

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA – BARCELONATECH  
OPE – ORGANIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DE EMPRESA (ASPECTOS TÉCNICOS, JURÍDICOS  
Y ECONÓMICOS EN PRODUCCIÓN )

## Dirección de Operaciones. Planificación - I

DIRECCIÓN DE OPERACIONES 240EO024 – Máster Universitario en Ingeniería de Organización  
(240MUEO) - ETSEIB

Joaquín Bautista, Rocío Alfaro

OPE-PROTHIUS – OPE-MSc.2018/05 240EO024 (20180225) - <http://futur.upc.edu/OPE> - [www.prothius.com](http://www.prothius.com) -  
Departamento de Organización de Empresas – ETSEIB · UPC



**PROTHIUS**  
Càtedra Organització Industrial

DO' 18 – Plan (I) 0  
J. Bautista · R. Alfaro

# Contenido

- Plan. Concepto y tipología
- Plan. Pirámide de la planificación
- Plan Maestro de producción
  - Aspectos
  - Elementos
- Planificación. Proceso
- Planificación. Acciones
- Planificación. Estados
- Planificación agregada. Modelos y técnicas
- Planificación agregada. Hipótesis
- Planificación agregada. Heurísticas
- Ejemplo 1
  - Presentación
  - Planes

- Companys, R.; Corominas, A. (1995) Organización de la producción II. Dirección de operaciones 2. Capítulo 3. Edicions UPC. BCN



# Plan. Concepto y tipología

*Plan.*- Camino que se traza desde un estado inicial hasta un estado final para alcanzar un objetivo productivo.

NOMBRE	MOTIVO	HORIZONTE	FRECUENCIA	INTERVALO	RIGIDEZ	NIVEL
Estratégico-Producto	Definir binomio producto-mercado	10 años	2 a 3 años	1 año	4 a 5 años	Modelo gran opción
Estratégico-Proceso	Nuevas plantas Nuevas filiales	5 a 7 años	1 a 2 años	trimestral (para 1 año)	2 a 3 años	Grandes líneas
Operativo-Táctico	Coordinar inversiones	3 a 5 años	anual	Trimestral (para 1 año)	1 año	Modelo global
Maestro global	Asignar recursos críticos	12 meses	mensual	1 mes	2 meses	Familias de producto
Maestro detallado	Tasas de producción. Aprovisionamiento	16 semanas	semanal	semana	3 semanas	Productos o Mezclas
Cálculo necesidades	Órdenes fabricación y aprovisionamiento	12 semanas	semanal	semana	2 semanas	Orden
Programa operaciones	Situar operaciones en tiempo y espacio	5 días	diaria	día	1 día	Operación



# Plan. Pirámide de la planificación



Jerarquía de planes.- Planes con decisiones limitadas por decisiones en niveles superiores



# Plan maestro de producción. Aspectos

<i>Mes</i>	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	<i>Total</i>
<i>Días laborables</i>	21	22	21	22	5	22	21	22	20	20	18	22	236
CKT 1254 J	123	135	105	130	25	130	120	100	150	90	70	100	1278
CKT 1305 L	255	245	265	220	45	245	260	245	200	180	195	250	2605
SLK 102 H	160	135	120	95	20	142	125	120	170	150	100	110	1447
PRT 1036 IK	40	40	45	30	5	42	50	45	50	35	20	35	437
CTR 206	18	18	23	23	0	20	24	20	22	20	17	16	221
...													...
FGL 2306 F	230	225	210	190	0	255	195	200	210	170	190	215	2290
Total	1810	1650	1720	1430	650	1720	1790	1800	1850	1600	900	1650	18570



# Plan maestro de Producción. Elementos

## *Horizonte:*

Tiempo durante el cual se desplegará o ejecutará el plan.

## *Periodo:*

Unidad de tiempo con la que se mide el horizonte.

## *Control:*

Función organizativa que mide periódicamente las discrepancias entre los estados propuestos en el plan y los estados alcanzados, definiendo medidas correctivas si fuera necesario.

## *Plazo de revisión:*

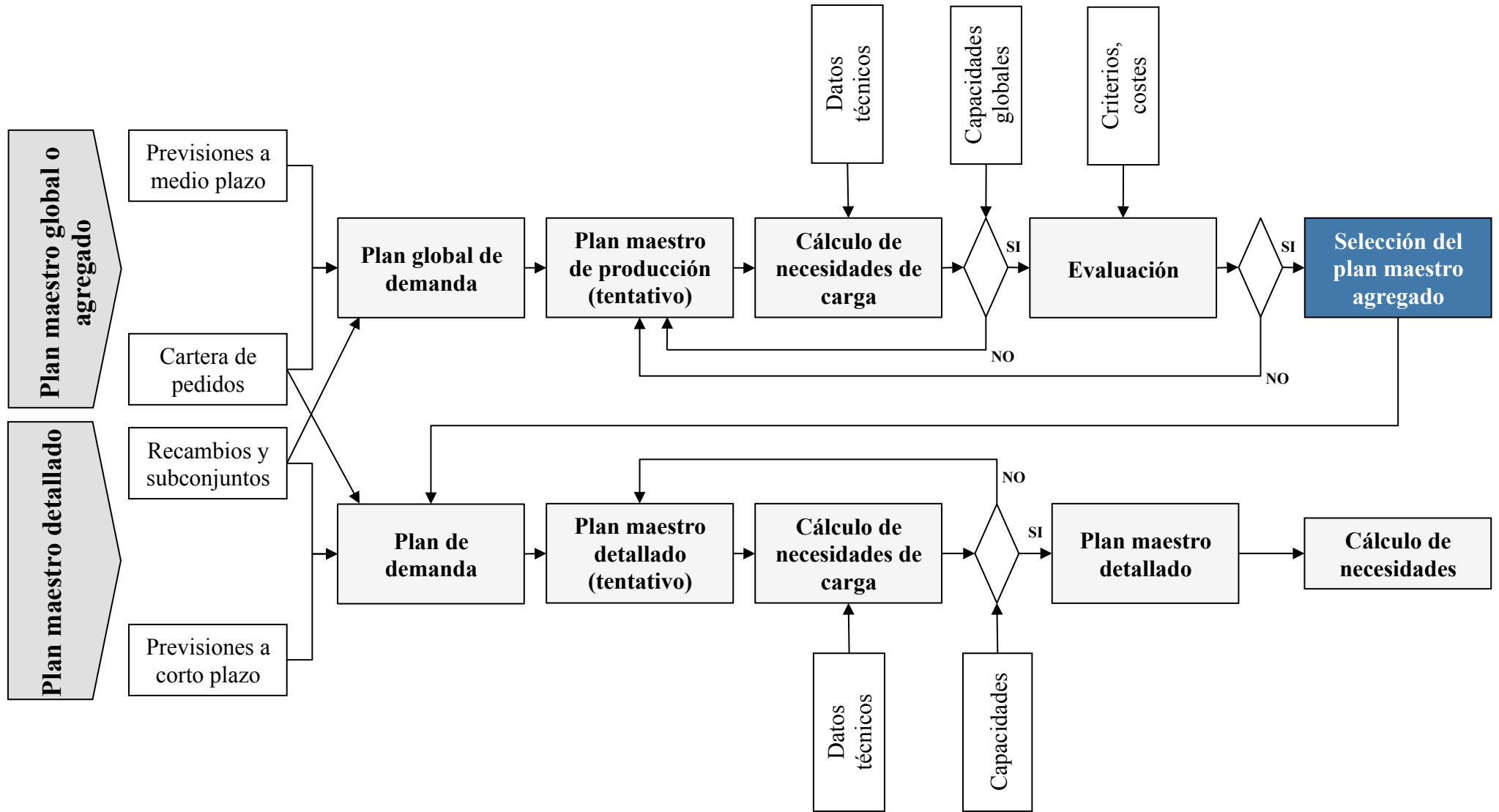
Tiempo que transcurre entre dos controles consecutivos del despliegue del plan. Plazo entre controles para ver las discrepancias entre lo propuesto y lo logrado.

## *Plazo de rigidez:*

Intervalo de tiempo deslizante durante el cual no se corrige el plan.



# Planificación. Proceso



# Planificación. Acciones

## *Acciones sobre la demanda (proactivas)*

- Publicidad
- Promoción
- Disminución de precios
- Oferta de productos con demanda complementaria
- No satisfacer la demanda en fecha comprometida

## *Acciones sobre la capacidad (reactivas)*

- Regulación mediante stocks
- Incremento de la capacidad mediante inversión en plantas
- Incremento de la capacidad mediante inversión en equipos
- Incremento de la capacidad mediante mejora de proceso
- Incremento de la capacidad mediante contratación
- Decremento de la capacidad mediante despidos



# Planificación. Estados de la naturaleza

## *Estados relativos a la demanda*

- Mercado creciente, estable o en recesión
- Variabilidad global
- Variabilidad parcial sobre el mix
- Obsolescencia o Fuerte competencia
- Nuevos productos

## *Estados relativos a la capacidad*

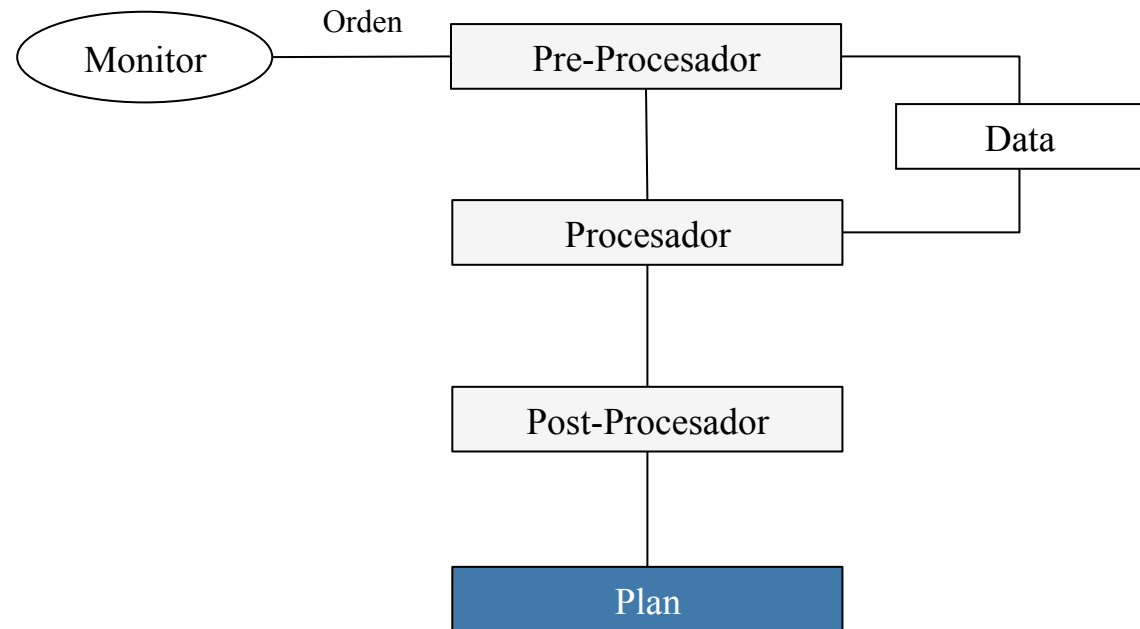
- Accesibilidad al mercado bursátil
- Accesibilidad a créditos bancarios
- Avances tecnológicos
- Mercado del trabajo
- Alianzas



# Planificación agregada. Modelos y técnicas

## *Procesador: modelos y técnicas*

- Reglas de decisión
- Grafos (Flujos en redes)
- Programación lineal
- Programación dinámica
- Programación matemática
- Algoritmos heurísticos
- Metaheurísticas



## Planificación agregada. Hipótesis

1. Una sola familia de productos y una sola etapa global productiva.
2. Se tiene un conjunto  $S$  de modalidades o fuentes de producción que representa las formas de obtener el producto; cada modalidad tiene su capacidad limitada.
3. Los costes variables de producción dependen de la modalidad empleada.
4. No hay coste fijo ni coste de cambio de nivel de producción en las modalidades.
5. Se considera un horizonte de planificación  $T$  dividido en periodos mensuales.
6. La producción de un mes puede utilizarse para atender la demanda de ese mes.
7. La tasa diaria de producción es constante durante el mes, admitiendo la posibilidad de variar dicha tasa de un mes a otro. La demanda global debe ser satisfecha.
8. El producto puede almacenarse con un coste por unidad de producto y mes.
9. La demanda puede diferirse con un coste por unidad de producto y mes.
10. El coste global de un plan es la suma de: (1) costes variables de producción, (2) costes de posesión de stock, y (3) costes por diferir la demanda.



# Planificación agregada. Heurísticas (1)

## Parámetros:

$T$	Horizonte del plan
$t, \lambda_t$	Índice de periodo $t = 0, \dots, T$ (mes) · Días laborables del mes $t (t = 1, \dots, T)$
$\alpha, I_t^*$	Factor de stock de seguridad · Stock ideal al final del mes $t (t = 0, \dots, T)$
$d_t, \hat{d}_t$	Demanda del mes $t (t = 1, \dots, T)$ · Demanda corregida del mes $t (t = 1, \dots, T)$
$S$	Conjunto de modalidades o fuentes de producción (turno, planta, máquina)
$r_s^{\max}$	Tasa máxima de producción diaria en modalidad $s \in S$ (unidades / día)
$c_{u_s}$	Coste de producción unitario en modalidad $s \in S$ (um / unidad)
$c_h, c_b$	Coste de posesión de stock · Coste de diferir la demanda (um / unidad_mes)

## Variables:

$x_{t,s}, X_t$	Producción parcial con modalidad $s \in S$ y total en el mes $t (t = 0, \dots, T)$
$r_{t,s}, R_t$	Tasa parcial de producción diaria con modalidad $s \in S$ y total en el mes $t (t = 0, \dots, T)$
$I_t$	Stock neto al final del mes $t (t = 0, \dots, T)$ . $I_0 = I_0^*$ (stock inicial)
$I_t^+, I_t^-$	Exceso ( $I_t^+$ ) y Defecto ( $I_t^-$ ) de stock al final del mes $t (t = 0, \dots, T)$



## Planificación agregada. Heurísticas (2)

*Cálculos y relaciones:*

Demanda corregida:  $\hat{d}_t = d_t + I_t^* - I_{t-1}^*$   $(t = 1, \dots, T)$

$$I_t^* = \alpha \cdot d_t \quad (t = 1, \dots, T)$$

Producción y Stock:  $R_t = \sum_{s \in S} r_{t,s}$   $(t = 1, \dots, T)$

$$x_{t,s} = \lambda_t \cdot r_{t,s} \quad (t = 1, \dots, T)(s \in S)$$

$$X_t = \sum_{s \in S} x_{t,s} = \lambda_t \cdot R_t \quad (t = 1, \dots, T)$$

$$I_t = I_{t-1} + X_t - d_t \quad (t = 1, \dots, T)$$

$$I_t^+ = \max(0, I_t - I_t^*) \quad (t = 1, \dots, T)$$

$$I_t^- = \max(0, I_t^* - I_t) \quad (t = 1, \dots, T)$$

Coste global: 
$$C_T = \sum_{s \in S} \left( c_{u_s} \sum_{t=1}^T x_{t,s} \right) + \sum_{t=1}^T (c_h I_t^+ + c_b I_t^-)$$



## Planificación agregada. Heurísticas (3)

*Planes mediante tasas de producción:*

Inicialización:

$$\text{Calcular: } \rho_t = \hat{d}_t / \lambda_t \quad \forall t, \quad \hat{D}_t = \sum_{\tau=1}^t \hat{d}_\tau \quad \forall t, \quad \Lambda_t = \sum_{\tau=1}^t \lambda_\tau \quad \forall t, \quad P_t = \hat{D}_t / \Lambda_t \quad \forall t$$

Plan 1 · Tasa constante mínima con demanda diferida:

$$\text{Hacer: } R_t = P_T = \hat{D}_T / \Lambda_T \quad \forall t$$

Plan 2 · Tasa constante mínima sin demanda diferida:

$$\text{Hacer: } R_t = \max_{1 \leq \tau \leq T} \{P_\tau\} = \max_{1 \leq \tau \leq T} \{\hat{D}_\tau / \Lambda_\tau\} \quad \forall t$$

Plan 3 · Dos tasas de producción sin demanda diferida:

$$\text{Determinar: } t_{\max} = \operatorname{argmax}_{1 \leq t \leq T} \{P_t\}$$

$$\text{Hacer: } R_t = P_{t_{\max}} \quad (1 \leq t \leq t_{\max})$$

$$\text{Hacer: } R_t = \max_{t_{\max} < \tau \leq T} \left\{ (\hat{D}_\tau - \hat{D}_{t_{\max}}) / (\Lambda_\tau - \Lambda_{t_{\max}}) \right\} \quad (t_{\max} < t \leq T)$$

Plan 4 · Tasas variables JIT - DS:

$$\text{Hacer: } R_t = \rho_t \quad \forall t$$

Tasas parciales:

$$\text{Fijar valores: } r_{t,s} \quad \forall t \quad \forall s: \quad R_t = \sum_{s \in S} r_{t,s} \quad \forall t$$



## Ejemplo 1. Presentación

$t$ (mes)	$\lambda_t$ (días)	$d_t$ (unidades)
1	20	1000
2	20	1200
3	22	1400
4	21	1800
5	21	1200
6	21	1000
	125	7600

$$S = \{1, 2, 3\}$$

$$r_1^{\max} = 50 \text{ u/día}$$

$$c_{u_1} = 200 \text{ um}$$

$$c_h = 30 \text{ um/u_mes}$$

$$r_2^{\max} = 40 \text{ u/día}$$

$$c_{u_2} = 300 \text{ um}$$

$$c_b = 90 \text{ um/u_mes}$$

$$r_3^{\max} = 40 \text{ u/día}$$

$$c_{u_3} = 500 \text{ um}$$

$$\alpha = 0.1, I_0 = 200 \text{ u}$$



## Ejemplo 1. Tasas de producción

$t$ (mes)	$\lambda_t$ (días)	$\Lambda_t$ (días)	$d_t$ (u)	$I_t^*$ (u)	$\hat{d}_t$ (u)	$\hat{D}_t$ (u)	$P_t = \hat{D}_t/\Lambda_t$	$\rho_t = \hat{d}_t/\lambda_t$
		0		200		0		
1	20	20	1000	100	900	900	45.00	45.00
2	20	40	1200	120	1220	2120	53.00	61.00
3	22	62	1400	140	1420	3540	57.10	64.55
4	21	83	1800	180	1840	5380	64.82	87.62
5	21	104	1200	120	1140	6520	62.69	54.29
6	21	125	1000	100	980	7500	60.00	46.67
	125		7600	$\alpha = 0.1$	7500			

Plan 1 · Tasa constante mínima con demanda diferida:

$$R_t = P_6 = \hat{D}_6/\Lambda_6 = 60.00 \text{ u/día } \forall t$$

Plan 2 · Tasa constante mínima sin demanda diferida:

$$R_t = \max_{1 \leq \tau \leq 6} \{P_\tau\} = \max_{1 \leq \tau \leq 6} \{\hat{D}_\tau/\Lambda_\tau\} = 64.82 \text{ u/día } \forall t$$

Plan 3 · Dos tasas de producción sin demanda diferida:

$$R_t = \left\{ \begin{array}{l} \max_{1 \leq \tau \leq 6} \{P_\tau\} = \max_{1 \leq \tau \leq 6} \{\hat{D}_\tau/\Lambda_\tau\} = 64.82 \text{ u/día, si } 1 \leq t \leq 4 \\ \max_{5 \leq \tau \leq 6} \{(\hat{D}_\tau - \hat{D}_4)/(\Lambda_\tau - \Lambda_4)\} = 54.29 \text{ u/día, si } t \geq 5 \end{array} \right\}$$

Plan 4 · Tasas variables JIT - DS:

$$\vec{R} = (45.00, 61.00, 64.55, 87.62, 54.29, 46.67) \text{ u/día}$$



# Ejemplo 1. Plan 1

Plan 1 · Tasa constante · Demanda diferida ·  $R_t = 60.00 = \begin{cases} r_{t,1} = 50 & (r_1^{\max}) \\ r_{t,2} = 10 & (R_t - r_{t,1}) \end{cases} \text{ u/día } \forall t$

$t$ (mes)	$\lambda_t$ (días)	$d_t$ (u)	$I_t^*$ (u)	$x_{t,1}$ (u)	$x_{t,2}$ (u)	$X_t$ (u)	$I_t$ (u)	$I_t^+$ (u)	$I_t^-$ (u)
			200	$r_{t,1} = 50$	$r_{t,2} = 10$		200		
1	20	1000	100	1000	200	1200	400	300	0
2	20	1200	120	1000	200	1200	400	280	0
3	22	1400	140	1100	220	1320	320	180	0
4	21	1800	180	1050	210	1260	-220	0	400
5	21	1200	120	1050	210	1260	-160	0	280
6	21	1000	100	1050	210	1260	100	0	0
	125	7600	$\alpha = 0.1$	6250	1250	7500		760	680

$$C_T = \sum_{s \in S} c_{u_s} \left( \sum_{t=1}^T x_{t,s} \right) + \sum_{t=1}^T (c_h I_t^+ + c_b I_t^-)$$

COSTES	um/unidad	unidades	um
Producción modalidad 1	200	6250	1.250.000
Producción modalidad 2	300	1250	375.000
Exceso de Stock	30	760	22.800
Defecto de Stock	90	680	61.200
<b>COSTE TOTAL</b>			<b>1.709.000</b>



## Ejemplo 1. Plan 2

Plan 2 · Tasa constante · Demanda no diferida ·  $R_t = 64.82 = \left\{ \begin{array}{l} r_{t,1} = 50 \quad (r_1^{\max}) \\ r_{t,2} = 14.82 (R_t - r_{t,1}) \end{array} \right\}$  u/día  $\forall t$

$t$ (mes)	$\lambda_t$ (días)	$d_t$ (u)	$I_t^*$ (u)	$x_{t,1}$ (u)	$x_{t,2}$ (u)	$X_t$ (u)	$I_t$ (u)	$I_t^+$ (u)	$I_t^-$ (u)
			200	$r_{t,1} = 50$	$r_{t,2} = 14.82$		200		
1	20	1000	100	1000	296	1296	496	396	0
2	20	1200	120	1000	296	1296	593	473	0
3	22	1400	140	1100	326	1426	619	479	0
4	21	1800	180	1050	311	1361	180	0	0
5	21	1200	120	1050	311	1361	341	221	0
6	21	1000	100	1050	311	1361	702	602	0
	125	7600	$\alpha = 0.1$	6250	1852	8102		2172	0

$$C_T = \sum_{s \in S} c_{u_s} \left( \sum_{t=1}^T x_{t,s} \right) + \sum_{t=1}^T (c_h I_t^+ + c_b I_t^-)$$

COSTES	um/unidad	unidades	um
Producción modalidad 1	200	6250	1.250.000
Producción modalidad 2	300	1852	555.723
Exceso de Stock	30	2172	65.147
Defecto de Stock	90	0	0
<b>COSTE TOTAL</b>			<b>1.870.870</b>



## Ejemplo 1. Plan 3

$$\text{Plan 3} \cdot \text{Dos tasas} \cdot R_t = \left\{ \begin{array}{l} 64.82 (1 \leq t \leq 4) : r_{t,1} = 50, r_{t,2} = 14.82 \\ 54.29 (t \geq 5) : r_{t,1} = 50, r_{t,2} = 4.29 \end{array} \right\} \text{ u/día}$$

$t$ (mes)	$\lambda_t$ (días)	$d_t$ (u)	$I_t^*$ (u)	$x_{t,1}$ (u)	$x_{t,2}$ (u)	$X_t$ (u)	$I_t$ (u)	$I_t^+$ (u)	$I_t^-$ (u)
			200	$r_{t,1} = 50$	$r_{t,2}$		200		
1	20	1000	100	1000	296	1296	496	396	0
2	20	1200	120	1000	296	1296	593	473	0
3	22	1400	140	1100	326	1426	619	479	0
4	21	1800	180	1050	311	1361	180	0	0
5	21	1200	120	1050	90	1140	120	0	0
6	21	1000	100	1050	90	1140	260	160	0
	125	7600	$\alpha = 0.1$	6250	1410	7660		1508	0

$$C_T = \sum_{s \in S} c_{u_s} \left( \sum_{t=1}^T x_{t,s} \right) + \sum_{t=1}^T (c_h I_t^+ + c_b I_t^-)$$

COSTES	um/unidad	unidades	um
Producción modalidad 1	200	6250	1.250.000
Producción modalidad 2	300	1410	423.000
Exceso de Stock	30	1508	45.239
Defecto de Stock	90	0	0
<b>COSTE TOTAL</b>			<b>1.718.239</b>



## Ejemplo 1. Plan 4

Plan 4 · Tasas variables JIT - DS:  $\vec{R} = (45.00, 61.00, 64.55, 87.62, 54.29, 46.67)$  u/día

$t$ (mes)	$\lambda_t$ (días)	$d_t$ (u)	$I_t^*$ (u)	$x_{t,1}$ (u)	$x_{t,2}$ (u)	$X_t$ (u)	$I_t$ (u)	$I_t^+$ (u)	$I_t^-$ (u)
			200	$R_t = r_{t,1} + r_{t,2}$			200		
1	20	1000	100	900	0	900	100	0	0
2	20	1200	120	1000	220	1220	120	0	0
3	22	1400	140	1100	320	1420	140	0	0
4	21	1800	180	1050	790	1840	180	0	0
5	21	1200	120	1050	90	1140	120	0	0
6	21	1000	100	980	0	980	100	0	0
	125	7600	$\alpha = 0.1$	6080	1420	7500		0	0

$$C_T = \sum_{s \in S} c_{u_s} \left( \sum_{t=1}^T x_{t,s} \right) + \sum_{t=1}^T (c_h I_t^+ + c_b I_t^-)$$

COSTES	um/unidad	unidades	um
Producción modalidad 1	200	6080	1.216.000
Producción modalidad 2	300	1420	426.000
Exceso de Stock	30	0	0
Defecto de Stock	90	0	0
<b>COSTE TOTAL</b>			<b>1.642.000</b>



# Ejemplo 1. Resumen

UNIDADES (u)	PLAN 1	PLAN 2	PLAN 3	PLAN 4
Producción modalidad 1	6250	6250	6250	6080
Producción modalidad 2	1250	1852	1410	1420
Exceso de Stock	760	2172	1508	0
Defecto de Stock	680	0	0	0
<b>PRODUCCIÓN TOTAL</b>	<b>7500</b>	<b>8102</b>	<b>7660</b>	<b>7500</b>

COSTES (um)	PLAN 1	PLAN 2	PLAN 3	PLAN 4
Producción modalidad 1	1.250.000	1.250.000	1.250.000	1.216.000
Producción modalidad 2	375.000	555.723	423.000	426.000
Exceso de Stock	22.800	65.147	45.239	0
Defecto de Stock	61.200	0	0	0
<b>COSTE TOTAL</b>	<b>1.709.000</b>	<b>1.870.870</b>	<b>1.718.239</b>	<b>1.642.000</b>



## En el país del oro

“La explotación de las minas estaba cuidadosamente organizada. Ante todo, un equipo de *sementiu*, es decir, de prospectores especializados, capitaneados por un director y acompañados por un escriba, recorría el desierto en busca de lugares para extraer el oro.

Una vez localizados, informaban a su superior en Nubia, el cual debía cerciorarse de que el lugar era accesible, la calidad del oro era aceptable, y había suficiente agua para abastecer a animales y hombres así como para las labores de lavado del oro. Si todo era favorable, se emitía un informe que se mandaba a la corte para que ésta lo aprobase y se emprendieran los preparativos para la expedición.

En la corte se reunía entonces a los obreros especializados, que llevarían consigo sus herramientas, y otros cargos de responsabilidad, como los «encargados del oro» y los «escribas contadores de oro», que debían pesar y registrar el metal hallado, y los «encargados de los trabajadores de oro», los funcionarios que tenían que supervisar a los mineros. Los carros tirados por asnos recorrían la ruta del desierto a través de los oasis en lugar de hacerlo por el Nilo. Mientras tanto, en Nubia se reclutaba a las cuadrillas de trabajadores que harían el trabajo más duro.”

Castel, N. (2013) Nubia. El país del oro.  
*Historia - National Geographic - España* n. 120.

