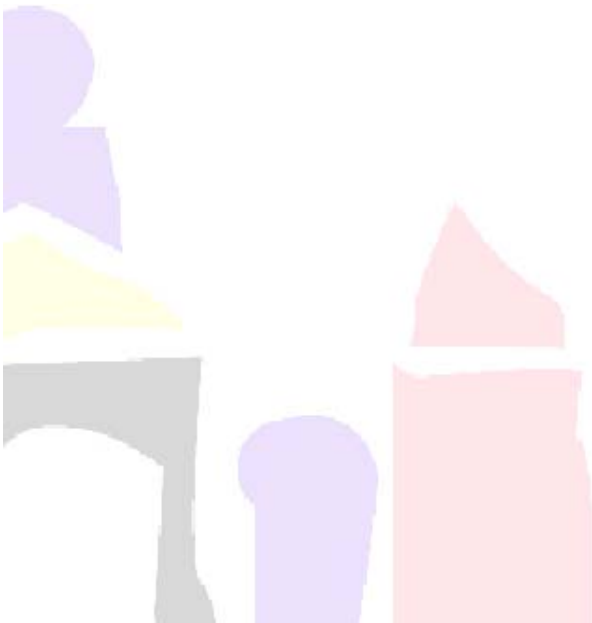


Programación de la producción

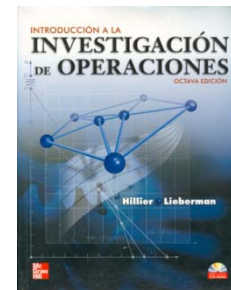
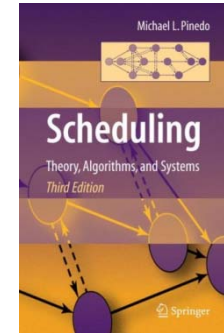
José M. Galán Ordax
Luis R. Izquierdo Millán

Universidad de Burgos



Bibliografía básica

- Pinedo, M.L. (2008) Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems. Springer. Berlin.
- Hillier, F.S., Lieberman, G.S. (2008) Introducción a la Investigación de Operaciones. McGraw-Hill. México D.F.
- Miranda González, F.J., Rubio Lacoba, S., Chamorro Mera, A., Bañegil Palacios, T.M. (2005) Manual de Dirección de Operaciones. Thomson. Madrid.



Programación de la producción

- **Es la asignación de las órdenes de trabajo o de las operaciones en que se pueden dividir a los centros de trabajo correspondientes en unos tiempos determinados**

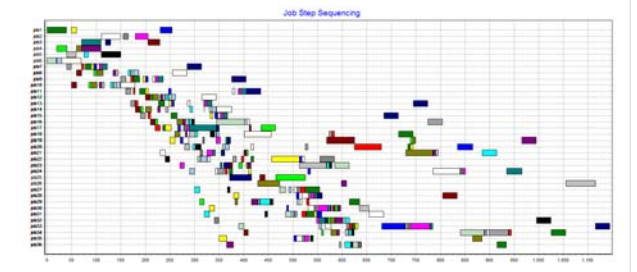
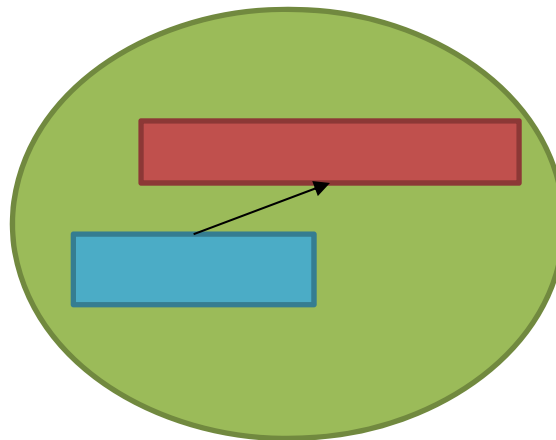
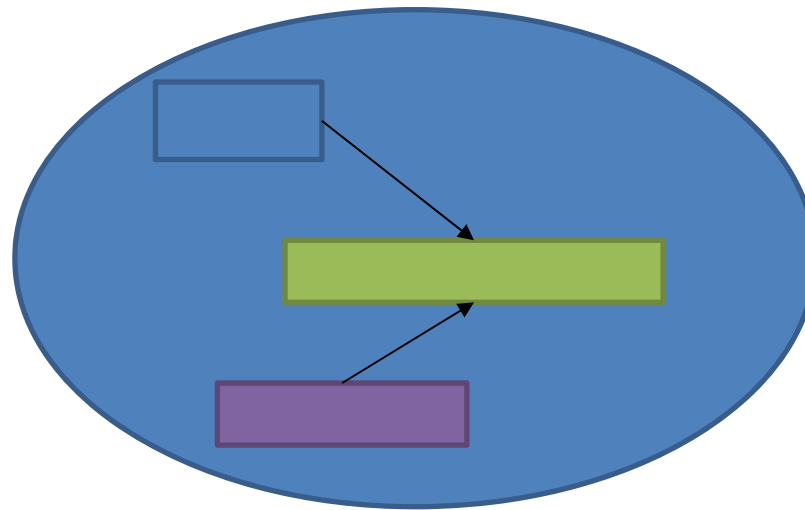
Programación de la producción

- Subfunciones
 - **Subfunción carga.** Asignación de órdenes de trabajo o sus operaciones en los diferentes centros de trabajo
 - **Subfunción secuenciación (sequencing).** Establecimiento del orden de fabricación de las órdenes (operaciones) en los centros de trabajo (equipo)
 - **Subfunción temporización (scheduling).** Establecimiento de los tiempos de inicio y terminación de cada orden (operación) en cada centro de trabajo (equipo).
Planificación temporal.

Secuenciación y temporización

- Problema prototipo:
 - **N ordenes de trabajo** asignados a un centro de trabajo se descomponen en operaciones que deben realizar sobre las **m máquinas del centro** según un orden preestablecido y durante un tiempo de procesamiento determinado
- Tipos de secuencia:
 - El orden de cada pieza por las máquinas del centro. Es un dato del problema
 - El orden de las piezas por cada máquina. Es uno de los objetivos a resolver

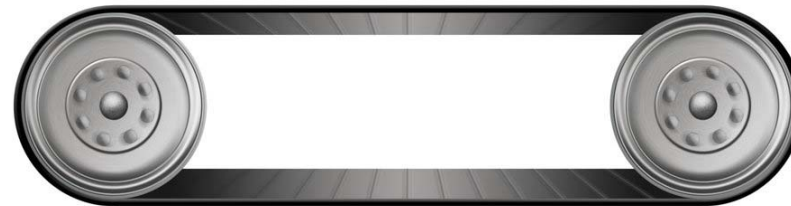
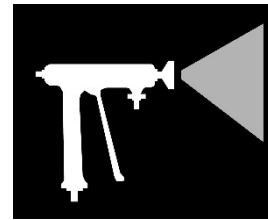
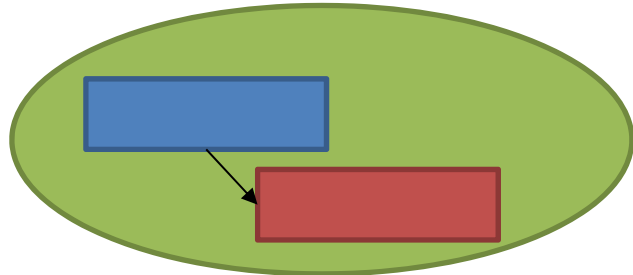
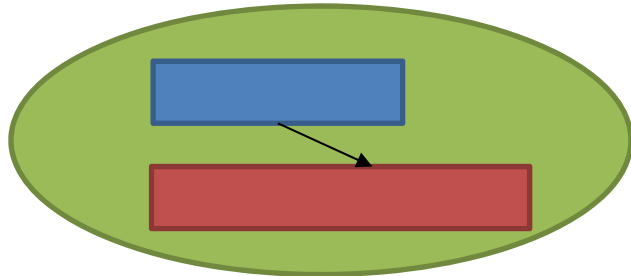
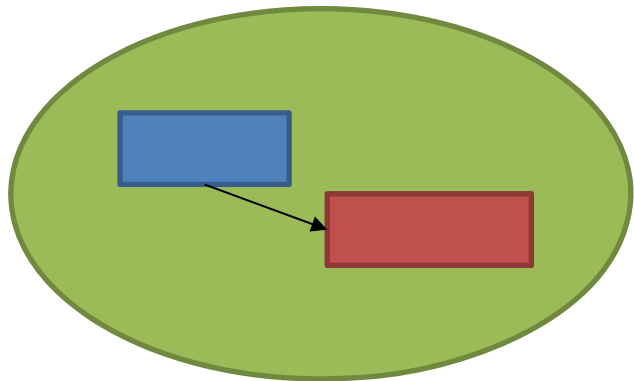
Scheduling



Tipos de problemas

- **Flow shop permutacional (P).** Para todas las piezas, la misma secuencia de máquinas. Ej. Cinta transportadora. $n!$ posibles soluciones
- **Flow shop genérico (F).** Todas las piezas con el mismo orden de producción, pero el transporte no es común, no hay nada físico que las una. $(n!)^m$ posibles soluciones
- **Job shop (J).** Es el más general, cada pieza tiene su recorrido por el taller. $(n!)^m$ posibles soluciones
- **Open shop.** El orden de los procesos puede seguir un orden arbitrario
- Dinámico: con piezas entrando y saliendo.

Flow shop permutacional

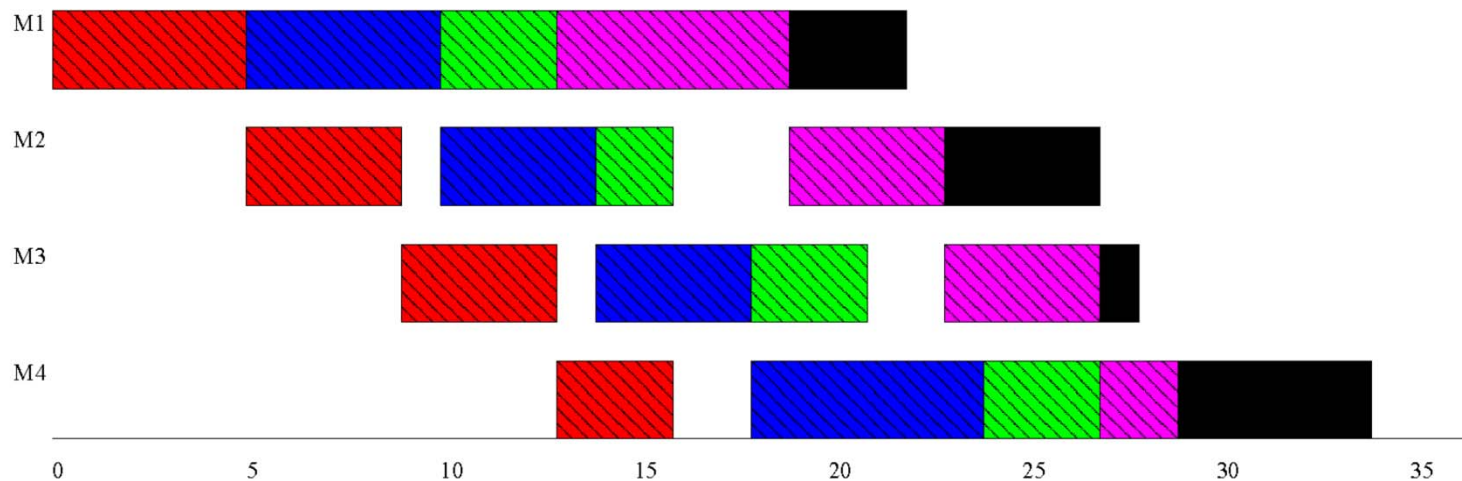


Flow shop permutacional

4 machines, 5 jobs

jobs	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5
p_{1,j_i}	5	5	3	6	3
p_{2,j_i}	4	4	2	4	4
p_{3,j_i}	4	4	3	4	1
p_{4,j_i}	3	6	3	2	5

order 1,2,3,4,5



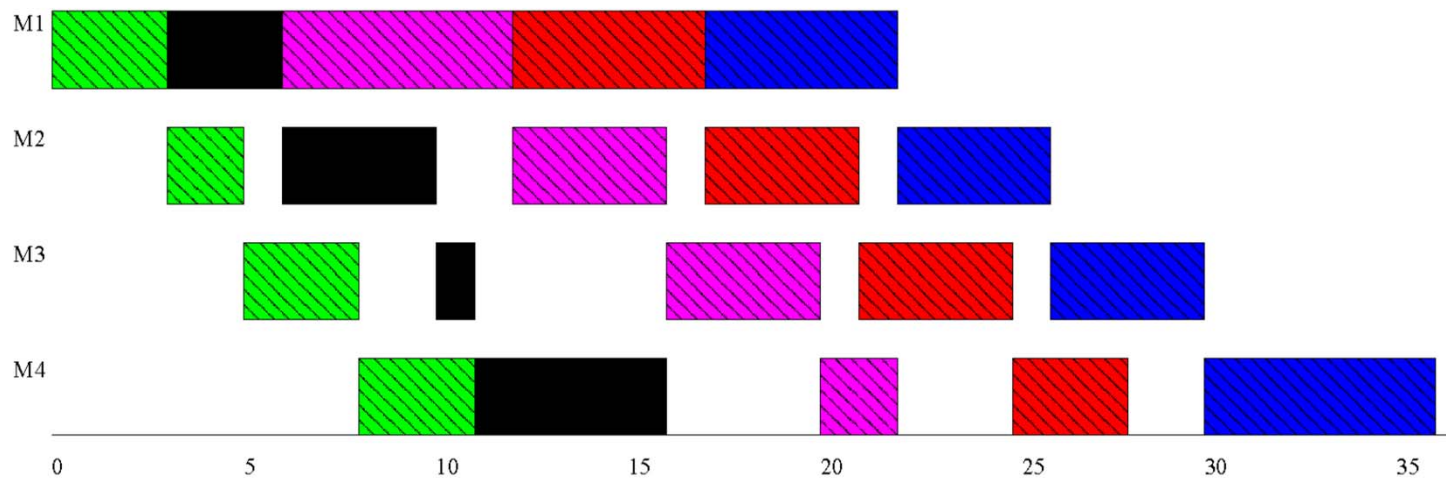
$$C_{\max} = 34$$

Flow shop permutacional

4 machines, 5 jobs

jobs	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5
p_{1,j_i}	5	5	3	6	3
p_{2,j_i}	4	4	2	4	4
p_{3,j_i}	4	4	3	4	1
p_{4,j_i}	3	6	3	2	5

order 3,5,4,1,2



$$C_{\max} = 36$$

Un ejemplo de job shop

Supongamos un taller que dispone de 3 máquinas, y en un periodo determinado deberá hacer frente a 5 OT con diversas fases:

Orden de Fabricación	Nº Fase	Máquina	Tiempo
1	1	2	1
	2	3	2
	3	1	1
2	1	2	0,5
	2	1	2
	3	2	0,5
	4	3	2,5
3	1	3	1,5
	2	1	2,5
	3	2	1
4	1	2	1
	2	3	2,5
	3	1	3
5	4	2	1
	1	3	0,5
	2	2	2

Si ordenamos las fases a realizar en los distintos CT's:

Máquina	Orden de Fabricación	Nº Fase	Tiempo
1	1	3	1
	2	2	2
	3	2	2,5
	4	3	3
2	1	1	1
	2	1	0,5
	2	3	0,5
	3	3	1
	4	1	1
	4	4	1
	5	2	2
	1	2	2
3	2	4	2,5
	3	1	1,5
	4	2	2,5
	5	1	0,5

Hipótesis generales de problemas estáticos

- Cada máquina está disponible desde $T=0$ hasta $T=L$ lo suficientemente grande
- No hay montajes ni divergencias. Cada operación j tiene una única anterior i y una única posterior k
- Cada operación sólo se puede realizar en un tipo de máquina
- Sólo hay una máquina de cada tipo (grupos y equilibrado)
- Las operaciones no se pueden interrumpir
- No se pueden solapar dos operaciones de una pieza al mismo tiempo
- Una máquina no puede realizar al mismo tiempo dos operaciones

Nomenclatura

- $n/m/A/B$

- n. número de piezas (órdenes)
 - m. número de máquinas
 - A. Tipo de flujo (P, F,J)
 - B. Medida de eficiencia que queremos optimizar
-
- i. número de pieza
 - j. número de operación
 - Momento de llegada de la pieza $r(i)$. En estáticos $r(i)=0$
 - Fecha comprometida de la pieza $D(i)$
 - Nº de operaciones de la pieza $g(i)$

Nomenclatura

- Tiempo total disponible para hacer la pieza i : $a(i)=D(i)-r(i)$
- Operaciones
- $m(j,i)$ máquina donde se realizará la operación j de la pieza i
 - $j=1,\dots,g(i)$
 - $i=1,\dots,n$
 - $d(j,i)$ duración de la operación j de la pieza i
 - $d(i)$ duración total para la realización de la pieza i $d(i) = \sum_{j=1}^{g(i)} d(j,i)$
- Tiempo de salida de la pieza $c(i)$
- Tiempo de permanencia en el taller de la pieza i : $F(i)=c(i)-r(i)$
- Huelgo: diferencia entre el instante real de salida y la fecha comprometida. $L(i)=c(i)-D(i)$

Nomenclatura

- $L(i) < 0$; Adelanto
- $L(i) > 0$; Retraso
- Retraso de la pieza i . $T(i) = \max\{0, L(i)\}$
- Adelanto de la pieza i . $E(i) = \max\{0, -L(i)\}$

Medidas de eficiencia

- $C_{\text{máx}}$. Minimizar el tiempo de salida de la pieza que sale más tarde.

$$\textit{Min} (C_{\text{máx}} = \textit{Max}_{i=1, \dots, n} \{c(i)\})$$

- $F_{\text{máx}}$. Minimizar el tiempo de permanencia de la pieza que permanece más tiempo en el taller.

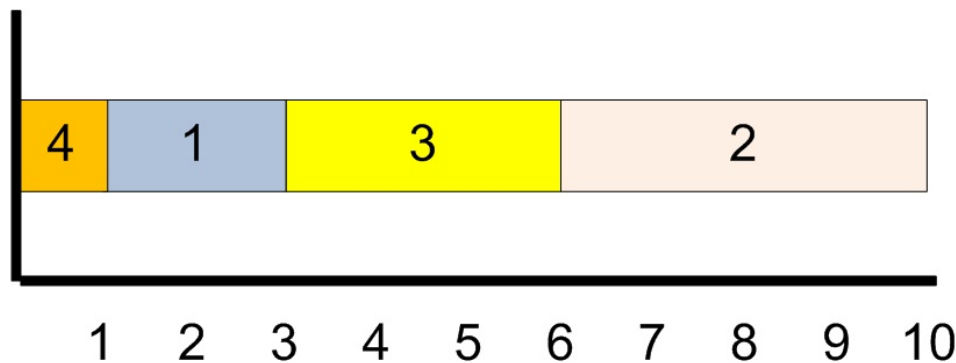
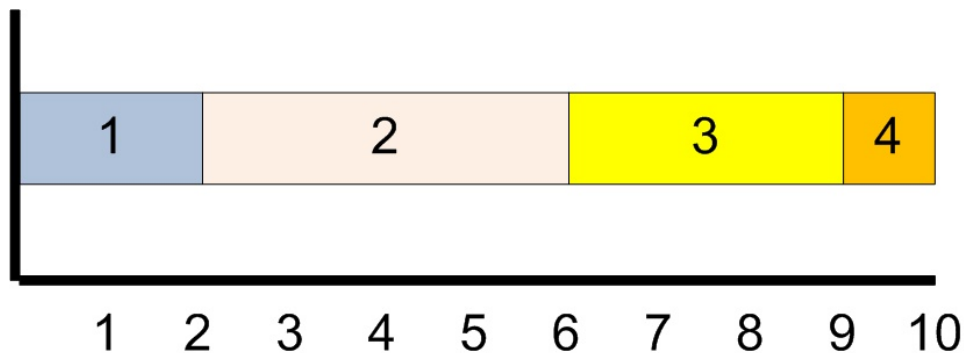
$$\textit{Min} (F_{\text{máx}} = \textit{Max}_{i=1, \dots, n} \{F(i)\})$$

- F_{med} . Minimizar el tiempo medio de permanencia de las piezas en el taller.

$$\textit{Min} (F_{\text{med}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F(i))$$

Ejemplo

- 4/1/P,F,J/Cmáx, Fmáx, Fmed
- $d(1)=2$; $d(2)=4$; $d(3)=3$; $d(4)=1$;



Medidas de eficiencia

- T_{máx}. Minimizar el retraso de la pieza que más se retrasa

$$\text{Min } (T_{\text{máx}} = \text{Max}_{i=1, \dots, n} \{T(i)\})$$
$$\forall_i = 1, \dots, 4$$

–Si en el ejemplo D(i)=7

–T_{máx}=3

Órden	T(i)	L(i)	E(i)
1	0	-5	5
2	0	-1	1
3	2	2	0
4	3	3	0

Medidas de eficiencia

- Emáx. Minimizar el adelanto de la pieza que más se adelanta
- Lmáx. Minimizar el huelgo absoluto de la pieza con mayor huelgo absoluto
- Tmed. Minimizar el tiempo medio de retraso (distintas bibliografías)

$$Tmed = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n T(i) \right)$$

$$Tmed = \frac{1}{n_R} \left(\sum_{i=1}^{n_R} T(i) \right)$$

– Donde n_R son las piezas que tienen retraso

Medidas de eficiencia

- Emed. Minimizar el adelanto medio

$$Emed = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E(i) \qquad Emed = \frac{1}{n_E} \sum_{i=1}^{n_E} E(i)$$

- Lmed. Minimizar el huelgo medio

$$Lmed = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L(i)$$

Medidas de eficiencia con prioridad

- Fwt. Minimizar la suma ponderada de tiempos de permanencia. El trabajo con mayor w_i es el más prioritario.

$$\text{mín}(F_{wt} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot F_i)$$

- F_i . Tiempo de permanencia del trabajo i
- w_i . Prioridad del trabajo i

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Medidas de eficiencia con prioridad

- Twt. Minimizar la suma ponderada de los retrasos

$$\text{mín}(T_{wt} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot T_i)$$

- Lwt. Minimizar la suma ponderada de los huelgos
- Ewt. Minimizar la suma ponderada de los adelantos
- Etw. Minimizar la suma ponderada de adelantos y retrasos (se consideran ambos positivos)

$$\text{Mín}(Twt = \sum_{i=1}^n (w_{E_i} \cdot E_i + w_{T_i} \cdot T_i))$$

—Para casos generales pueden considerarse diferentes ponderaciones de adelanto y retraso

Métodos de resolución

- Métodos exactos
 - Soluciones óptimas, pero para pocos casos y sencillos
- Métodos heurísticos y reglas de prioridad
 - Fáciles de aplicar pero soluciones en ocasiones no muy buenas
- Métodos metaheurísticos
 - Búsqueda tabú
 - Recocido simulado
 - Algoritmos genéticos
 - Búsqueda iterativa local
 - ...

Reglas de Prioridad

Existe gran cantidad de reglas. **Citaremos las más importantes:**

- Margen Total (Slack):

$$\text{Slack} = \text{Fecha Entrega} - \text{Fecha Actual} - \text{Tiempo Operaciones Tot. Resto}$$

Las O.T. entran en Margen creciente, primero las que menos tienen. Si el Margen es negativo, se entregará fuera de plazo salvo corrección.

- Ratio Crítica:

$$\text{Ratio Crítica} = \frac{\text{Fecha Entrega} - \text{Fecha Actual}}{\text{Tiempo Operaciones Tot. Resto}}$$

Las O.T. entran en Ratio creciente, primero las que menos tienen. Si el Ratio es menor a 1, se entregará fuera de plazo salvo corrección.

- Tiempo de Operación más Corto (SPT - Shortest Process Time):

Según el tiempo que van a ocupar las O.T.'s en el C.T. presente. Se introducen en orden creciente; primero las más cortas.

- Tiempo de Operación más Largo (LPT - Longest Process Time):

Según el tiempo que van a ocupar las O.T.'s en el C.T. presente. Se introducen en orden decreciente; primero las más largas.

Reglas de Prioridad

- **FIFO (First In First Out):**
La O.T. que llega primero entra al C.T.
- **Lote de Fecha de Entrega más Cercana (EDD - Earliest Due Date):**
La O.T., que corresponde a una O.F. con fecha de entrega menor, entra antes.
Maximiza servicio y flujo de tesorería.
- **Lote con Mayor Tiempo en Operaciones Restantes:**
La O.T., que corresponde a una O.F. con mayor tiempo de operación restante, entra antes.
- **Lote de Mayor Valor:**
La O.T., que corresponde a una O.F. con mayor valor de productos, entra antes.
Minimiza el valor de existencias en curso.
- **Lote que irá a la Cola de Espera siguiente más Corta (WINQ):**
La O.T., que tenga un tiempo de espera menor en el C.T. siguiente, entra antes.
Minimiza tiempos muertos.
- **Aleatorio (RANDOM):**
Las O.T. entran aleatoriamente.

Reglas de Prioridad

Podemos establecer una **clasificación de reglas**:

- En función de su **búsqueda de eficacia**:
 - Tiempo de Fabricación.
 - Fecha de Entrega.
- En función de **modo de explotación**:
 - Reglas locales: Dependen sólo de la cola de espera de su C.T.
 - Reglas globales: Dependen del estado de varias colas de espera.
- En función del **tiempo**:
 - Estáticas: La prioridad no cambia con el tiempo.
 - Dinámicas: La prioridad es función del tiempo.

Utilizar **reglas heurísticas** para hacer la **programación** de O.T.'s en planta, implica la **descentralización** de dicha función, pues pasará a hacerse a pie de los C.T.'s.

No tenemos por que usar la misma regla en todos los C.T.'s. Puede que en determinados puntos nos beneficie un tipo de criterio, y en otros no. La experiencia diaria, nos servirá para obtener una configuración mejor.

Reglas de Prioridad

Retomemos el Ejemplo del job shop inicial, y hagamos su programación en base a distintas reglas de prioridad (siendo estas de aplicación en todos los C.T. de la planta):

OF. 1	1-1-2 (1)	1-2-3 (2)	1-3-1 (1)								
OF. 2	2-1-2 (0,5)	2-2-1 (2)	2-3-2 (0,5)	2-4-3 (2,5)							
OF. 3	3-1-3 (1,5)	3-2-1 (2,5)	3-3-2 (1)								
OF. 4	4-1-2 (1)	4-2-3 (2,5)	4-3-1 (3)	4-4-2 (1)							
OF. 5	5-1-3 (0,5)	5-2-2 (2)									

N1-N2-N3: O.F.-O.T.-C.T.
(T): UNIDADES TIEMPO

O.F.	Tiempo Operación Unidades Tiempo	Plazo Entrega Unidades Tiempo
1	4	6
2	5,5	9
3	5	6
4	7,5	12
5	2,5	5

Reglas de Prioridad

0) UNA SOLUCION A DESARROLLAR :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
C.T.1.																	
C.T.2.																	
C.T.3.																	

O.F. -- i	P.E. -- D(i)	T.T. -- c(i)	Ad. -- E(i)	Ret. -- T(i)
1				
2				
3				
4				
5				

TMF -- Cmed	TFP -- Cmín	TFU -- Cmáx	SA -- Emed*nE	SR -- Tmed*nR	NA (nº piezas con adelanto)	NR (nº de pieza con retraso)

Reglas de Prioridad

1) UNA SOLUCION CUALQUIERA:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
C.T.1			2-2-1 (2)	1-3-1 (1)		3-2-1 (2,5)		4-3-1 (3)			
C.T.2	1-1-2 (1)	2-1-2 (0,5)	4-1-2 (1)	5-2-2 (2)	2-3-2 (0,5)			3-3-2 (1)			4-4-2 (1)
C.T.3	5-1-3 (0,5)		1-2-3 (2)	3-1-3 (1,5)		4-2-3 (2,5)		2-4-3 (2,5)			

2) SOLUCION OPTIMA EN TERMINACION (OBTENIDA CON SIMPLEX P.ej.):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
C.T.1		2-2-1 (2)		3-2-1 (2,5)		4-3-1 (3)		1-3-1 (1)			
C.T.2	2-1-2 (0,5)	4-1-2 (1)	1-1-2 (1)	2-3-2 (0,5)	5-2-2 (2)	3-3-2 (1)		4-4-2 (1)			
C.T.3	3-1-3 (1,5)	5-1-3 (0,5)		4-2-3 (2,5)		1-2-3 (2)		2-4-3 (2,5)			

1

O.F.	P.E.	T.T.	Ad.	Ret.
1	6	4,5	1,5	
2	9	9,5		0,5
3	6	8,0		2,0
4	12	11,0	1,0	
5	5	4,5	0,5	

TMF	TFP	TFU	SA	SR	NA	NR	OT
7,5	4,5	11,0	3,0	2,5	3	2	3

2

O.F.	P.E.	T.T.	Ad.	Ret.
1	6	9,0		3,0
2	9	9,0		
3	6	6,0		
4	12	9,0	3,0	
5	5	5,0		

TMF	TFP	TFU	SA	SR	NA	NR	OT
7,6	5,0	9,0	3,0	3,0	1	1	4

Reglas de Prioridad

3) REGLA SPT (+FIFO en empate):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
C.T.1		2-2-1 (2)		3-2-1 (2,5)		1-3-1 (1)		4-3-1 (3)			
C.T.2	2-1-2 (0,5)	1-1-2 (1)	4-1-2 (1)	2-3-2 (0,5)	5-2-2 (2)	3-3-2 (1)				4-4-2 (1)	
C.T.3	5-1-3 (0,5)	3-1-3 (1,5)		1-2-3 (2)		4-2-3 (2,5)		2-4-3 (2,5)			

4) REGLA LPT (+FIFO en empate):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
C.T.1			3-2-1 (2,5)		2-2-1 (2)		4-3-1 (3)			1-3-1 (1)	
C.T.2	1-1-2 (1)	4-1-2 (1)	2-1-2 (0,5)		3-3-2 (1)		2-3-2 (0,5)	5-2-2 (2)		4-4-2 (1)	
C.T.3	3-1-3 (1,5)		1-2-3 (2)		4-2-3 (2,5)		5-1-3 (0,5)	2-4-3 (2,5)			

3

O.F.	P.E.	T.T.	Ad.	Ret.
1	6	6,0		
2	9	9,0		
3	6	6,0		
4	12	10,5	1,5	
5	5	5,0		

TMF	TFP	TFU	SA	SR	NA	NR	OT
7,3	5,0	10,5	1,5	0,0	1	0	5

4

O.F.	P.E.	T.T.	Ad.	Ret.
1	6	10,0		4,0
2	9	9,0		
3	6	5,0	1,0	
4	12	10,0	2,0	
5	5	8,5		3,5

TMF	TFP	TFU	SA	SR	NA	NR	OT
8,5	5,0	10,0	3,0	7,5	2	2	3

Reglas de Prioridad

5) REGLA EDD (+FIFO en empate):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
C.T.1				3-2-1 (2,5)		1-3-1 (1)	2-2-1 (2)		4-3-1 (3)		
C.T.2	1-1-2 (1)	5-2-2 (2)	2-1-2 (0,5)	4-1-2 (1)	3-3-2 (1)			2-3-2 (0,5)			4-4-2 (1)
C.T.3	5-1-3 (0,5)	3-1-3 (1,5)	1-2-3 (2)			4-2-3 (2,5)			2-4-3 (2,5)		

6) REGLA MARGEN MENOR (+FIFO en empate):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
C.T.1				3-2-1 (2,5)		2-2-1 (2)	1-3-1 (1)		4-3-1 (3)		
C.T.2	1-1-2 (1)	2-1-2 (0,5)	4-1-2 (1)	5-2-2 (2)	3-3-2 (1)		2-3-2 (0,5)				4-4-2 (1)
C.T.3	3-1-3 (1,5)	5-1-3 (0,5)	1-2-3 (2)			4-2-3 (2,5)		2-4-3 (2,5)			

7) REGLA RAZÓN CRÍTICA MENOR (+FIFO en empate): RESULTADO IDENTICO A 6.

5

O.F.	P.E.	T.T.	Ad.	Ret.
1	6	5,5	0,5	
2	9	10,5		1,5
3	6	5,5	0,5	
4	12	11,5	0,5	
5	5	3,0	2,0	

TMF	TFP	TFU	SA	SR	NA	NR	OT
7,2	3,0	11,5	3,5	1,5	4	1	4

6 y 7

O.F.	P.E.	T.T.	Ad.	Ret.
1	6	7,0		1,0
2	9	9,0		
3	6	5,5	0,5	
4	12	11,0	1,0	
5	5	4,5	0,5	

TMF	TFP	TFU	SA	SR	NA	NR	OT
7,4	4,5	11,0	2,0	1,0	3	1	4

Reglas de Prioridad

COMPARATIVA FINAL:

	COMPARATIVA FINAL	TMF	TFP	TFU	SA	SR	NA	NR	OT
1	UNA SOLUCION CUALQUIERA	7,5	4,5	11,0	3,0	2,5	3	2	3
2	SOLUCION OPTIMA (CON SIMPLEX P.Ej.)	7,6	5,0	9,0	3,0	3,0	1	1	4
3	REGLA DE PRIORIDAD SPT (+FIFO)	7,3	5,0	10,5	1,5	0,0	1	0	5
4	REGLA DE PRIORIDAD LPT (+FIFO)	8,5	5,0	10,0	3,0	7,5	2	2	3
5	REGLA EDD (+FIFO)	7,2	3,0	11,5	3,5	1,5	4	1	4
6	MARGEN MENOR (+FIFO)	7,4	4,5	11,0	2,0	1,0	3	1	4
7	RAZON CRITICA MENOR (+FIFO)	7,4	4,5	11,0	2,0	1,0	3	1	4

Para nuestro ejemplo, hemos obtenido estos resultados:

- La **programación lineal**, al obligar a una finalización total óptima, da el mejor resultado en este sentido. Pero en el resto de medidas no destaca especialmente.
- La **SPT**, obtiene los mejores resultados en la “finalización a tiempo”. Ha conseguido cumplir todos los tiempos de entrega, sin incurrir en retrasos. Sin embargo tampoco cuenta con un gran margen de adelantos.
- La **EDD**, obtiene los mejores adelantos. Sin embargo ha incurrido en un retraso de 1,5 U.T.

Reglas de Prioridad

Hagamos algunas matizaciones sobre nuestro ejemplo:

- **Es muy sencillo:** las diferencias no resultan muy significativas. En una situación real con cientos de O.T. y decenas de C.T., se producirán diferencias importantes. No obstante, a casuísticas distintas tendríamos distintos resultados. Nos deberemos ceñir a un criterio sencillo y de buenos resultados.
- **Las reglas más usadas son la EDD y la FIFO:** en el mundo real y para talleres que no tienen una especial informatización de su producción.
- **La regla SPT obtiene generalmente mejores resultados:** sin embargo es difícil de utilizar en plantas donde llegan continuamente nuevas O.T. con tiempos de proceso muy diferentes. Las que necesiten más tiempo, tardarían muchísimo en procesarse. Se suele aplicar exclusivamente en C.T.'s que actúan como cuellos de botella.
- **El Margen y Razón menores:** son las reglas más utilizadas en paquetes comerciales de gestión de la producción. Consiguen unos resultados muy aceptables para una gama amplia de objetivos de gestión.
- **Los objetivos de gestión más requeridos son:**
 - **Tiempo de finalización último de programa (llamado makespan).** En empresas que pueden dar el plazo de entrega a sus clientes tras la programación.
 - **Cumplimiento de plazos de entrega.** En empresas que no incurrn en la circunstancia anterior.

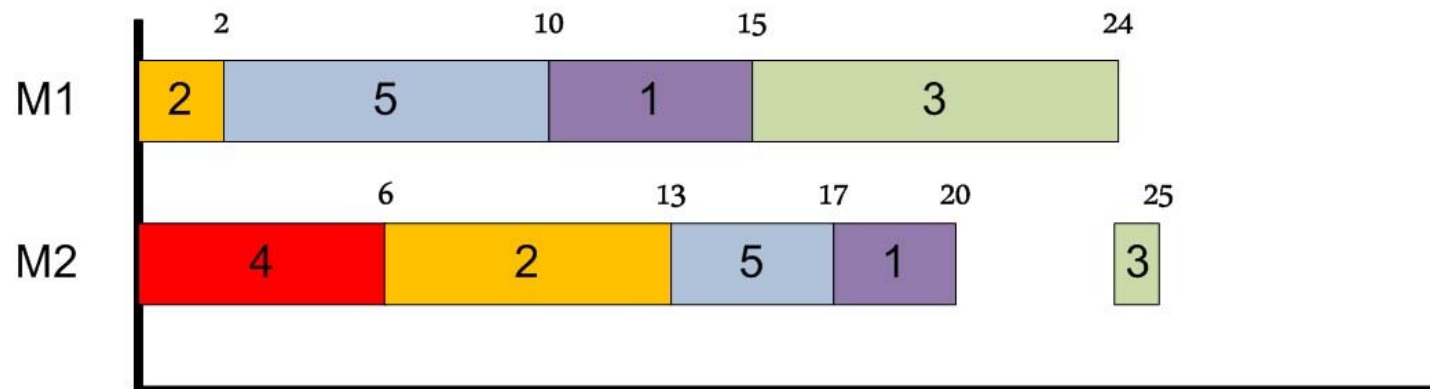
El flow shop permutacional

- 5/2/P/Cmáx, Fmáx

Columna1	M1	M2
Orden 1	5	3
Orden 2	2	7
Orden 3	9	1
Orden 4	0	6
Orden 5	8	4

- $n!$ posibles soluciones
- Solución óptima

4 2 5 1 3



El flow shop permutacional

- Vamos a ver otra forma de realizar estos cálculos sin utilizar Gantt
- $d(1,i)$ duración de la primera operación de la pieza i
- $d(2,i)$ duración de la segunda operación de la pieza i

$$F(j,i) = \text{Máx} \left\{ \begin{array}{l} F(j-1,i) \\ F(j,k-1) \end{array} \right\} + d(j,i)$$

- $k-1$, es la pieza secuenciada antes en esa máquina
- Si $j=1$, estamos programando la primera máquina y la planificación es continua

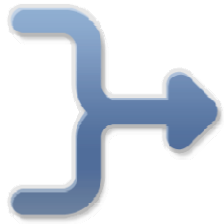
Otro ejemplo

- 5/3/P/Cmáx, Fmáx

Columna1	M1	M2	M3
Orden 1	5	3	8
Orden 2	7	4	3
Orden 3	6	5	4
Orden 4	8	2	6
Orden 5	9	1	5

1	3	4	2	5
---	---	---	---	---

- Solución óptima=41
- Dibujar el diagrama de Gantt de secuenciación



Resumen

- Planificación de la producción
- Problema de scheduling
- Definiciones y notación
- Medidas de performance y objetivos
- Estrategias de solución
 - Métodos exactos
 - Métodos heurísticos y reglas de prioridad
 - Métodos metaheurísticos (Optimización aleatorizada)
- Reglas de prioridad
- Flow Shop permutacional