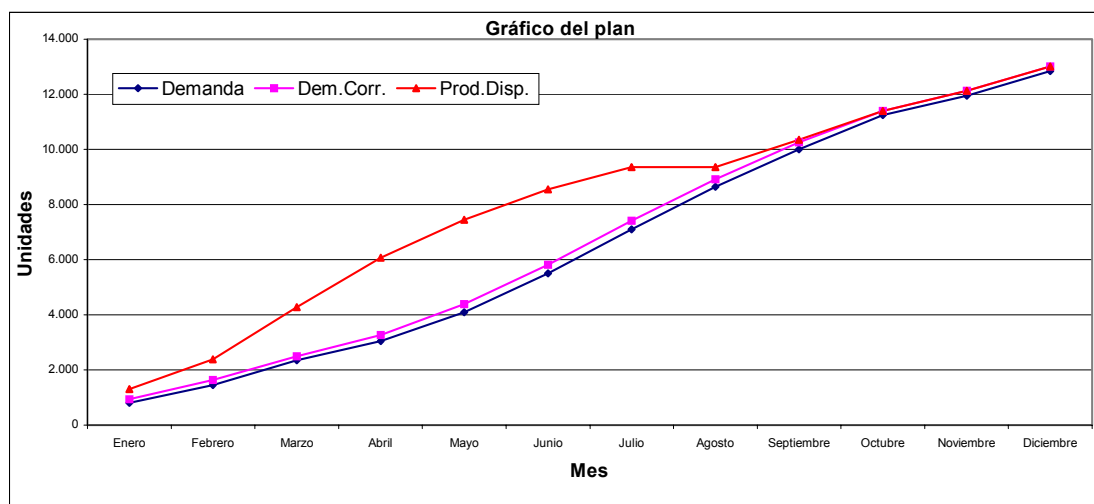
**Ejemplo 2 de elaboración intuitiva de un plan maestro de producción**

PERIODO	Demanda	Días Lab.	CAPACIDADES			Estoc mín.	Dem. Corr.	PRODUCCIÓN			P-Total	Estoc final
			Normal	Extra 1	Extra 2			Normal	Extra 1	Extra 2		
			Unid./día	% C. Ext.1		% estoc mín.					Estoc inicial	
			50	16		20					400	
<b>Enero</b>	800	18	900	144	800	130	930	900			900	500
<b>Febrero</b>	650	14	700	112	800	180	700	700	112	266	1.078	928
<b>Marzo</b>	900	19	950	152	800	140	860	950	152	800	1.902	1.930
<b>Abril</b>	700	17	850	136	800	210	770	850	136	800	1.786	3.016
<b>Mayo</b>	1.050	17	850	136	400	280	1.120	850	136	400	1.386	3.352
<b>Junio</b>	1.400	12	600	96	400	320	1.440	600	96	400	1.096	3.048
<b>Julio</b>	1.600	14	700	112		310	1.590	700	112		812	2.260
<b>Agosto</b>	1.550					270	1.510					710
<b>Septiembre</b>	1.350	17	850	136		250	1.330	850	136		986	346
<b>Octubre</b>	1.250	18	900	144		140	1.140	900	144		1.044	140
<b>Noviembre</b>	700	19	950	152	200	180	740	740			740	180
<b>Diciembre</b>	900	18	900	144	200	160	880	880			880	160
<b>Subtotales:</b>	<b>12.850</b>	<b>183</b>	<b>9.150</b>	<b>1.464</b>	<b>4.400</b>		<b>13.010</b>	<b>8.920</b>	<b>1.024</b>	<b>2.666</b>	<b>12.610</b>	
			<b>Total Capacidad:</b>	<b>15.014</b>				<b>Total Disponible:</b>	<b>13.010</b>			

Observación: las celdas en amarillo representan los "inputs" del problema

COSTES UNITARIOS (Euros):	Posesión	Diferir	Cap. Extra 1	Cap. Extra 2
	0,30	3,00	0,40	0,60

	ACUMULADOS			FACTIBILIDAD DEL PLAN				COSTES TOTALES (Euros)				COSTE TOTAL (Eur)
	Demanda	Dem.Corr.	Disponible	Estoc mín.	Cap. Normal	Cap.Extra1	Cap.Extra2	Posesión	Diferir	Cap.Extra1	Cap.Extra2	
<b>Enero</b>	800	930	1.300	o.k.	o.k.	o.k.	o.k.	150,00				150,00
<b>Febrero</b>	1.450	1.630	2.378	o.k.	o.k.	o.k.	o.k.	278,40		44,80	159,60	482,80
<b>Marzo</b>	2.350	2.490	4.280	o.k.	o.k.	o.k.	o.k.	579,00		60,80	480,00	1.119,80
<b>Abril</b>	3.050	3.260	6.066	o.k.	o.k.	o.k.	o.k.	904,80		54,40	480,00	1.439,20
<b>Mayo</b>	4.100	4.380	7.452	o.k.	o.k.	o.k.	o.k.	1.005,60		54,40	240,00	1.300,00
<b>Junio</b>	5.500	5.820	8.548	o.k.	o.k.	o.k.	o.k.	914,40		38,40	240,00	1.192,80
<b>Julio</b>	7.100	7.410	9.360	o.k.	o.k.	o.k.	o.k.	678,00		44,80		722,80
<b>Agosto</b>	8.650	8.920	9.360	o.k.	o.k.	o.k.	o.k.	213,00				213,00
<b>Septiembre</b>	10.000	10.250	10.346	o.k.	o.k.	o.k.	o.k.	103,80		54,40		158,20
<b>Octubre</b>	11.250	11.390	11.390	o.k.	o.k.	o.k.	o.k.	42,00		57,60		99,60
<b>Noviembre</b>	11.950	12.130	12.130	o.k.	o.k.	o.k.	o.k.	54,00				54,00
<b>Diciembre</b>	12.850	13.010	13.010	o.k.	o.k.	o.k.	o.k.	48,00				48,00
<b>SUBTOTALES (Eur):</b>								<b>4.971,00</b>		<b>409,60</b>	<b>1.599,60</b>	<b>6.980,20</b>



El coste de este plan asciende a 6.980,20 €, en él se producen un total de 12.610 unidades (es decir, volverán a sobrar 160), aunque, a diferencia del anterior, este plan siempre mantiene unos niveles de estoc por encima del nivel que marca el estoc mínimo exigido (lo cual explica el mayor coste, debido a los costes de posesión de este inventario "extra").

## PLANIFICACIÓN ÓPTIMA (PROBLEMA DEL TRANSPORTE)

Con la planificación intuitiva, y usando una hoja de cálculo como la anterior, es fácil generar y evaluar nuevos planes maestros de producción (PMP), pero la calidad de éstos dependerá completamente de la habilidad, la experiencia y la inspiración del planificador.

Otra posibilidad más fiable para encontrar un buen plan de producción se basa en la aplicación a la planificación del llamado **problema del transporte**, uno de los modelos más conocidos de la programación lineal. En síntesis, la cuestión a resolver consiste en *transportar, con un coste mínimo, capacidad de producción des de un período determinado a otro en en que haya una demanda por cubrir*. Es necesario, pues, identificar tres conjuntos:

1. **Un conjunto de fábricas u orígenes** desde donde transportar la producción: son los pares compuestos por los diversos períodos de tiempo y el tipo de recurso usado en la producción.
2. **Un conjunto de destinos** a los cuales hay que trasportar la producción: són las cantidades de la dem. corregida o de la demanda (según haya o no estocs mínimos) para cada período.
3. **Unos costes unitarios de transporte**, uno por cada par origen-destino: son los costes variables derivados del uso de los diferentes recursos de producción más los costes derivados de la posesión de estocs y, si se considera, los de diferir la entrega.

Los **costes de producción** se han de definir teniendo en cuenta que sólo aparecerán costes estrictamente directos; es decir, que si no se usa el recurso no habrá coste, y si se utiliza, el coste será proporcional a la cantidad de recurso utilizada. De esta forma, el salario fijo de los trabajadores no se habrá de contar como coste de producción, ya que lo tendremos que pagar de igual forma. En cambio, las horas extra, las primas y similares si se deberán considerar.

Por lo que respecta al **transporte**, éste tiene dos sentidos: el transporte hacia el futuro (usar capacidad de enero para cubrir la demanda de mayo, por ejemplo) tiene un sentido claro ya que se trata de acumular material en el almacén; por tanto, su coste será el de posesión del estoc. El transporte hacia el pasado representa la situación inversa, es decir, usar capacidad de mayo para cubrir la demanda de enero, lo cual equivale a decir que no serviremos la demanda de enero hasta mayo (retraso en la entrega del pedido). Por tanto, el coste de este tipo de transporte será el coste de diferir (si no se permite esta opción, siempre podemos asignar un valor infinito a este tipo de coste, con lo que eliminamos esta opción).

Así, en el ejemplo 2 del apartado anterior, tendríamos:

1. Orígenes:	31 orígenes diferentes, uno por cada tipo de producción diferente y mes, incluyendo el estoc inicial como producción 0, y contando con que en agosto no hay capacidad de ningún tipo, y que entre julio y octubre no hay producción del tipo Extra 2.
2. Destinos:	Los 12 meses del horizonte de planificación
3. Costes de producción	En el caso de la producción Extra 1 y Extra 2, son de 0,40 y 0,60 Eur/unidad respectivamente.
4. Costes de transporte:	Hacia el futuro → costes de estoc, 0,30 Eur/unidad-mes Hacia el pasado → costes de diferir, 3 Eur/unidad-mes

Veamos a continuación cómo podemos aplicar este método a los ejemplos anteriores, a fin de calcular los planes maestros de producción que resultan ser óptimos en cada caso:

**Ejemplo 1:** *Volviendo al caso de JOVÉ & FARRÉ, se pretende ahora hallar el plan óptimo de producción cuando:*

- a) *La demanda estimada se supone exacta y, por tanto, se permite difereir la entrega si ello es rentable.*

Usaremos el fichero **Planif\_Exac.xls**, el cual hace uso de la macro **Solver**. A continuación se muestra el plan óptimo obtenido para este ejemplo, el cual tiene un coste total de 26.706,50 €. Observar que la única restricción que hacemos respecto a la entrega es que a final de año debemos haber satisfecho la totalidad de la demanda prevista:

<b>Plan de Producción Óptimo - Método del Transporte</b>								
<i>"Inputs" (celdas con fondo amarillo):</i>								
Estoc Inicial (unidades)	75	Julio	Días Laborab.	18	Demanda	820		
Coste Posesión Unit. (€)	0,30	Agosto		7	Estoc Secur.	520		
Coste prod. unit. Máq. 1 (€)	3,50	Septiembre		21	Dem.Corr.	1.320		
Coste prod. unit. Máq. 2 (€)	4,00	Octubre		23		1.540		
% Estoc Seguretat		Noviembre		21		1.320		
Capac.Máq.1(unid/día)	50	Diciembre		20		1.900		
Capac.Máq.2(unid/día)	40			110		7.420		
Coste diferir unit.-mes (€)	1,25					7.420		
Observación: si se cambian los "inputs" es necesario volver a ejecutar la macro Solver								
<i>Coste de "transporte" unitario:</i>								
		DESTINOS						
ORÍGENES	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre		
Estoc Inicial		0,30	0,60	0,90	1,20	1,50		
Jul-Máquina 1	3,50	3,80	4,10	4,40	4,70	5,00		
Jul-Máquina 2	4,00	4,30	4,60	4,90	5,20	5,50		
Ago-Máquina 1	4,75	3,50	3,80	4,10	4,40	4,70		
Ago-Máquina 2	5,25	4,00	4,30	4,60	4,90	5,20		
Sep-Máquina 1	6,00	4,75	3,50	3,80	4,10	4,40		
Sep-Máquina 2	6,50	5,25	4,00	4,30	4,60	4,90		
Oct-Máquina 1	7,25	6,00	4,75	3,50	3,80	4,10		
Oct-Máquina 2	7,75	6,50	5,25	4,00	4,30	4,60		
Nov-Máquina 1	8,50	7,25	6,00	4,75	3,50	3,80		
Nov-Máquina 2	9,00	7,75	6,50	5,25	4,00	4,30		
Dic-Máquina 1	9,75	8,50	7,25	6,00	4,75	3,50		
Dic-Máquina 2	10,25	9,00	7,75	6,50	5,25	4,00		
<i>Plan de Producción Óptimo ("output"):</i>								
		DESTINOS					Enviado	Capacidad
ORÍGENES	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre		
Estoc Inicial	75						75 <=	75
Jul-Máquina 1	745	155					900 <=	900
Jul-Máquina 2							<=	720
Ago-Máquina 1		350					350 <=	350
Ago-Máquina 2		15					15 <=	280
Sep-Máquina 1			1.050				1.050 <=	1.050
Sep-Máquina 2			270				270 <=	840
Oct-Máquina 1				1.150			1.150 <=	1.150
Oct-Máquina 2				390			390 <=	920
Nov-Máquina 1					950	100	1.050 <=	1.050
Nov-Máquina 2					370		370 <=	840
Dic-Máquina 1						1.000	1.000 <=	1.000
Dic-Máquina 2						800	800 <=	800
Total Recibido	820	520	1.320	1.540	1.320	1.900	7.420	
	>=	>=	>=	>=	>=	>=		
Total Demanda	820	520	1.320	1.540	1.320	1.900		
	Julio	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	Desembre	TOTAL (€)	
Costes 1 (€)	2.607,50	1.874,00	4.755,00	5.585,00	4.805,00	7.080,00	26.706,50	
Costes 2 (€)								
Total (€)	2.607,50	1.874,00	4.755,00	5.585,00	4.805,00	7.080,00	26.706,50	
Observación: Los Costes 2 reflejan los costes de posesión de los estocs de seguridad								

b) Se utilizan los estocs de seguridad (i.e., se exige un nivel de estoc mínimo a final de cada mes).

En esta ocasión deberemos exigir que se satisfaga la demanda corregida a final de cada mes. Ello lo haremos en dos partes: por un lado, exigiremos que a final de año se haya satisfecho la demanda corregida de cada período, y por otro, impediremos que se pueda diferir la entrega asignando un valor muy elevado al coste de diferir. El resultado es el siguiente:

**Plan de Producción Óptimo - Método del Transporte**

"Inputs" (celdas con fondo amarillo):

		Días Laborab.	Demanda	Estoc Secur.	Dem.Corr.
Estoc Inicial (unidades)	75	Julio	18	123	943
Coste Posesión Unit. (€)	0,30	Agosto	7	78	475
Coste prod. unit. Máq. 1 (€)	3,50	Septiembre	21	198	1.440
Coste prod. unit. Máq. 2 (€)	4,00	Octubre	23	231	1.573
% Estoc Seguretat	15	Noviembre	21	198	1.287
Capac.Máq.1(unid/día)	50	Diciembre	20	285	1.987
Capac.Máq.2(unid/día)	40		110	7.420	7.705
Coste diferir unit.-mes (€)	99.999,00				

Observación: si se cambian los "inputs" es necesario volver a ejecutar la macro Solver

Coste de "transporte" unitario:

ORÍGENES	DESTINOS					
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Estoc Inicial		0,30	0,60	0,90	1,20	1,50
Jul-Máquina 1	3,50	3,80	4,10	4,40	4,70	5,00
Jul-Máquina 2	4,00	4,30	4,60	4,90	5,20	5,50
Ago-Máquina 1	100.002,50	3,50	3,80	4,10	4,40	4,70
Ago-Máquina 2	100.003,00	4,00	4,30	4,60	4,90	5,20
Sep-Máquina 1	200.001,50	100.002,50	3,50	3,80	4,10	4,40
Sep-Máquina 2	200.002,00	100.003,00	4,00	4,30	4,60	4,90
Oct-Máquina 1	300.000,50	200.001,50	100.002,50	3,50	3,80	4,10
Oct-Máquina 2	300.001,00	200.002,00	100.003,00	4,00	4,30	4,60
Nov-Máquina 1	399.999,50	300.000,50	200.001,50	100.002,50	3,50	3,80
Nov-Máquina 2	400.000,00	300.001,00	200.002,00	100.003,00	4,00	4,30
Dic-Máquina 1	499.998,50	399.999,50	300.000,50	200.001,50	100.002,50	3,50
Dic-Máquina 2	499.999,00	400.000,00	300.001,00	200.002,00	100.003,00	4,00

Plan de Producción Óptimo ("output"):

ORÍGENES	DESTINOS						Enviado	Capacidad
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre		
Estoc Inicial	43	32					75 <=	75
Jul-Máquina 1	900						900 <=	900
Jul-Máquina 2							<=	720
Ago-Máquina 1		350					350 <=	350
Ago-Máquina 2		93					93 <=	280
Sep-Máquina 1			1.050				1.050 <=	1.050
Sep-Máquina 2			390				390 <=	840
Oct-Máquina 1				1.150			1.150 <=	1.150
Oct-Máquina 2				423			423 <=	920
Nov-Máquina 1					863	187	1.050 <=	1.050
Nov-Máquina 2					424		424 <=	840
Dic-Máquina 1						1.000	1.000 <=	1.000
Dic-Máquina 2						800	800 <=	800
Total Recibido	943	475	1.440	1.573	1.287	1.987	7.705	
	>=	>=	>=	>=	>=	>=		
Total Demanda	943	475	1.440	1.573	1.287	1.987		
	Julio	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	Desembre	TOTAL (€)	
Costes 1 (€)	3.150,00	1.606,60	5.235,00	5.717,00	4.716,50	7.410,60	27.835,70	
Costes 2 (€)	36,90	23,40	59,40	69,30	59,40	85,50	333,90	
Total (€)	3.186,90	1.630,00	5.294,40	5.786,30	4.775,90	7.496,10	28.169,60	

Observación: Los Costes 2 reflejan los costes de posesión de los estocs de seguridad

También hubiéramos podido usar el programa LINDO para obtener el plan óptimo. A continuación se muestra un posible planteamiento y parte del "output" que se obtiene con dicho programa:

```

TITLE DETERMINACIÓN PLAN MAESTRO DE PRODUCCIÓN DE JOVÉ&FARRÉ
! Hipótesis: Mantendremos un estoc de seguridad del 15%

! Variables principales: producción de cada mes:
! JUL1, JUL2, AGO1, AGO2, SEP1, SEP2, OCT1, OCT2, NOV1, NOV2, DIC1, DIC2

! Variables auxiliares: estoc a final de cada mes
! STOCKJUL, STOCKAGO, STOCKSEP, STOCKOCT, STOCKNOV, STOCKDIC

! Función objetivo: min. costes totales = costes Jul + costes Ago + ...
MIN      3.5 JUL1 + 4 JUL2 + 0.3 STOCKJUL +
          3.5 AGO1 + 4 AGO2 + 0.3 STOCKAGO +
          3.5 SEP1 + 4 SEP2 + 0.3 STOCKSEP +
          3.5 OCT1 + 4 OCT2 + 0.3 STOCKOCT +
          3.5 NOV1 + 4 NOV2 + 0.3 STOCKNOV +
          3.5 DIC1 + 4 DIC2 + 0.3 STOCKDIC

SUBJECT TO

! Definición de cada uno de los estocs:
          STOCKJUL      - JUL1 - JUL2 = - 745  ! (745 = 820 - 75)
          STOCKAGO - STOCKJUL - AGO1 - AGO2 = - 520
          STOCKSEP - STOCKAGO - SEP1 - SEP2 = - 1320
          STOCKOCT - STOCKSEP - OCT1 - OCT2 = - 1540
          STOCKNOV - STOCKOCT - NOV1 - NOV2 = - 1320
          STOCKDIC - STOCKNOV - DIC1 - DIC2 = - 1900

! A final de cada mes,
! produc. + estoc inic. del mes, proveniente del mes anterior >= demanda
          JUL1 + JUL2      >= 745
          AGO1 + AGO2 + STOCKJUL >= 520
          SEP1 + SEP2 + STOCKAGO >= 1320
          OCT1 + OCT2 + STOCKSEP >= 1540
          NOV1 + NOV2 + STOCKOCT >= 1320
          DIC1 + DIC2 + STOCKNOV >= 1900

! Producción mensual limitada por nuestra capacidad:
          JUL1 <= 900      JUL2 <= 720
          AGO1 <= 350      AGO2 <= 280
          SEP1 <= 1050     SEP2 <= 840
          OCT1 <= 1150     OCT2 <= 920
          NOV1 <= 1050     NOV2 <= 840
          DIC1 <= 1000     DIC2 <= 800

! Mensualmente, hemos de mantener unos estocs mínimos:
          STOCKJUL >= 123      STOCKAGO >= 78
          STOCKSEP >= 198      STOCKOCT >= 231
          STOCKNOV >= 198      STOCKDIC >= 285

END
  
```

```

LP OPTIMUM FOUND AT STEP      27

          OBJECTIVE FUNCTION VALUE
          1)      28169.60

          VARIABLE           VALUE           REDUCED COST
          JUL1              900.000000         0.000000
          JUL2               0.000000         0.300000
          STOCKJUL          155.000000         0.000000
          AGO1              350.000000         0.000000
          AGO2              93.000000         0.000000
          STOCKAGO           78.000000         0.000000
          SEP1             1050.000000         0.000000
          SEP2              390.000000         0.000000
          STOCKSEP          198.000000         0.000000
          OCT1             1150.000000         0.000000
          OCT2              423.000000         0.000000
          STOCKOCT          231.000000         0.000000
          NOV1             1050.000000         0.000000
          NOV2              424.000000         0.000000
          STOCKNOV          385.000000         0.000000
          DIC1             1000.000000         0.000000
          DIC2              800.000000         0.000000
          STOCKDIC          285.000000         0.000000
  
```

## **BIBLIOGRAFÍA**

---

- [1]. Lloyd Enrick, N. (1981), **Gestión de Stocks**. Editorial Deusto Serie C-3.
- [2]. Graves, S.C; Rinnoy A.H y Zipkin P.H. (1993), **Logistics of Production and Inventory**, NorthHolland.

## **ENLACES**

---

- [W1] [http://www.ujaen.es/dep/admemp/profes/llozano\\_archivos/Tema09.pdf](http://www.ujaen.es/dep/admemp/profes/llozano_archivos/Tema09.pdf). Apuntes del profesor Lozano de la Universidad de Jaén.