Gestión de Operaciones

Capítulo 11: Programación de Operaciones

Introducción

- Características generales:
  - Corresponden a las decisiones concretas.
  - Son decisiones detalladas, complejas y con muchas alternativas.
  - Deben ser consistentes con el nivel táctico.
- Objetivos:
  - Lograr que la capacidad disponible se use en forma efectiva y eficiente.
  - Distribuir equipos y personal entre distintos trabajos y actividades.

Introducción

- Resultados esperados:
  - Buena utilización de equipos y personal.
  - Bajo nivel de inventarios.
  - Buen servicio.
  - Minimización de costos.
- Ejemplos:
  - Programación semanal en fábrica.
  - Asignaciones médicas en hospital.
  - Programación de camiones.

Procesos en Línea

- Pregunta:
  - Si se tienen diversos productos, ¿qué se produce en cada momento?
- Punto clave:
  - Tiempos de preparación:
    - En producción clásica los altos tiempos de preparación determinan mayores lotes de producción.
    - En los sistemas de manufactura flexible (FMS) los menores tiempos de preparación se traducen en lotes más chicos.

Procesos en Línea

- ¿Cómo secuenciar producciones?
  - Por medio del tiempo de agotamiento (r_i):

$$r_i = \frac{Inventario\ producto\ i}{Demanda\ producto\ i} = \frac{I_i}{d_i}$$

  - Se programan primero los productos con menor tiempo de agotamiento (menor r_i).

Procesos Intermitentes

- Características:
  - Abarca talleres, imprentas, garages....
  - Los proyectos o clientes esperan en una línea conforme cada unidad se transfiere de un centro de trabajo hasta el siguiente.
  - Se forma una cola de inventario de producto en proceso en cada centro de trabajo existiendo tiempos de espera para conseguir la disponibilidad de las instalaciones.
  - Por lo tanto, puede pensarse en el problema de programación intermitente como una red de colas.

Análisis para un buen secuenciamiento

1. Patrón de llegadas de trabajos, clientes.
2. Número y variedad de máquinas o estaciones de trabajo
3. Número de trabajadores
4. Patrones de flujo de los trabajos
5. Objetivos:
   - Minimizar el tiempo total de trabajos
   - Cumplir con tiempos de entrega prometidos.
   - Buena utilización de las máquinas.
   - Minimizar costos.

Control de Entradas - Salidas

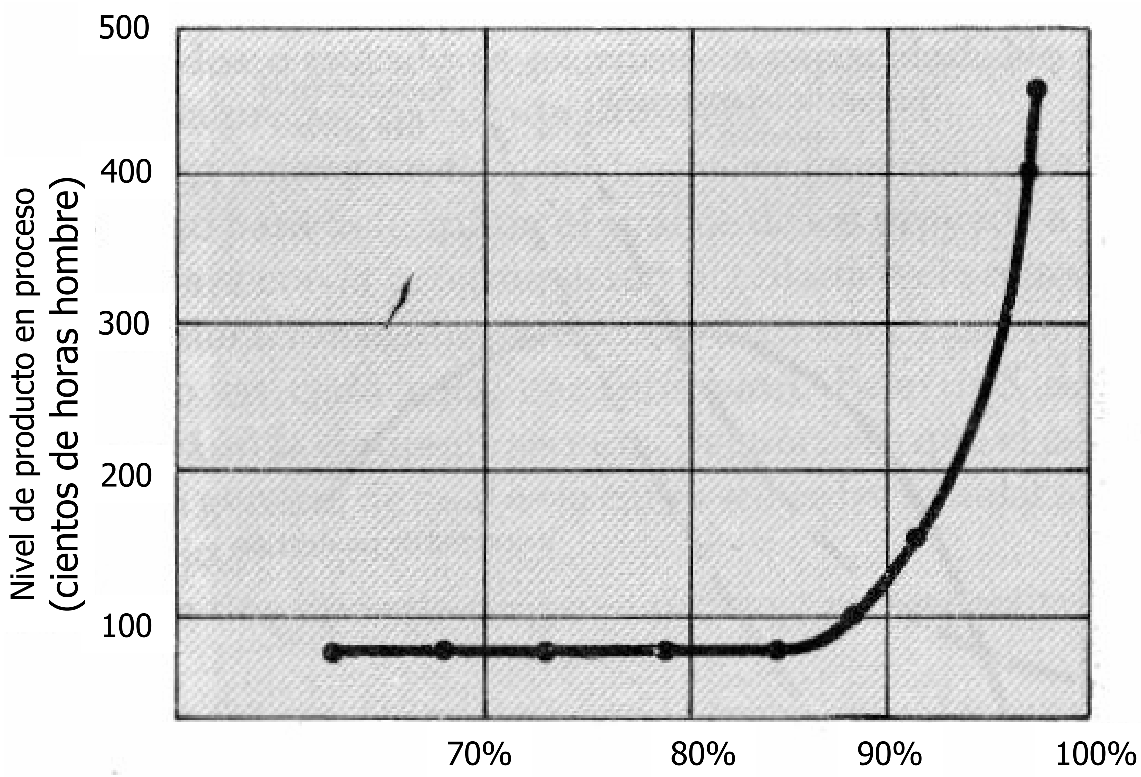
Capacidad no es clara en sistemas complejos

Tiempo de procesamiento del producto = $2.000.000/$100.000 = 20 semanas.

Otro objetivo: Reducir inventarios en proceso.

Cálculos de Entradas - Salidas

Control de Entradas - Salidas



Inventario de Producto vs Uso de Mano de Obra

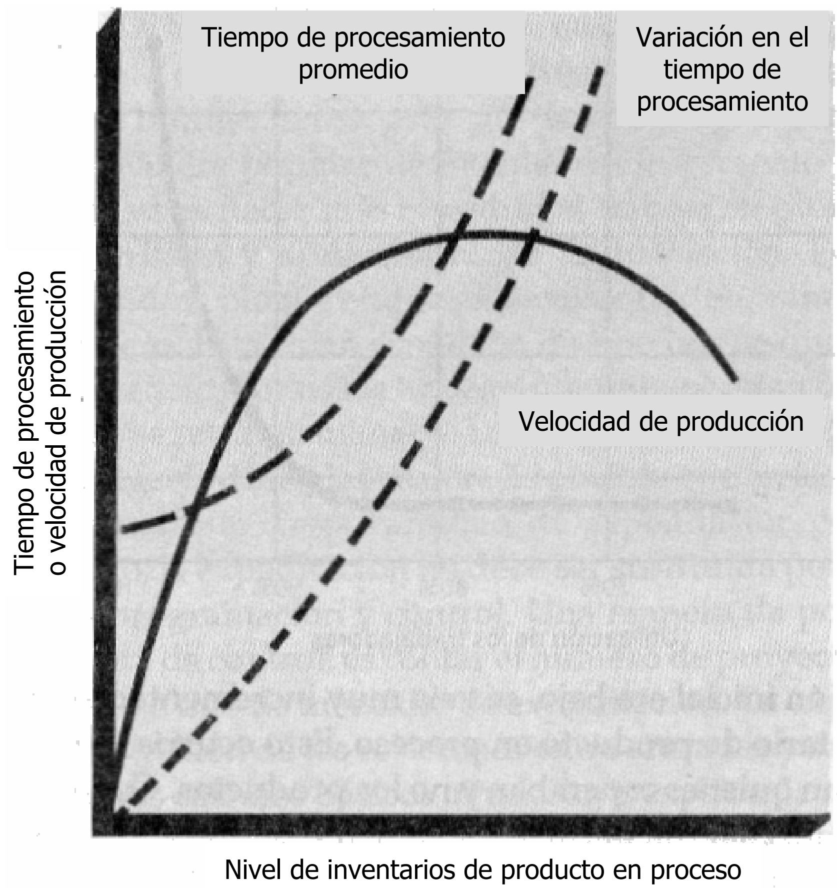
Control de Entradas - Salidas

- Ejemplo:
  - Suponga que es posible reducir el inventario de producto en proceso en un 10% mientras que el uso de la mano de obra disminuye sólo en un 1%, ¿vale la pena la compensación?
  - Datos:
    - El inventario de producto en proceso es 2 millones de dólares.
    - Se utilizan 200 personas que cuestan 5 dólares la hora.
    - Cuesta 20 centavos mantener 1 dólar de inventario durante un año.

Control de Entradas - Salidas

- Respuesta:
  - Costo anual de disminuir el uso de la mano de obra = 0.01·200·40·52·$5 = $20,800.
  - Ahorro anual de inventario = 0.1·20·$2,000,000 = $40,000.
  - Como el ahorro de inventario es mayor que el costo debido a la reducción de mano de obra, vale la pena reducir inventario.

Control de Entradas - Salidas



Relación entre Entradas - Salidas

Reglas de Procesamiento

- FI FO.
- Tiempo de procesamiento mas corto.
- Por tiempo de entrega.
- Razón Crítica:

  Tiempo de proceso/Tiempo faltante para cumplir pedido.

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

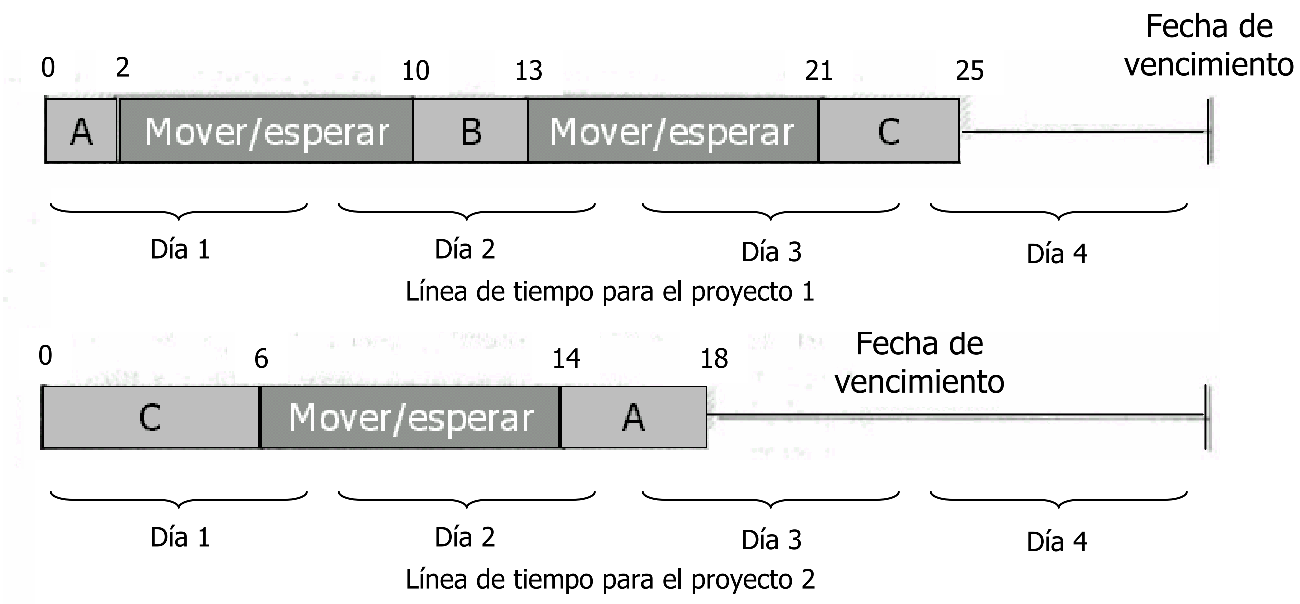
- Se deben cargar las máquinas con trabajos de manera de cumplir los plazos de entrega.

Datos de Proyectos para Carga:

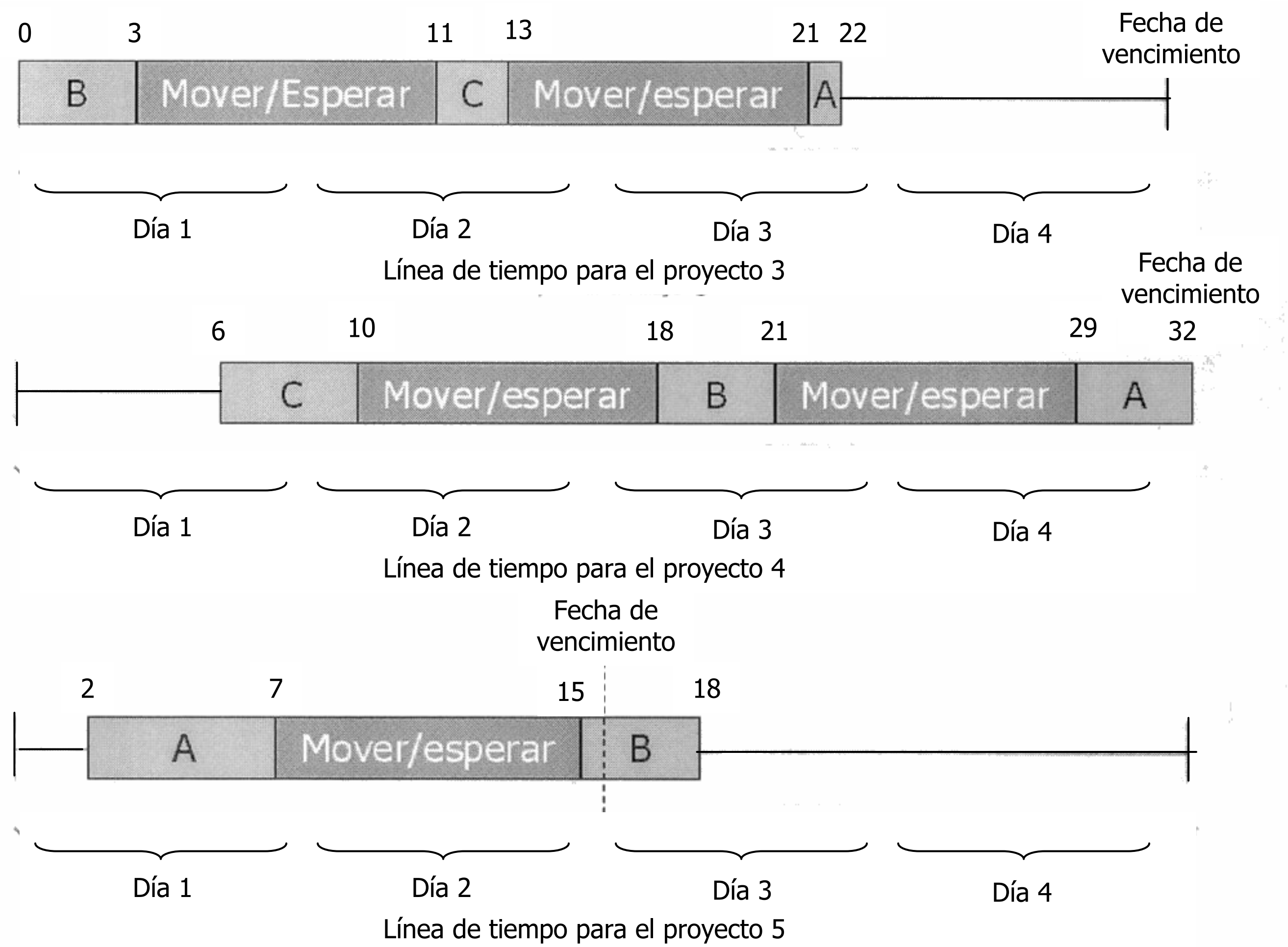
Proyectos	Centro de Trabajo/ horas máquina	Fecha vencimiento
1	A/2, B/3, C/4	4
2	C/6, A/4	3
3	B/3, C/2, A/1	4
4	C/4, B/3, A/3	4
5	A/5, B/3	2

Carga de Máquinas

Líneas de Tiempo para la Carga a Futuro:

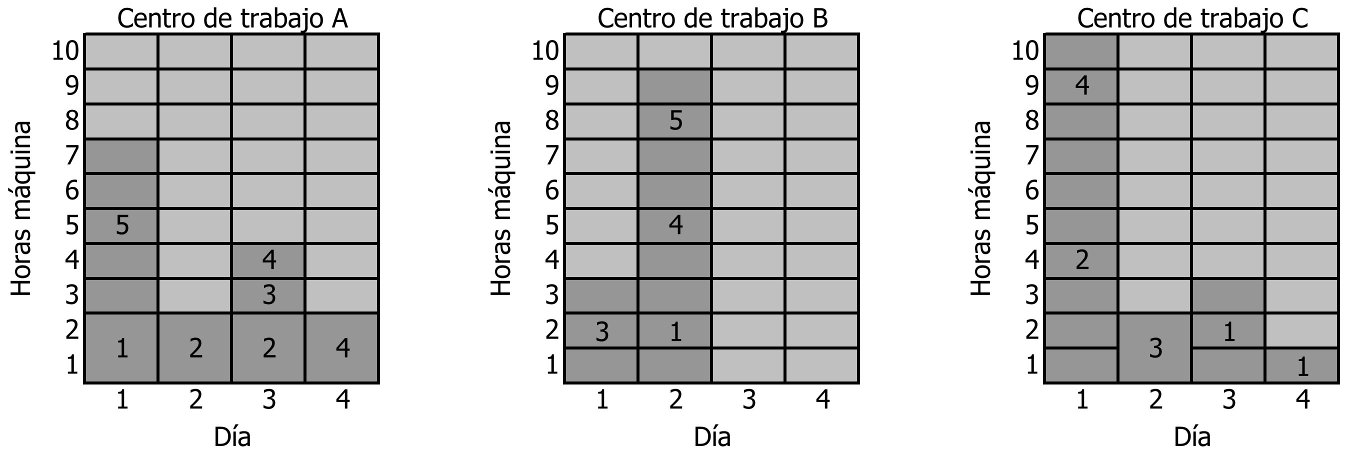


Carga de Máquinas



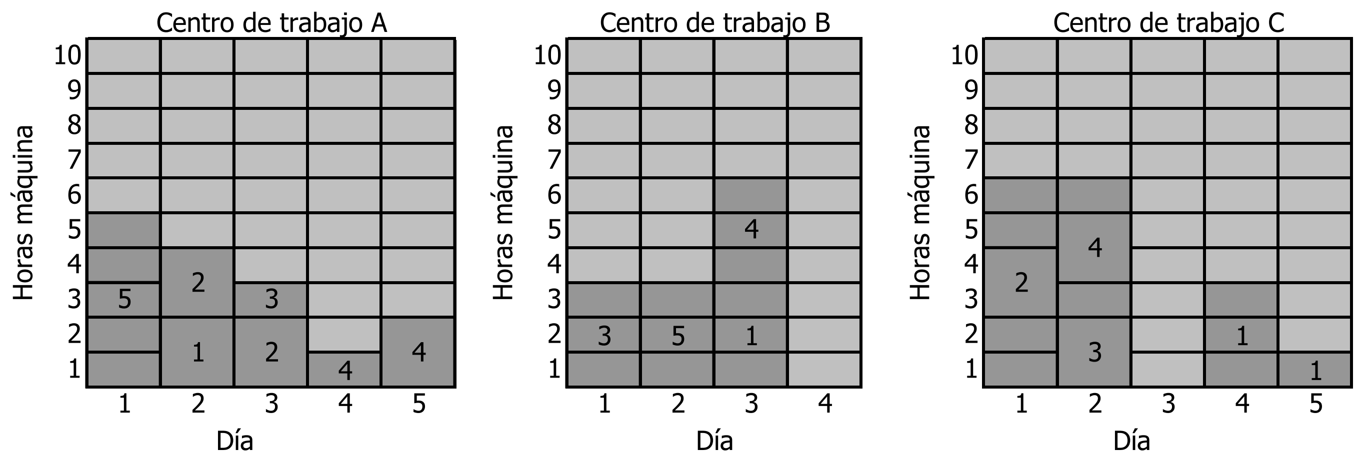
Indicación: Partir en A con proyecto 5 en vez de proyecto 1.

Carga de Máquinas



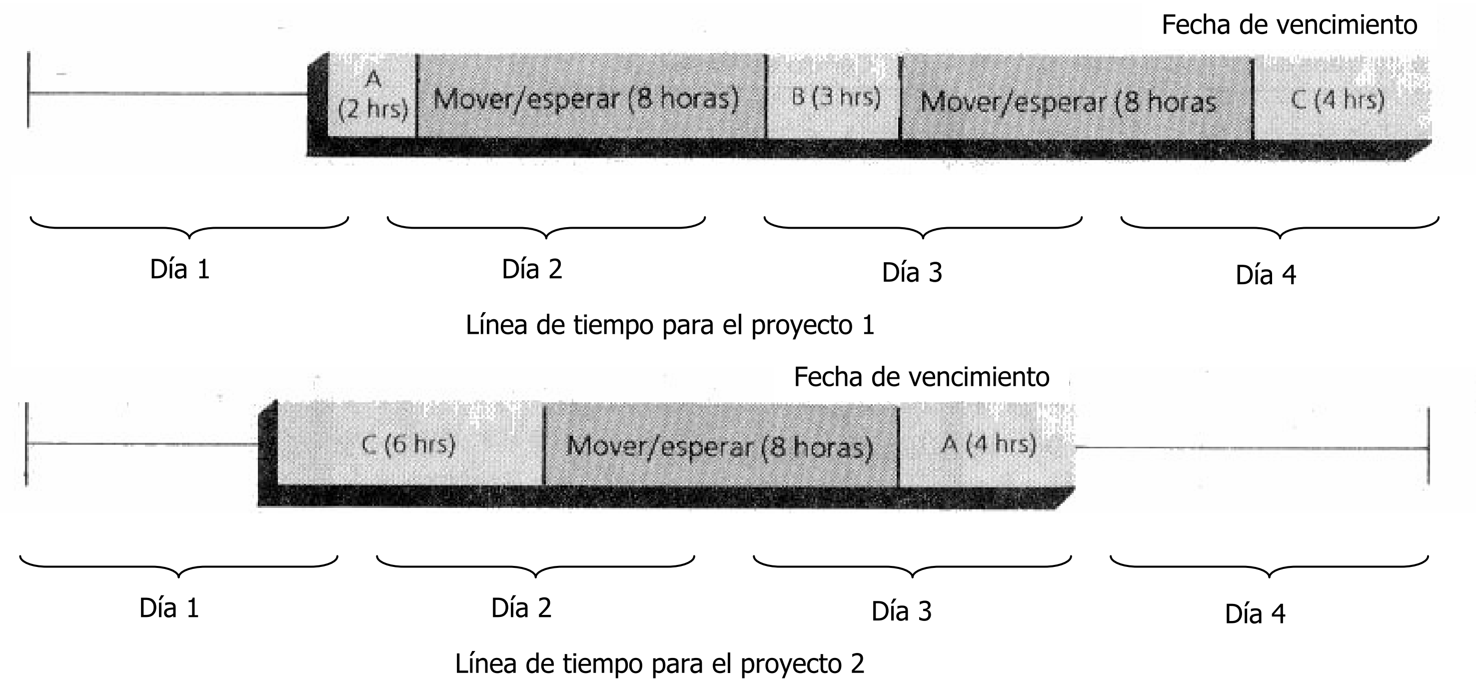
Gráficas de Carga a Futuro

Carga de Máquinas



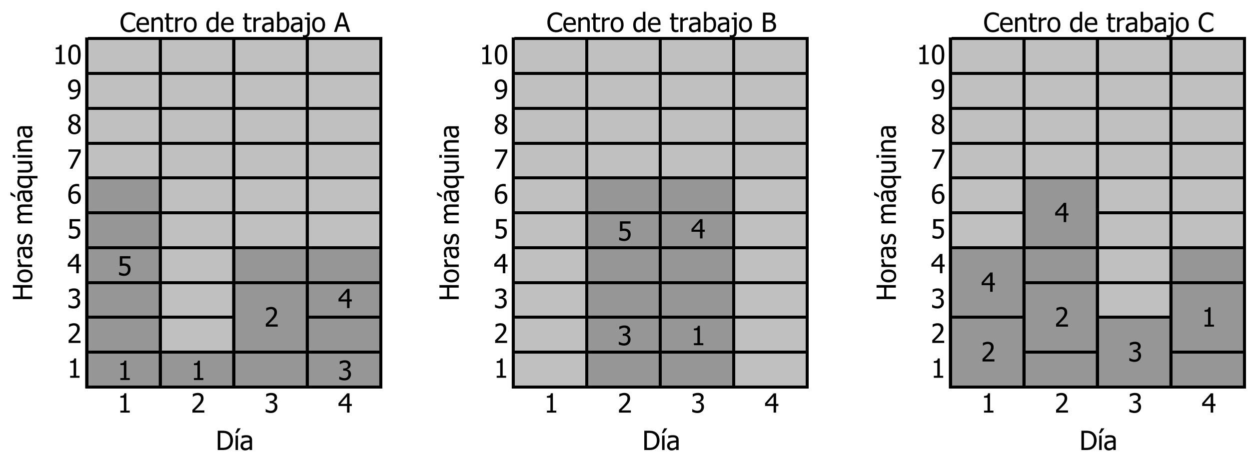
Ejemplo de Nivelación de Carga

Carga de Máquinas



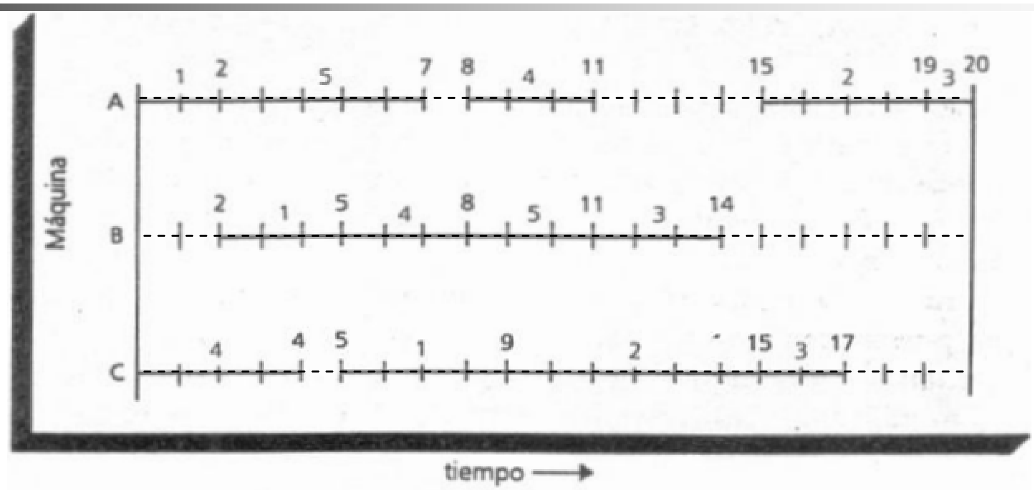
Líneas de Tiempo para la Carga Retrospectiva

Carga de Máquinas



Gráficas de Carga Retrospectiva

Secuenciamiento



	Tiempo muerto de la máquina (horas)
A	5
B	8
C	4
	17

Tiempo de fabricación = 20 horas

Tarea	Tiempo muerto de la tarea (horas)	Tiempo de entrega (horas)
1	0	9
2	9	19
3	14	20
4	1	11
5	3	11

Nota: Los tiempos de movimiento se han eliminado.

Gráfica de Gantt

Secuencia 1, 4, 5, 2, 3.

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:

$$tiempo\ de\ espera\ cliente\ 2 = t_1$$

$$tiempo\ de\ espera\ cliente\ 3 = t_1 + t_2$$

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

$$tiempo\ de\ espera.....$$

$$tiempo\ medio\ de\ espera\ (z):$$

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

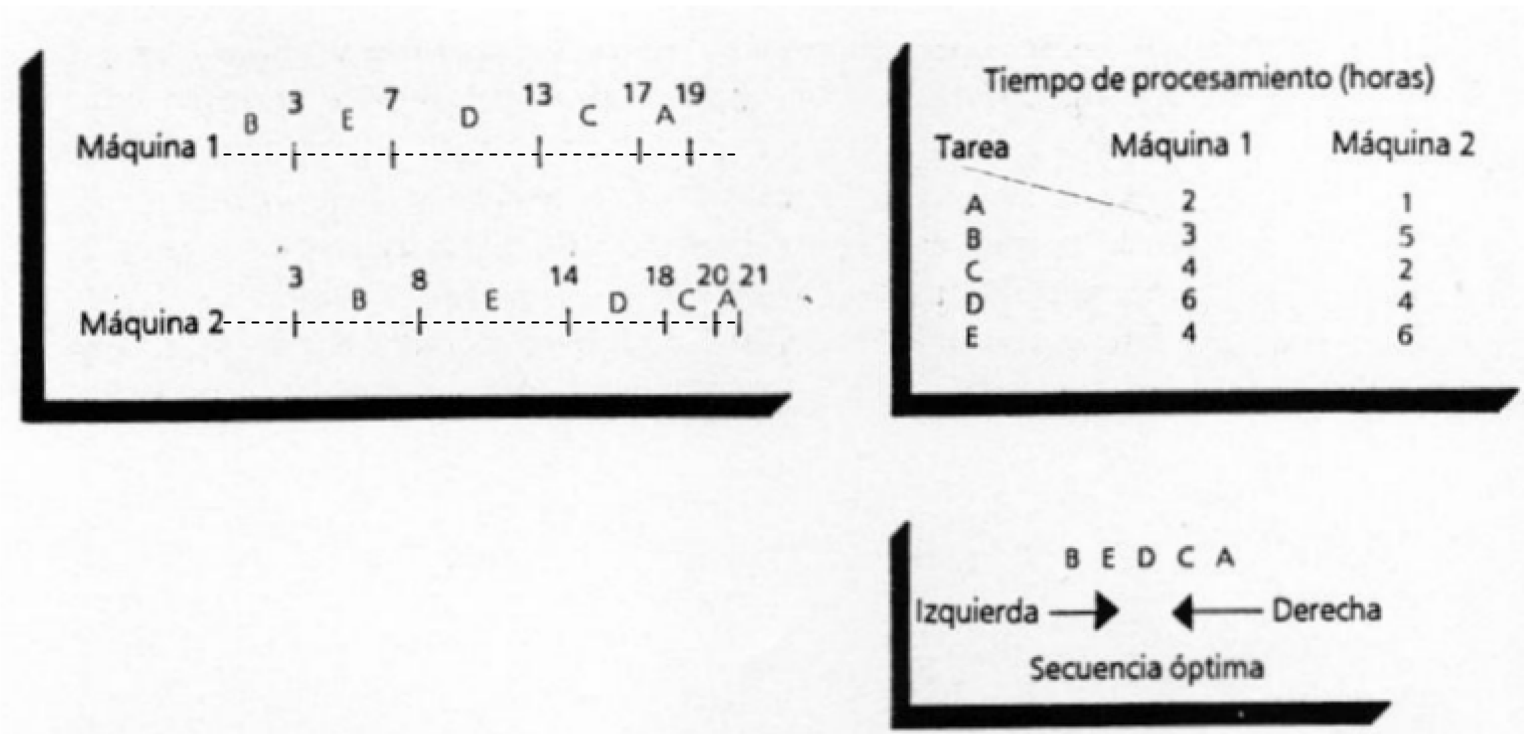
$$Donde\ z\ se\ minimiza\ con\ t_1 < t_2 < t_3..... < t_N,\ que\ corresponde$$
$$a\ la\ regla\ \ propuesta.$$

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:



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

Ti : Tiempo de trabajo i

¿Cómo ordenarlos para minimizar tiempo medio?

Variables

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

ti : tiempo de comienzo de trabajo i.

Xoi : 1 si primer trabajo es i.

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

MODELO

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

s.a. $\sum_{i=1}^{N} X_{oi} = 1$ **Un trabajo es el primero**

$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N+1} X_{ij} = 1 \qquad \forall i,$ **Desde cada trabajo i se pasa a alguno, incluso (N+1)**

$\sum_{j=i}^{N} X_{jN+1} = 1$ **Algún trabajo es el último**

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

MODELO

$(T_O = 0)$

$X_{ij} = 0,1$ $\qquad$ $t_{j \geq 0}$

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 entre trabajo 1, se demora t_1
- En t_1 entra trabajo 2, sale en $(t_1 + t_2)$, etc.
- El último trabajo sale en $(\boldsymbol{t_1} + \ldots\ldots\ldots\ldots + \boldsymbol{t_N})$

y se calcula $$\frac{1}{N}\begin{bmatrix} t_1 + (t_1 + t_2) + t_1 + t_2 + t_3) + \\ + \ldots\ldots(t_1 + \ldots\ldots\ldots t_{N-1}) \end{bmatrix}$$

MODELO

Caso de m trabajos, n máquinas.

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

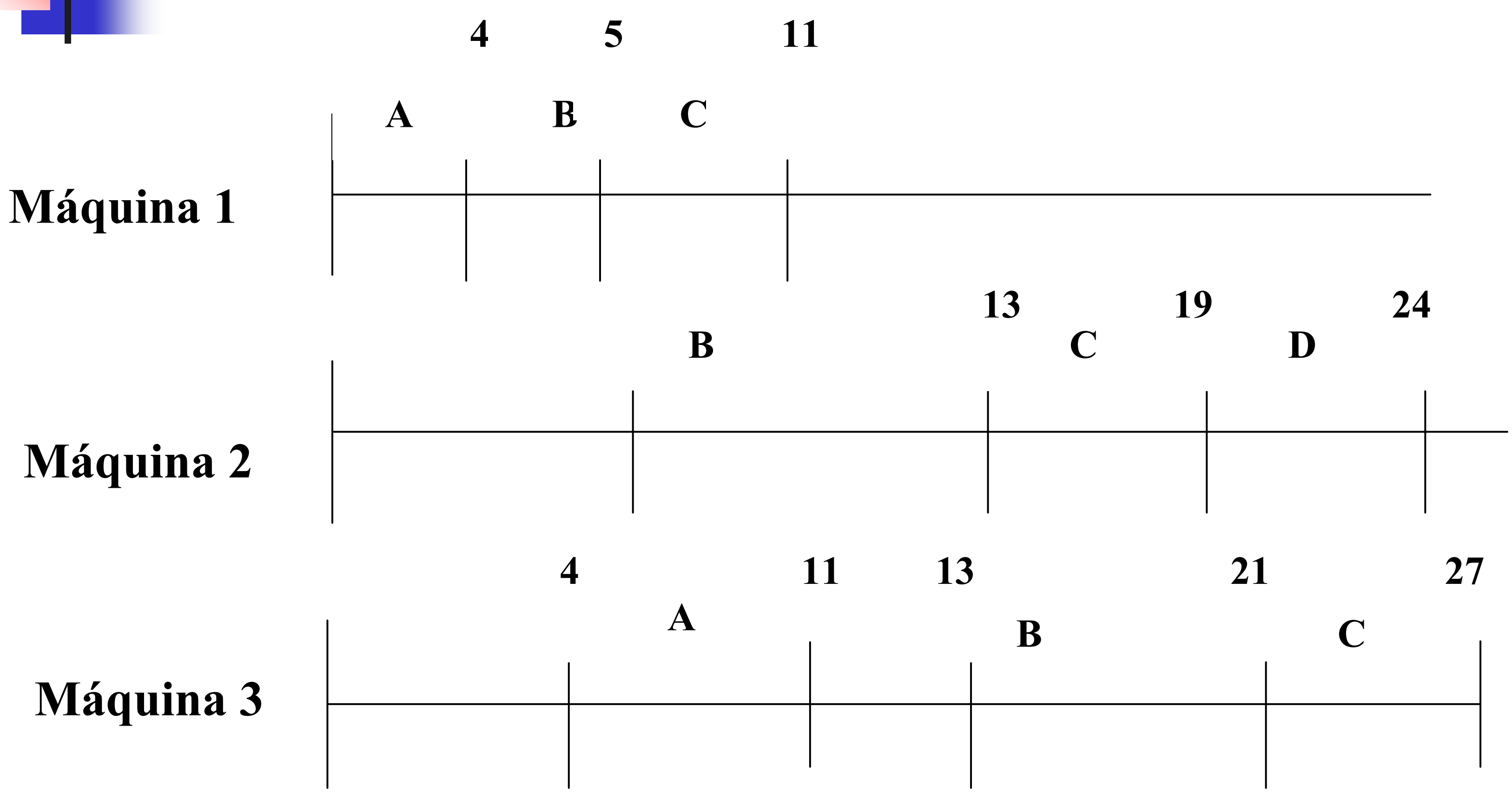
Sea t_{ij} el tiempo que demora trabajo i en máquina j.

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:

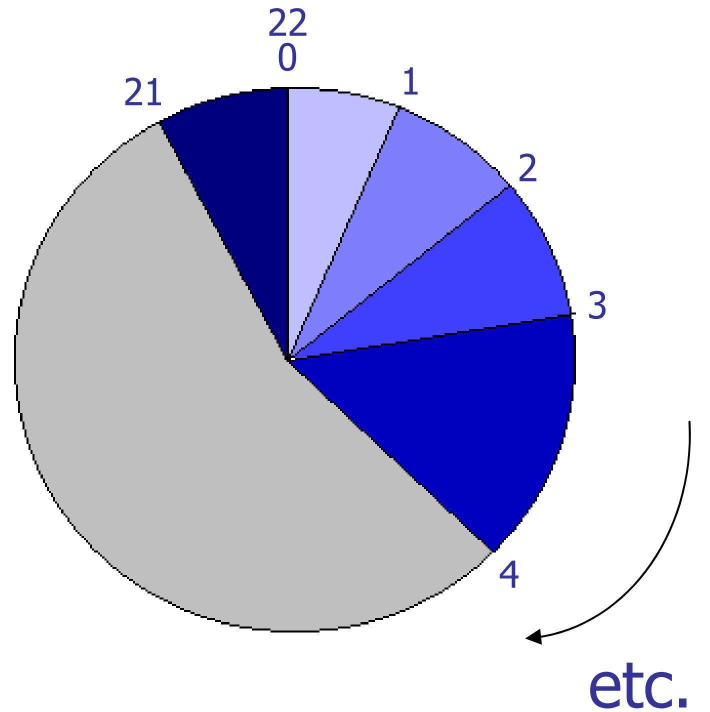
Número de Llegadas	**Frecuencia**
0	10
1	23
2	45
3	68
4	90
5	140
6	165
...	...
22	...
Total	1000

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

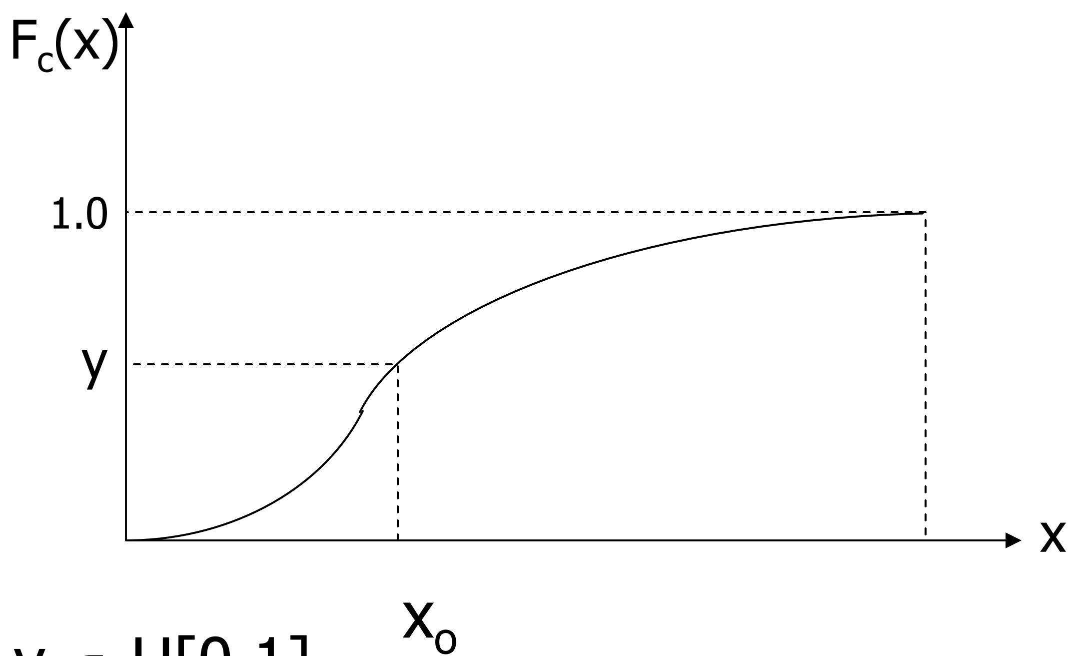
- Se puede verificar cuánto espera cada auto utilizando regla FIFO.

- 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).

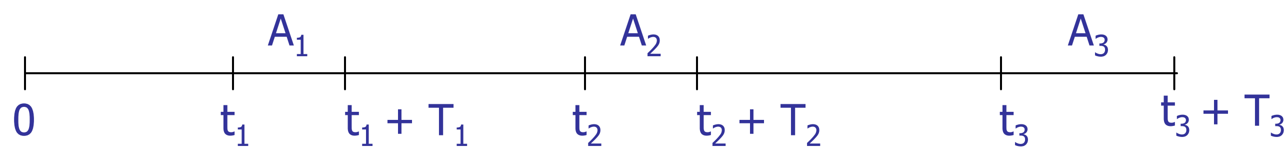


  - $y \in U[0,1]$

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 esta 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.