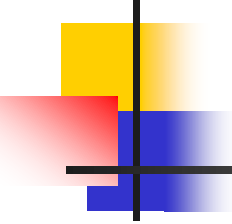


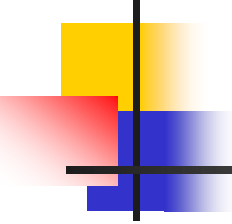
Gestión de Operaciones

Capítulo 10: Programación de Operaciones



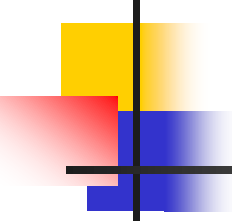
Carga de Máquinas

- Problema:
 - Dado un conjunto de trabajos que pasan por distintas máquinas, ¿cómo cargar el sistema?
- Casos:
 - Estático:
 - Todos los trabajos enviados al comienzo del día.
 - Ejemplo: fábrica textil.
 - Dinámico:
 - Los trabajos siguen llegando durante el día.
 - Ejemplos: garage, imprenta.



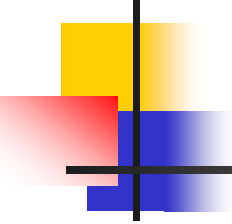
Carga de Máquinas

- Consideraciones:
 - Capacidades de operación de cada máquina.
 - Tiempos prometidos de entrega.
 - Prioridades de los clientes.
- Enfoques:
 - Carga a futuro:
 - Se van cargando hacia delante los trabajos y se ve si se cumplen los plazos.
 - Se puede usar capacidad infinita para ver la capacidad necesaria o imponer la capacidad existente.
 - Ventaja: se carga bien al comienzo.
 - Desventaja: no asegura bien cumplir los plazos.



Carga de Máquinas

- Carga retrospectiva:
 - Partir con las fechas de vencimiento y retroceder hasta el tiempo actual.
 - Ventaja: asegura el cumplimiento de los plazos.
 - Desventaja: puede cargar mal al comienzo.
 - Presenta problemas sobre todo en el caso dinámico.
- Ejemplo:
 - 4 proyectos y 3 máquinas.
 - Supuestos:
 - Días de 8 horas.
 - Tiempos movimiento/espera de 8 horas.



Carga de Máquinas

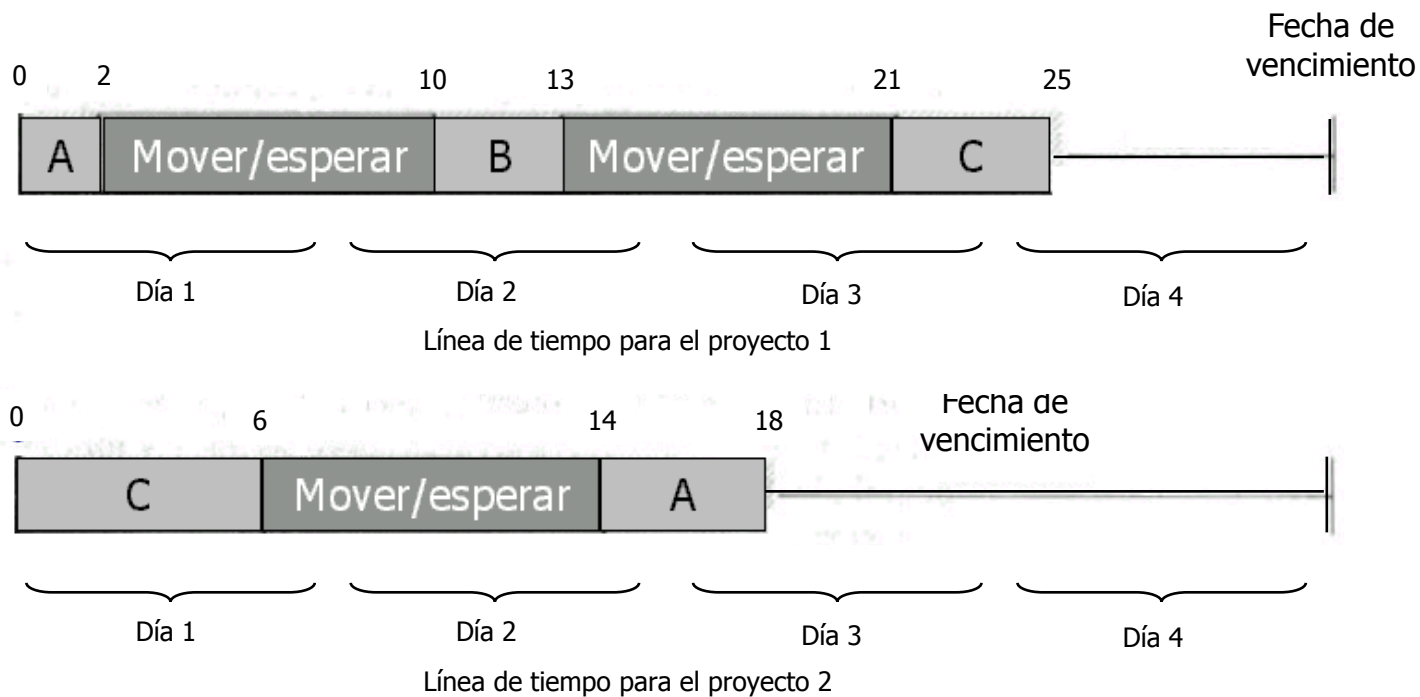
- Se deben cargar las máquinas con trabajos de manera de cumplir los plazos de entrega.

Datos de Proyectos para Carga:

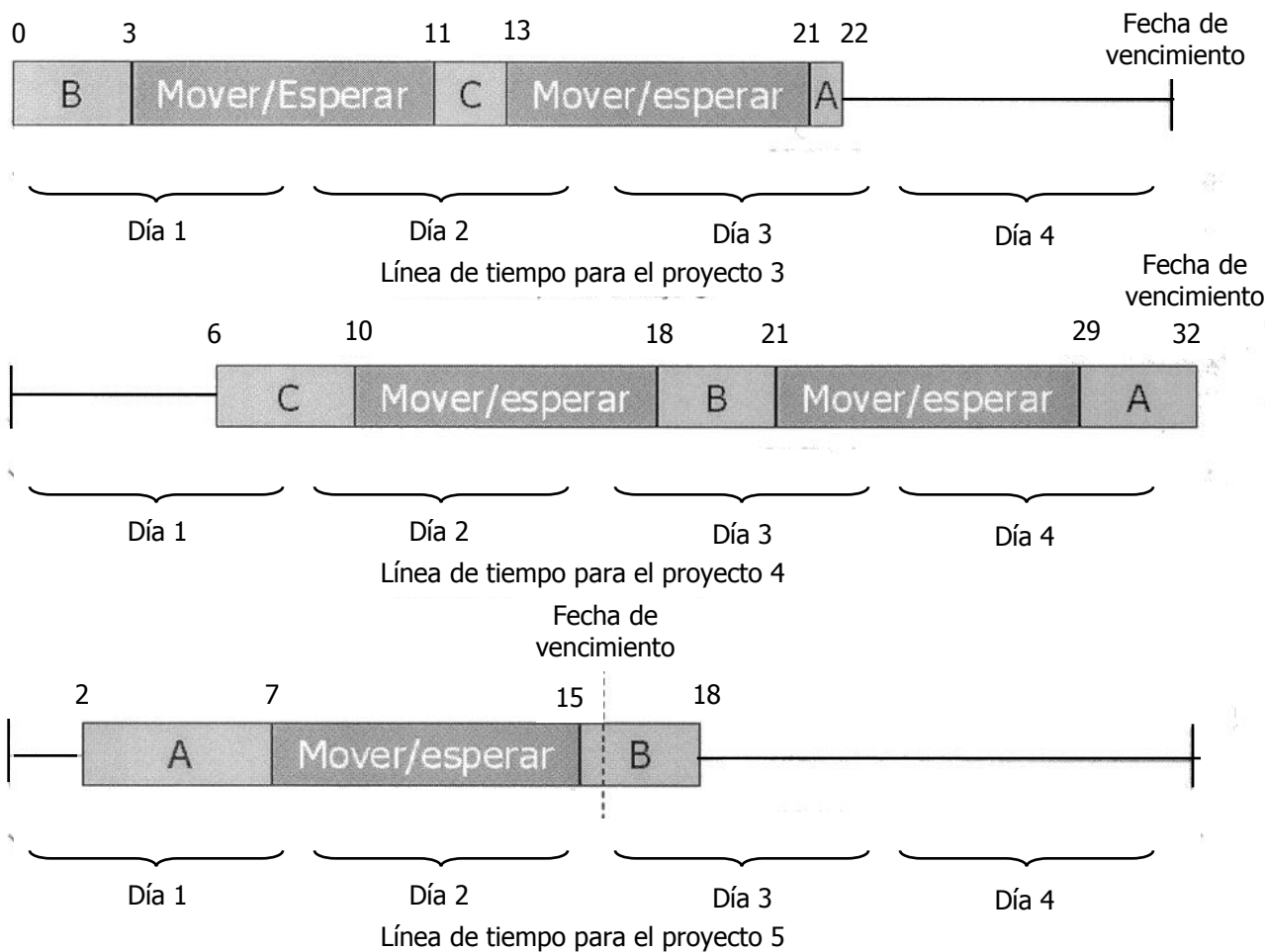
Proyectos	Centro de Trabajo/ horas máquina	Fecha vencimiento
1	A/2, B/3, C/4	4
2	C/6, A/4	3
3	B/3, C/2, A/1	4
4	C/4, B/3, A/3	4
5	A/5, B/3	2

Carga de Máquinas

Líneas de Tiempo para la Carga a Futuro:

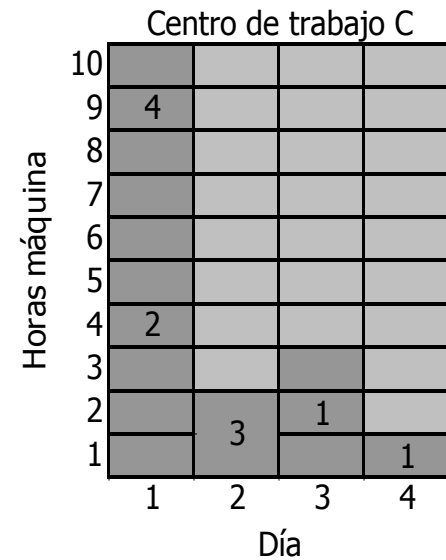
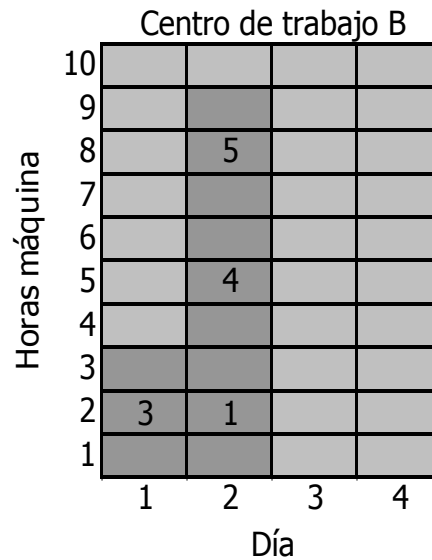
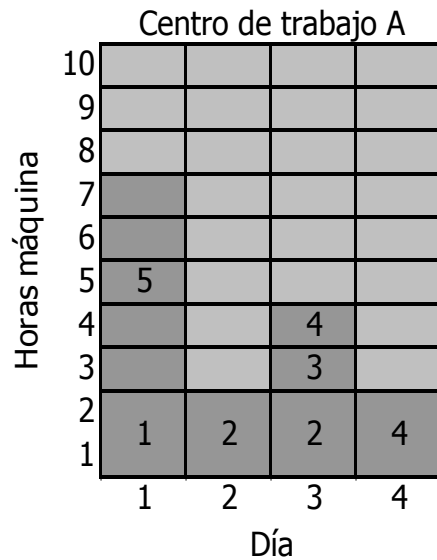


Carga de Máquinas



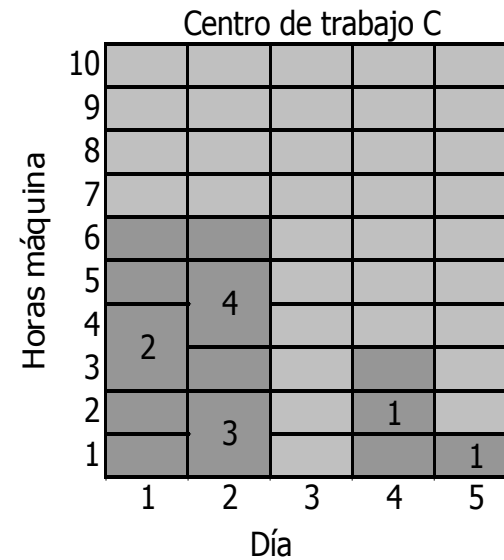
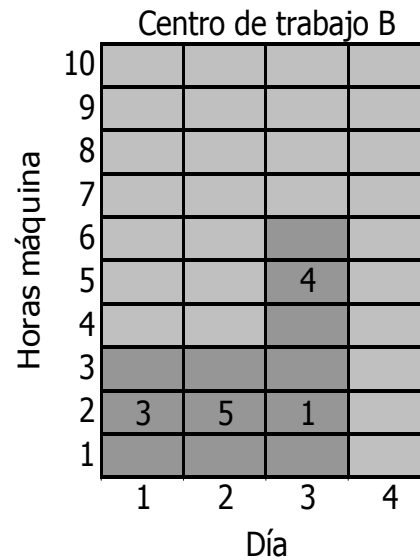
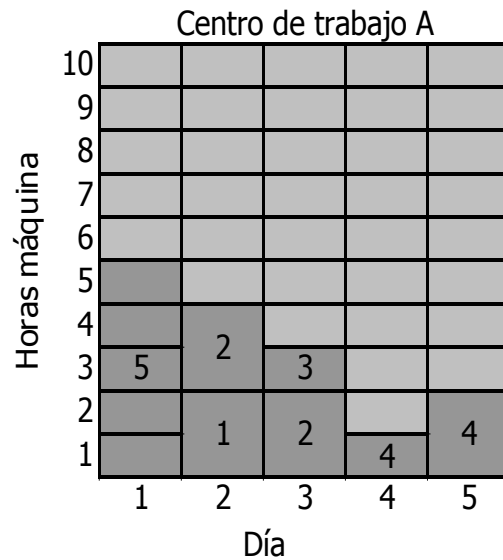
Indicación: Partir en A con proyecto 5 en vez de proyecto 1.

Carga de Máquinas



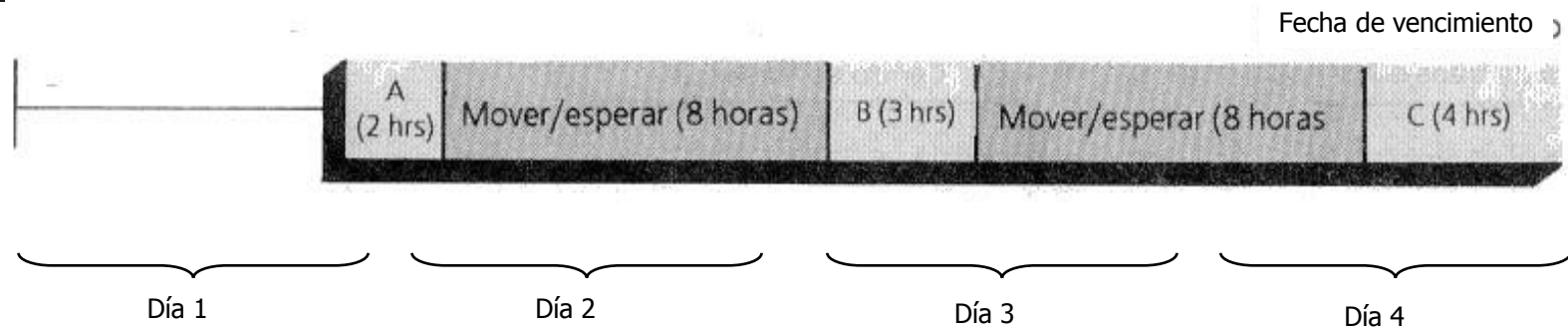
Gráficas de Carga a Futuro

Carga de Máquinas

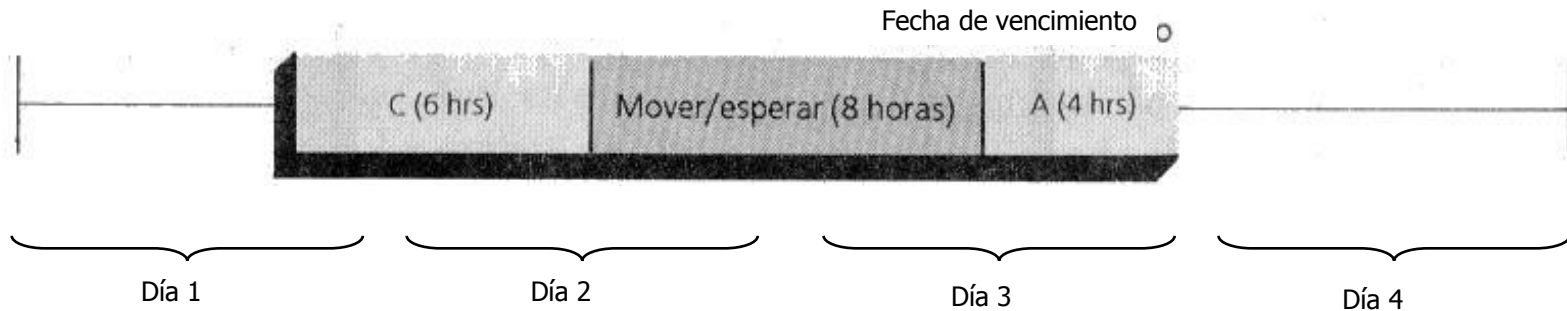


Ejemplo de Nivelación de Carga

Carga de Máquinas



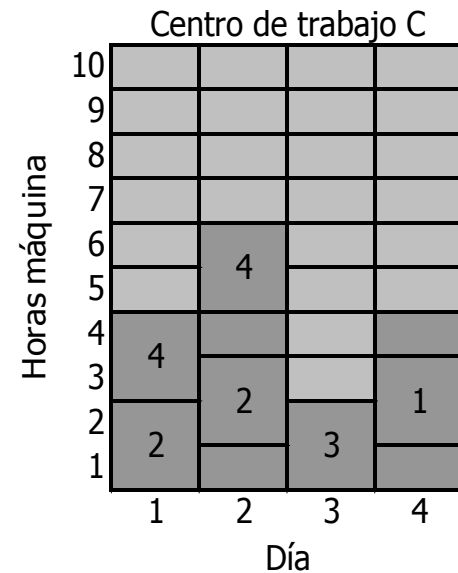
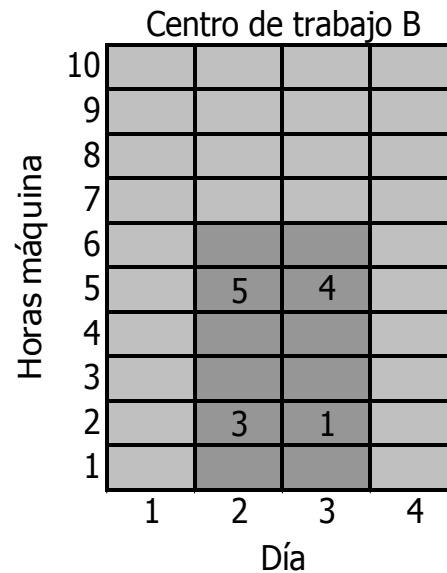
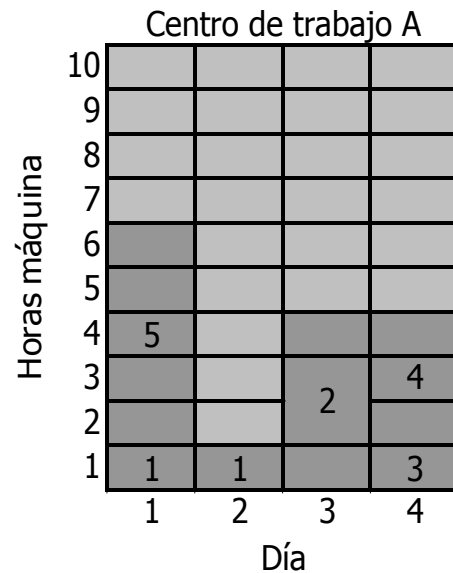
Línea de tiempo para el proyecto 1



Línea de tiempo para el proyecto 2

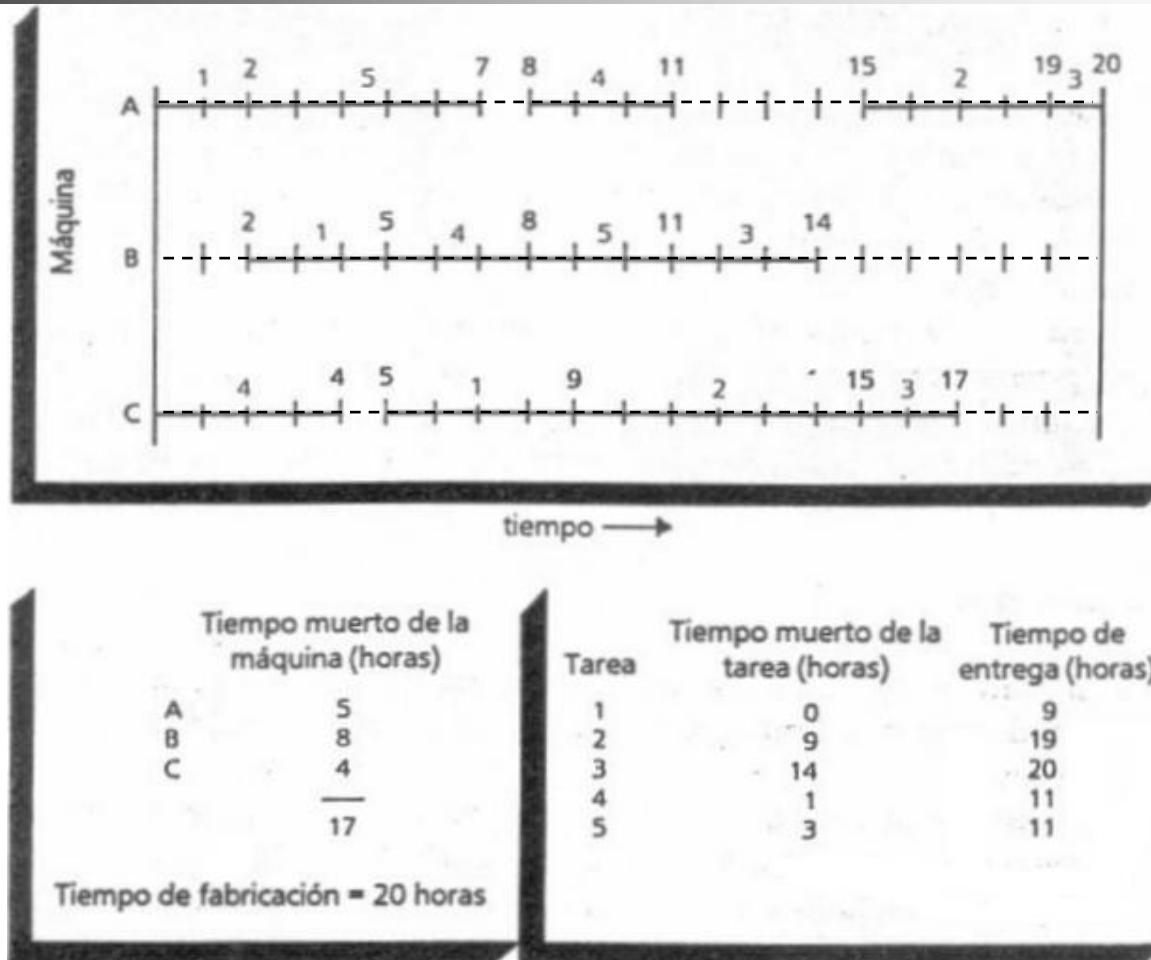
Líneas de Tiempo para la Carga Retrospectiva

Carga de Máquinas



Gráficas de Carga Retrospectiva

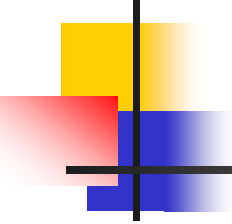
Secuenciamiento



Gráfica de Gantt

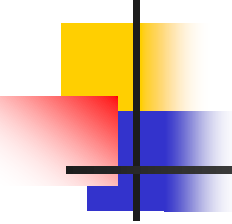
Secuencia 1, 4, 5, 2, 3.

Nota: Los tiempos de movimiento se han eliminado.



Secuenciamiento

- Caso de 1 Máquina:
 - Notación:
 - N : número de trabajos.
 - t_i : tiempo requerido por el trabajo i .
 - El tiempo total corresponde a la suma de los tiempos requeridos por los trabajos, independiente del orden de éstos.
 - Si se quiere minimizar el tiempo medio de espera conviene ordenar los trabajos de menor a mayor tiempo de proceso.



Secuenciamiento

■ Demostración:

tiempo de espera cliente 2 = t_1

tiempo de espera cliente 3 = $t_1 + t_2$

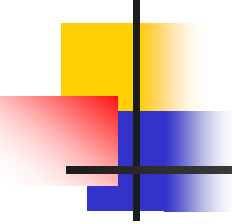
tiempo de espera cliente 4 = $t_1 + t_2 + t_3$

tiempo de espera.....

tiempo medio de espera (z):

$$z = \frac{(N-1)t_1 + (N-2)t_2 + (N-3)t_3 + \dots + 2t_{N-2} + t_{N-1}}{N}$$

Donde z se minimiza con $t_1 < t_2 < t_3 \dots < t_N$, que corresponde a la regla propuesta.

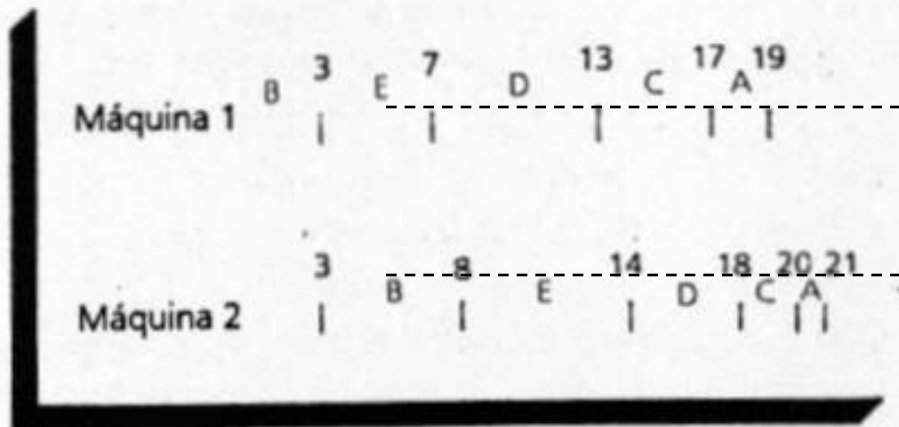


Secuenciamiento

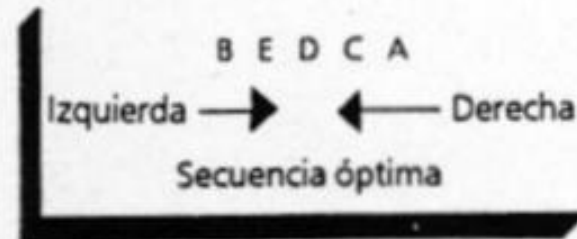
- Caso de 2 Máquinas:
 - Los trabajos pasan por las dos máquinas en la misma secuencia.
 - Para su secuenciamiento se utiliza la regla de la mano izquierda - mano derecha.
 - Tomar los proyectos más cortos en la máquina 1 y ubicarlos primero.
 - Tomar los proyectos más cortos en la máquina 2 y ubicarlos al final.

Secuenciamiento

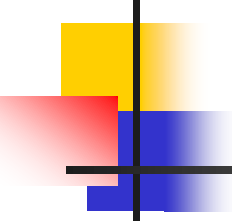
■ Ejemplo:



Tiempo de procesamiento (horas)		
Tarea	Máquina 1	Máquina 2
A	2	1
B	3	5
C	4	2
D	6	4
E	4	6

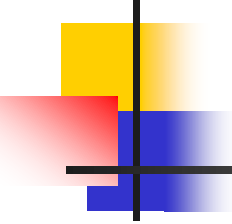


Secuenciamiento de Dos Máquinas



Secuenciamiento

- Tiempo menor es para la tarea A en la máquina 2
 $\Rightarrow$ A al final.
- Luego el menor tiempo es para C en la máquina 2
 $\Rightarrow$ C al final, antes de A.
- Luego el menor tiempo es para B en la máquina 1
 $\Rightarrow$ B al principio.
- Luego el menor tiempo es para E en la máquina 1
 $\Rightarrow$ C al comienzo, después de B.
- Finalmente D se ubica entre E y C.



Problemas son complejos de Modelar

Problemas más sencillo

N : Trabajos

Una máquina

T_i : Tiempo de trabajo i

¿Cómo ordenarlos para minimizar tiempo medio?

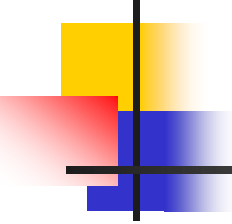
Variables

X_{ij} : 1 si trabajo j se hace inmediatamente después de trabajo i .

t_i : tiempo de comienzo de trabajo i .

X_{oi} : 1 si primer trabajo es i .

$X_{j,N+1}$ = 1 si último trabajo es j .



MODELO

$$\text{Min} \quad \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \alpha t_i$$

$$\text{s.a.} \quad \sum_{i=1}^N X_{oi} = 1$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N+1} X_{ij} = 1 \quad \forall i,$$

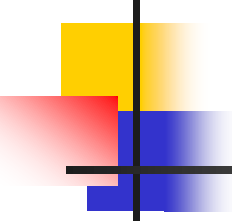
$$\sum_{j=i}^N X_{jN+1} = 1$$

$$t_j \geq \sum_{i \neq j} X_{ij} (t_i + T_i)$$

Un trabajo es el primero

**Desde cada trabajo i
se pasa a alguno,
incluso (N+1)**

**Algún trabajo es el
último**



MODELO

$$(T_o = 0)$$

$$X_{ij} = 0,1$$

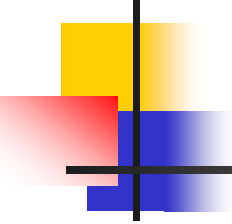
$$t_j \geq 0$$

Problema no trivial, con N^2 variable 0-1

Nota : Como se resuelve si hay un tiempo de cambio

Z_{ij} al pasar del trabajo i al j ?

Cómo se modela el caso de dos máquinas en serie?



MODELO

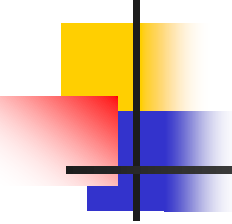
Por simulación.

Regla de entrada de trabajos: Supongamos F1 FO

Trabajos ordenados por orden de llegada $i=1, N$

- En $t=0$ entra trabajo 1, se demora t_1
- En t_1 entra trabajo 2, sale en $(t_1 + t_2)$, etc.
- El último trabajo sale en $(t_1 + + t_N)$

y se calcula
$$\frac{1}{N} \left[t_1 + (t_1 + t_2) + t_1 + t_2 + t_3 + (t_1 + t_{N-1}) \right]$$



MODELO

Caso de m trabajos, n máquinas.

Cada trabajo tiene que pasar por todas las máquinas en secuencia.

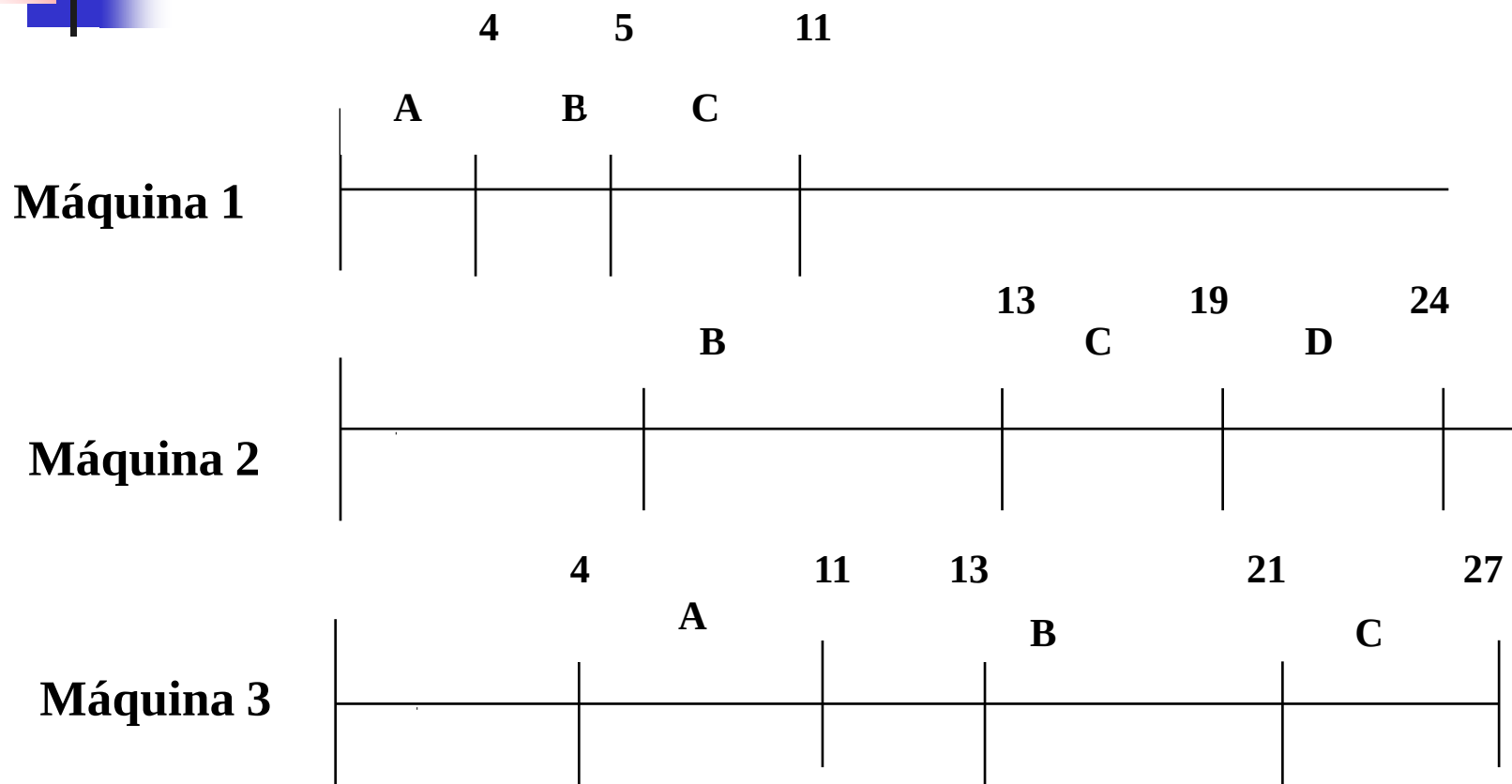
Sea t_{ij} el tiempo que demora trabajo i en máquina j .

Ejemplo : 4 trabajos, 3 máquinas.

Máquinas			
Trabajo	1	2	3
A	4	-	7
B	1	8	8
C	6	6	6
D	-	6	-

Regla FIFO

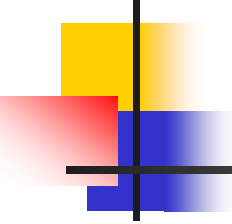
Simulación



De aca se ve que el último trabajo sale en 27.

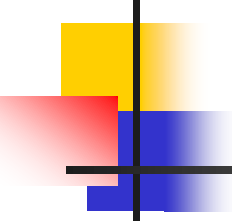
Se puede calcular tiempos medios de salida, tiempos muertos.

Se puede comparar con otras política, por ejemplo, entra primero el trabajo más corto en la máquina 1.



Secuenciamiento

- Caso General:
 - Es muy complejo.
 - Se utilizan modelos matemáticos y heurísticas.
 - Combina:
 - Tiempos de ejecución.
 - Prioridades.
 - Costos de operación.
 - Capacidad de las máquinas.



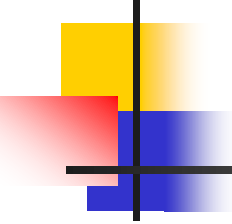
Simulación

- Problema:

- ¿Cuántas cajas de peaje son necesarias en un día de demanda alta?

- Datos:

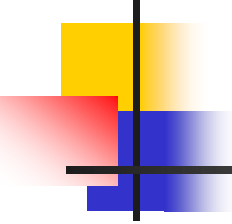
- Cada auto demora en caja 30 segundos.
- Se tiene una estadística de la llegada de autos por minuto.



Simulación

Llegadas por minuto:

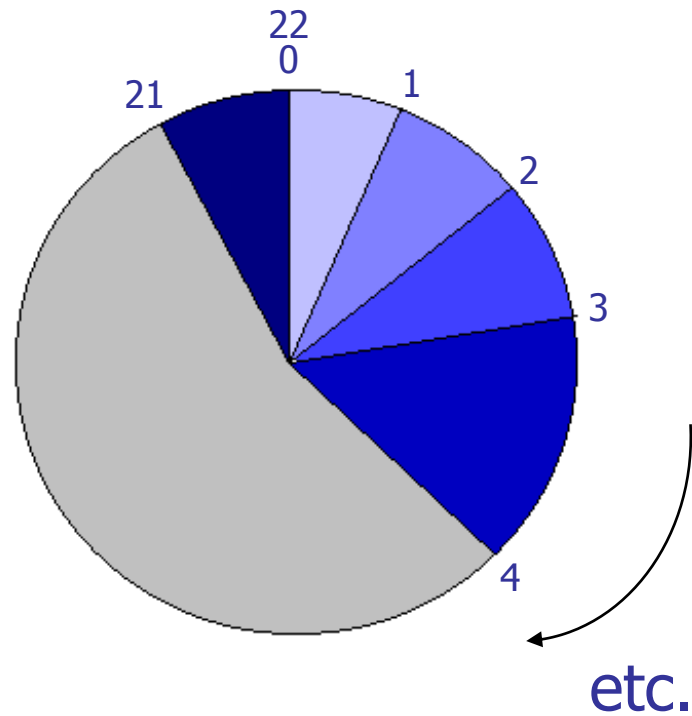
Número de Llegadas	Frecuencia
0	10
1	23
2	45
3	68
4	90
5	140
6	165
...	...
22	...
Total	1000



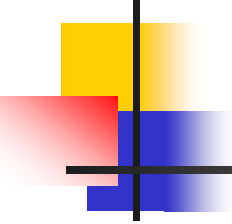
Simulación

- Se prueba con un número de cajas (n) igual a 1, 2, 3, 4, 5, 6...
- Se busca el número de cajas mínimo tal que no más del 3% de los autos espere más de 2 minutos.
- Simulación por incrementos de tiempo:
 - En la hora cero las cajas (3 por ejemplo) se suponen vacías.
 - Para saber cuántas llegadas ocurren en el primer minuto se saca un número aleatorio proporcional a la frecuencia.

Simulación



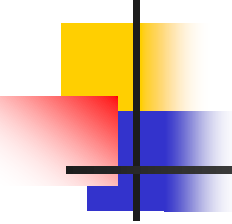
Proporciones Asociadas a las Frecuencias



Simulación

Histograma:

Minuto	Llegadas	Cajas ocupadas	Cola	Esperas de más de 2 minutos
1	4	2	0	0
2	7	3	1	0
3	8	3	3	0
4	14	3	11	0
5	8	3	13	?
6	6	3	13	?
7	5	3	12	?
8	2	3	8	?
9	2	3	4	?
10	...	...	...	...

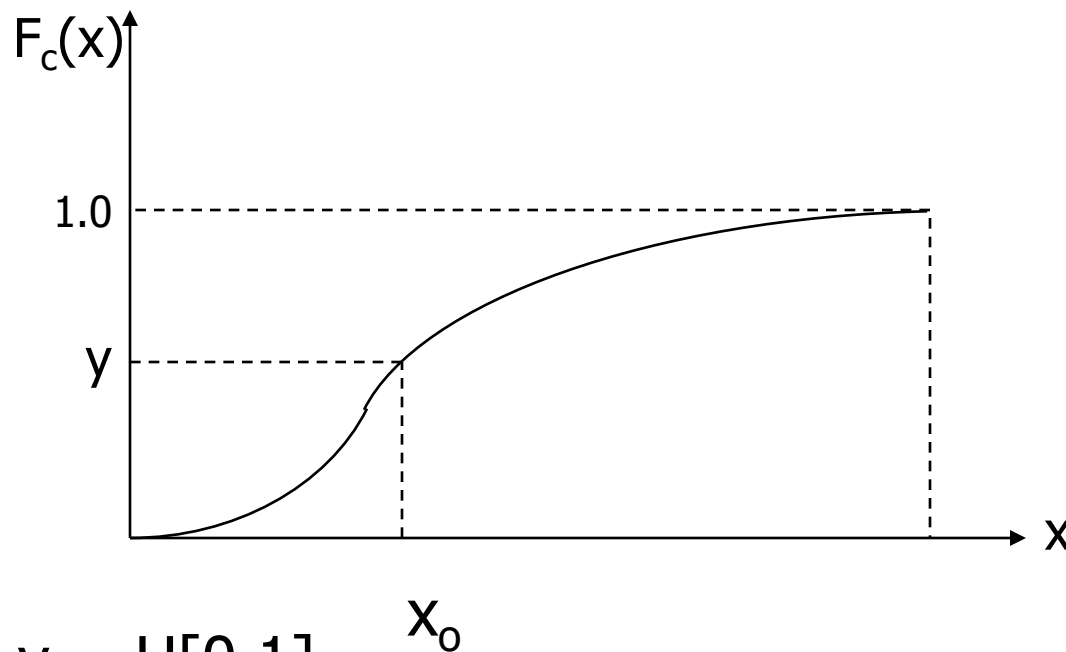


Simulación

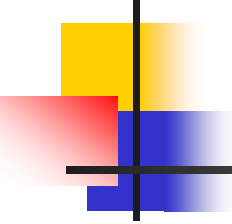
- Se puede verificar cuánto espera cada auto utilizando regla FIFO.
- Una vez hecha la simulación para n , se repite para $n+1$, $n+2$, ..., etc. Se ven las estadísticas para cada valor y se elige el número de cajas más adecuado.
- Ahora la pregunta que surge es:
 - ¿Cuántos minutos se debe experimentar según la confiabilidad del resultado?

Simulación

- Obtención de números aleatorios de una distribución $F(x)$.

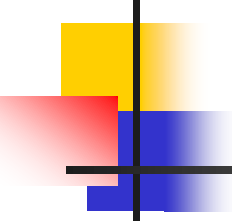


- $y \in U[0,1]$

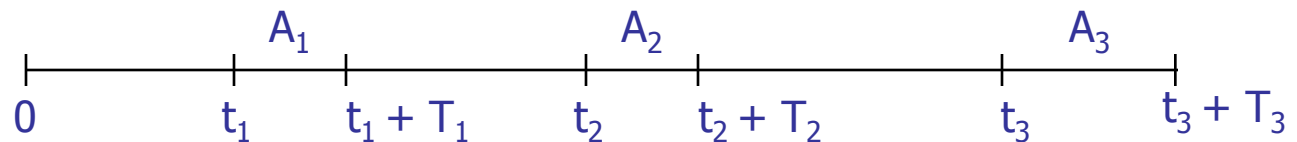


Simulación

- Simulación próximo evento:
 - Tengo tres equipos en serie (falla uno y se para la producción).
 - Datos:
 - Probabilidades de falla $f_i(t)$, $i = 1..3$.
 - Tiempos de reparación T_i , $i = 1..3$.
 - Pregunta:
 - ¿Qué porcentaje del tiempo está parado el sistema?
 - Procedimiento:
 - En $t = 0$ se parte generando tiempos de falla de cada máquina (independientes): $f_1(t) = t_1$, $f_2(t) = t_2$ y $f_3(t) = t_3$.

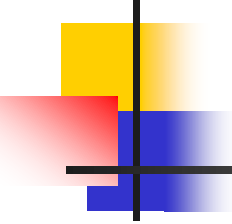


Simulación



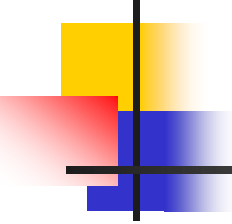
- En A_1 , A_2 y A_3 el sistema está sin funcionar.
- En $(t_1 + T_1)$ se generan próximas fallas del equipo 1. De igual manera para $(t_2 + T_2)$ y $(t_3 + T_3)$.
- En $(0, t_3 + T_3)$ la proporción del tiempo con el sistema sin funcionar es:

$$\frac{A_1 + A_2 + A_3}{(t_3 + T_3)}$$



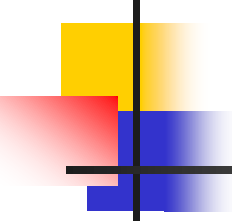
Simulación

- Simulación determinística:
 - Sistema de programación de camiones forestales ASICAM.
 - Datos:
 - Existen 10 orígenes en el bosque y 5 destinos (plantas de celulosa, puertos, aserraderos, etc.).
 - Tiempo de carga y descarga de 20 minutos.
 - Tiempo de viaje entre el origen i y el destino j es t_{ij} .
 - 50 camiones.



Simulación

- A las 6 AM, llegan 10 camiones a los 10 orígenes y cargan.
- A las 6:20 AM parten a sus destinos.
- Otros 10 camiones empiezan a ser cargados en los orígenes a las 6:20
- Camión 1 parte a las 6:20 AM y llega a las 8:45 AM a la planta de celulosa.
- A las 9:45 AM está descargado y parte en un nuevo viaje (reglas heurísticas para ver qué viaje le conviene).
- Así se le sigue la pista a cada camión.
- Si al llegar a un origen o destino hay algún camión siendo atendido, se hace cola.



Simulación

- Simulación avanza en el día a través de los viajes.
- Se lleva estadística de:
 - Madera que se transporta.
 - Camiones usados y tiempo de trabajo.
 - Tiempos de espera en cola.
 - Tiempos de viaje cargado y descargado.
- Desafío:
 - Buenas reglas de asignación de viajes que permitan programar viajes y diseñar flota.