



# Sistemas Operativos

Curso
2016-2017

## Módulo 3.2: Planificación de procesos e hilos

Basado en: Sistemas Operativos
J. Carretero [et al.]

# Contenido

- Conceptos básicos
- Algoritmos de planificación
- Ejemplo: linux
- Planificación en multiprocesadores SMP

# Planificación de procesos/hilos

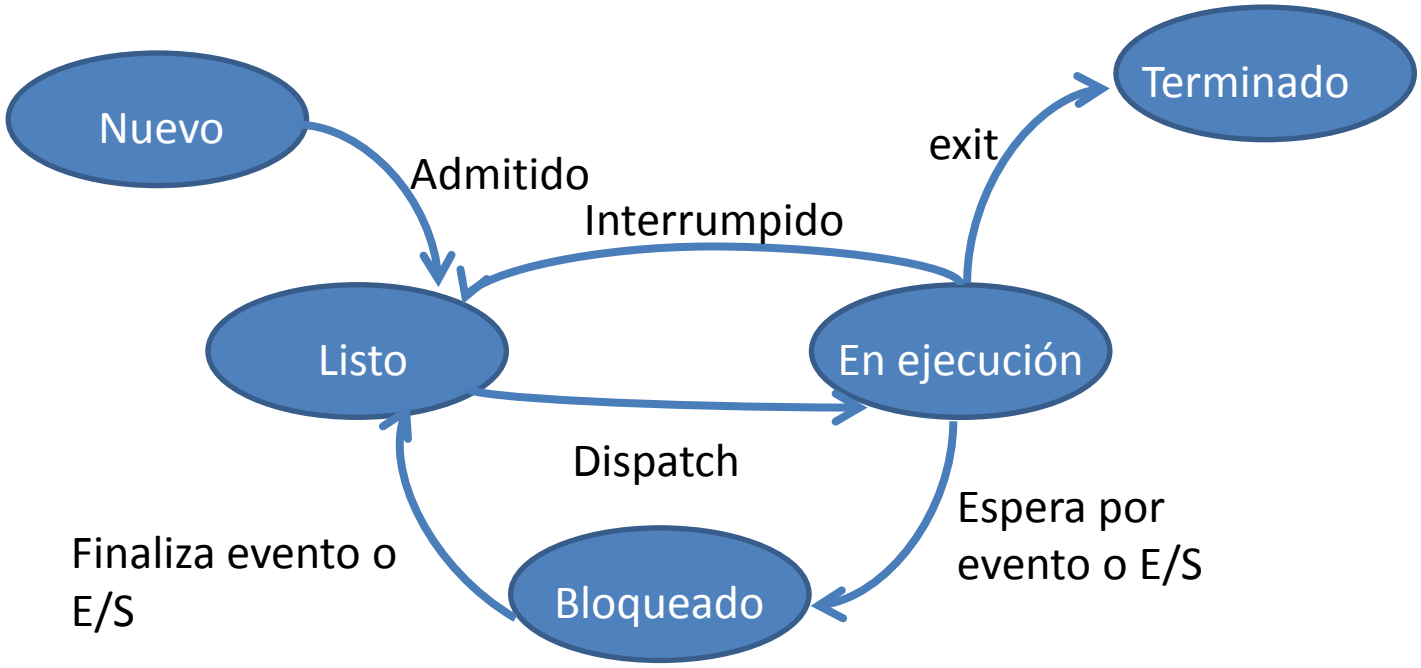
- Objetivos:
  - Optimizar uso de las CPUs
  - Minimizar tiempo de espera
  - Ofrecer reparto equitativo (justicia)
  - Proporcionar grados de urgencia (prioridades)
- Tipos de planificación
  - No expropiativa: el proceso conserva la CPU hasta que se bloquea, la cede expresamente o termina su ejecución.
  - Expropiativa: el SO expulsa al proceso de la CPU
    - Exige un reloj que interrumpe periódicamente
- Colas de procesos/hilos (*run queues*)

# Métricas de un planificador

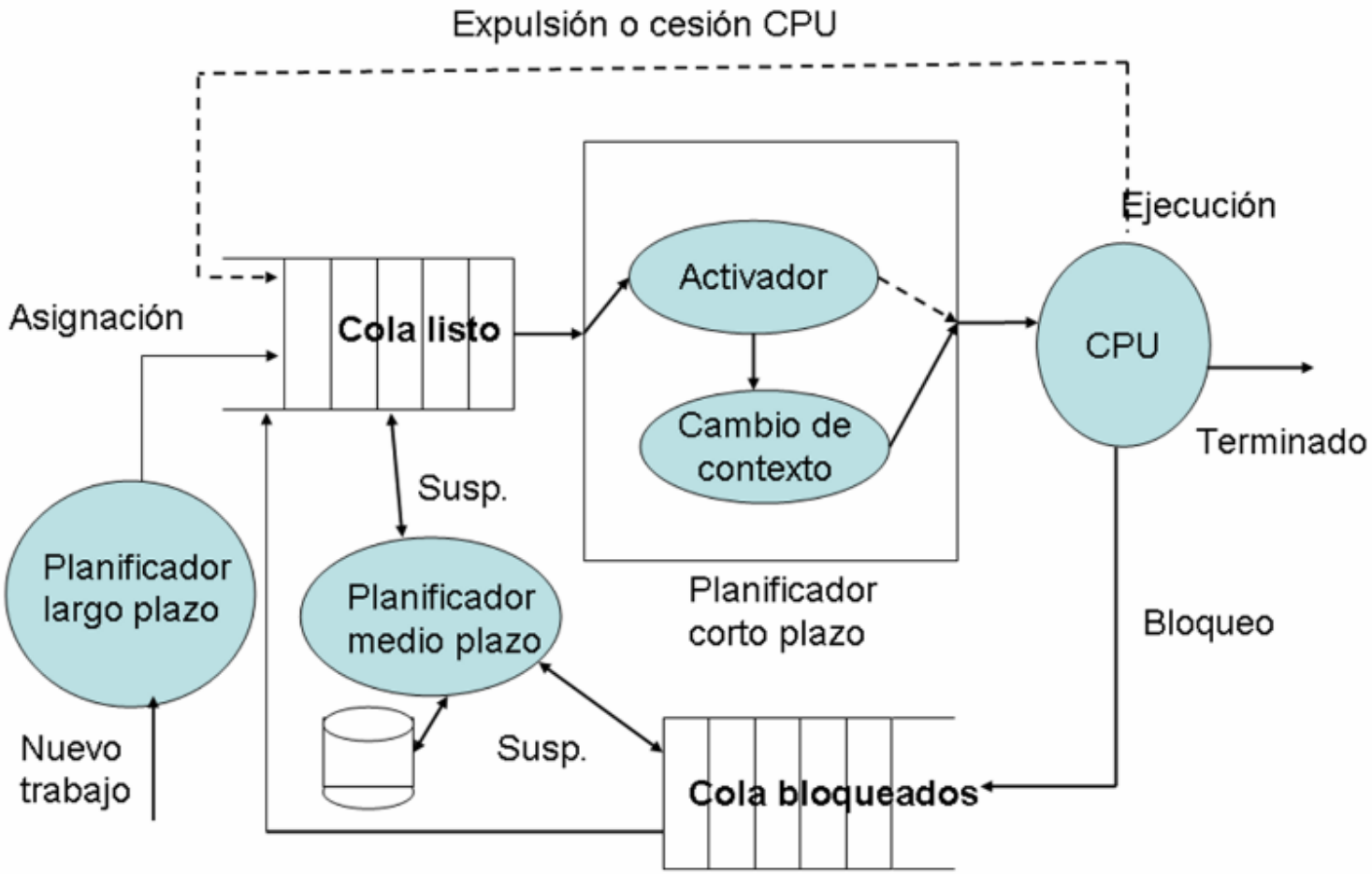
- Parámetros por entidad (proceso o *thread*)
  - Tiempo de ejecución: creación - terminación
  - Tiempo de espera: tiempo total listo y sin CPU
  - Tiempo de respuesta: creación – 1$^{er}$ uso de CPU
- Parámetros globales
  - Porcentaje de utilización del procesador
  - Productividad: número de trabajos completados por unidad de tiempo

# Tipos de planificadores

- Planificador: selecciona el proceso
  - A largo plazo: añadir procesos a ejecutar (batch)
  - A medio plazo: añadir procesos a RAM
  - A corto plazo: qué proceso tiene la CPU
  - Planificación de E/S
- Activador o Dispatcher: da control al proceso (cambio de contexto)



# Estructuras del planificador



# Puntos de activación del planificador

- Periódicamente (interrupción del temporizador de la CPU)
- Como resultado del procesamiento de alguna interrupción generada por otros dispositivos de E/S
- El proceso en ejecución causa una excepción que lo bloquea (fallo de página) o fuerza su terminación (violación de segmento)
- Cuando el proceso en ejecución termina
- El proceso realiza una llamada bloqueante
- Cesión voluntaria del procesador
  - sched_yield()
- Se desbloquea un proceso más “importante” que el actual
  - Cambios de prioridad en el sistema de procesos

# Contenido

- Conceptos básicos
- Algoritmos de planificación
- Ejemplo: linux
- Planificación en multiprocesadores SMP

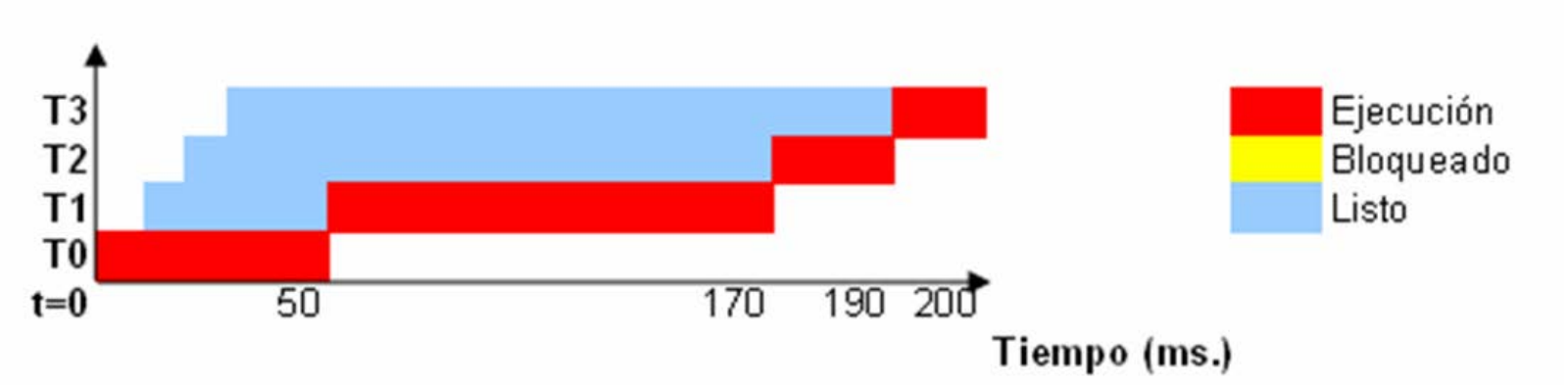
# Algoritmos no expropiativos

- El planificador no quita la CPU al proceso una vez que está en ejecución, a no ser esta la ceda voluntariamente, termine o se bloquee por E/S
- Algoritmos
  - Primero en llegar primero en ejecutar FCFS (First-Come First-Served)
  - Primero el trabajo más corto SJF (*Shortest Job First*)
  - Planificación basada en prioridades

# Primero en llegar primero en ejecutar FCFS (I)

- Muy sencillo y óptimo en uso de CPU

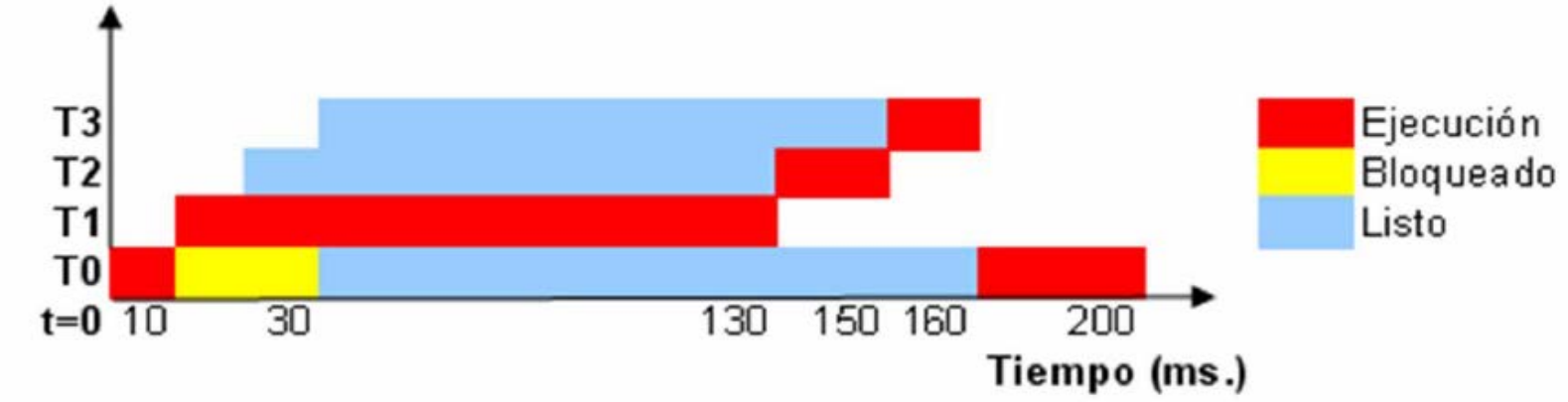
| Proceso o *thread* | Instante de llegada | Tiempo de procesador (ms) |
|---|---|---|
| T0 | 0 | 50 |
| T1 | 10 | 120 |
| T2 | 20 | 20 |
| T3 | 30 | 10 |



# Primero en llegar primero en ejecutar FCFS (II)

- Programas con E/S son encolados al final
- Programas largos afectan al sistema

| Proceso o *thread* | Instante de llegada | Tiempo de procesador (ms) |
|---|---|---|
| T0 | 0 | 50 |
| T1 | 10 | 120 |
| T2 | 20 | 20 |
| T3 | 30 | 10 |



# Primero el trabajo más corto SJF

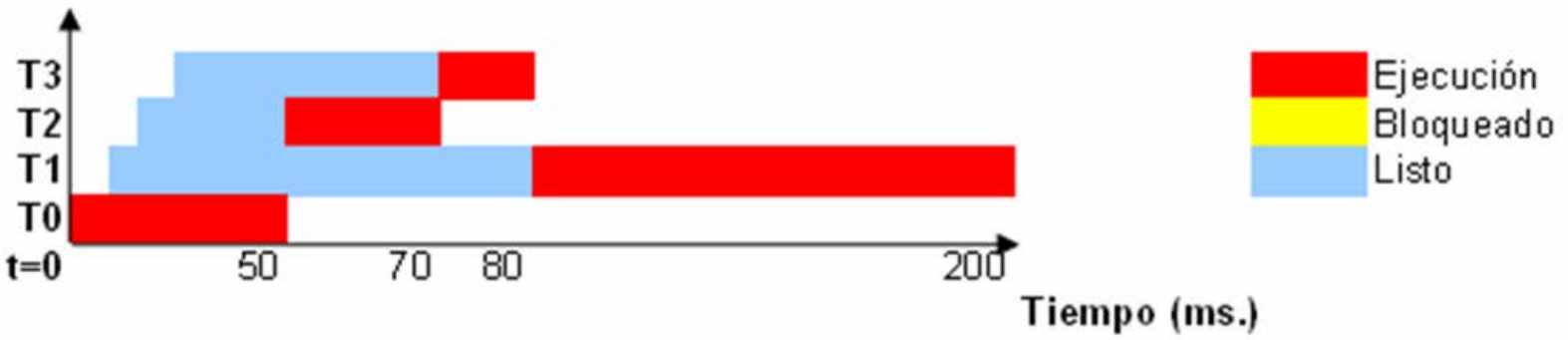
- Bueno para programas interactivos
- Necesita conocer el perfil de las tareas
- Problemas de inanición

| Proceso o *thread* | Instante de llegada | Tiempo de procesador (ms) |
|---|---|---|
| T0 | 0 | 50 |
| T1 | 10 | 120 |
| T2 | 20 | 20 |
| T3 | 30 | 10 |

# Prioridades

- Bueno para sistemas con grados de urgencia
- Problema de inanición:
  - Aumento de la prioridad con la edad

| Proceso o *thread* | Instante de llegada | Tiempo de procesador (ms) | Prioridad |
|---|---|---|---|
| T0 | 0 | 50 | 4 |
| T1 | 10 | 120 | 3 |
| T2 | 20 | 20 | 1 |
| T3 | 30 | 10 | 2 |



# Algoritmos expropiativos

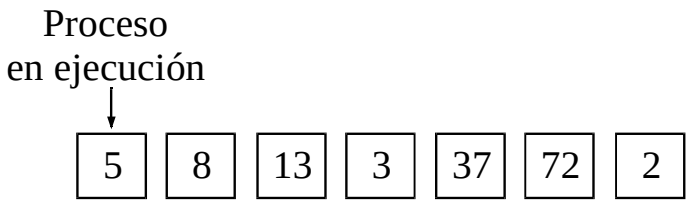
- No expropiativos no son adecuados para SSOO de propósito general
  - Mezcla de trabajos interactivos y trabajos intensivos en CPU
- Algoritmos expropiativos
  - *Round Robin* (turno rotatorio)
  - Primero el de menor tiempo restante (SRTF)
    - Shortest Remaining Time First
  - Prioridad expulsiva
  - Colas multinivel

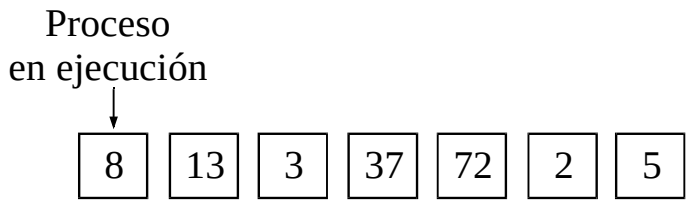
# Algoritmos expropiativos

- La planificación se realiza dividiendo el tiempo de CPU en rodajas llamadas *quanto o timeslice*
- El planificador se activa periódicamente
  - El temporizador de la CPU se configura para generar interrupciones cada *tick (~ms)*
  - El *timeslice* se expresa en *ticks* (Dependiente de SO)
  - Cada *tick*, el planificador realiza *CPU accounting*
    - Ej: incrementar el contador de ticks que el hilo ha usado desde que entró a la CPU
  - Cuando el planificador lo considera pertinente, cambia el proceso/hilo que hay ejecutando por otro

# Round Robin (I)

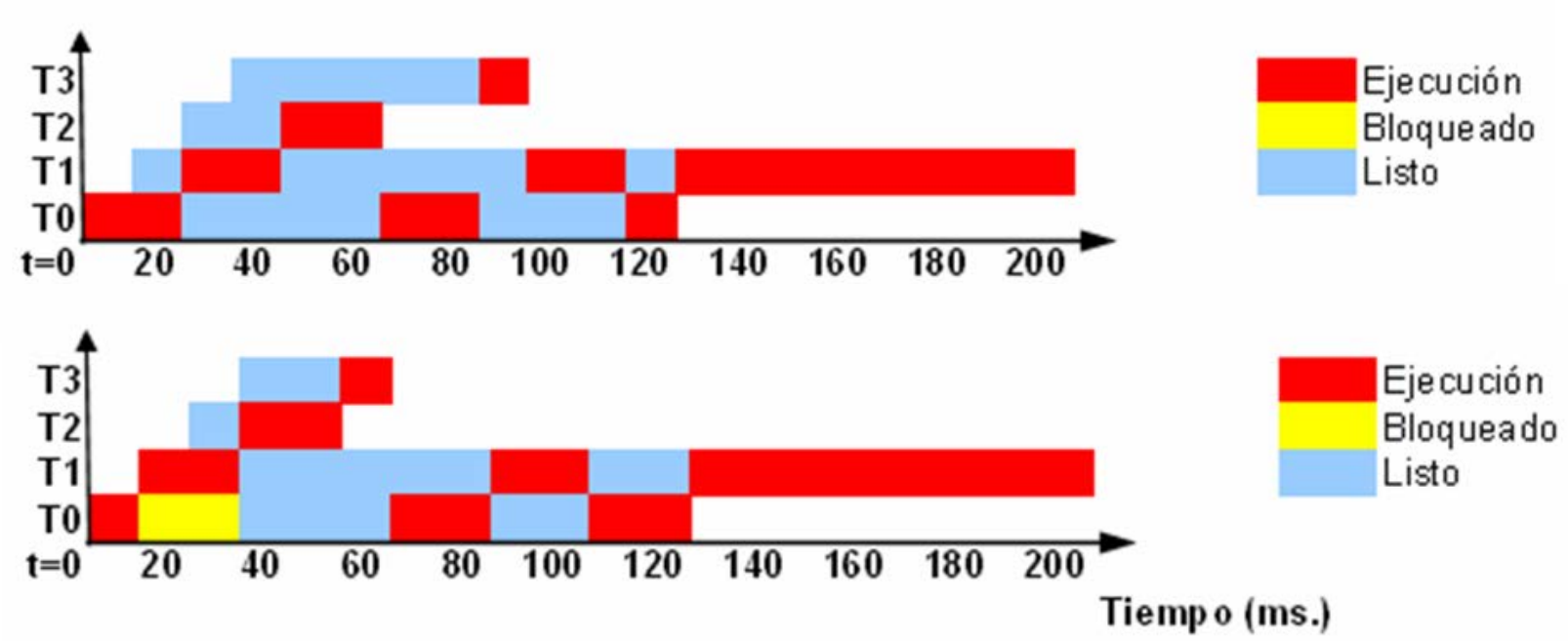
- FCFS + timeslice
- Asignación de procesador rotatoria
- Uso en sistemas de tiempo compartido
  - Equitativo (mejor hacerlo por *uid* y no por proceso)
- Se asigna un tiempo máximo de procesador que el proceso puede consumir sin ser expropiado (*timeslice*)



# Round Robin (II)

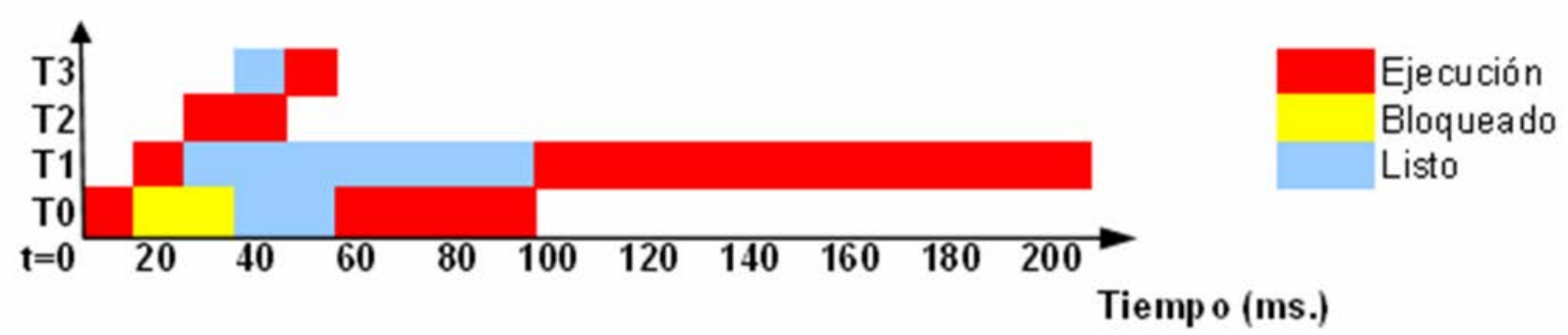
| Proceso o *thread* | Instante de llegada | Tiempo de procesador (ms) |
|---|---|---|
| T0 | 0 | 50 |
| T1 | 10 | 120 |
| T2 | 20 | 20 |
| T3 | 30 | 10 |



# Primero el de menor tiempo restante SRTF

- SJF + *timeslice variable*
  - Bueno para programas interactivos
  - Necesita conocer el perfil de las tareas
  - Problemas de inanición

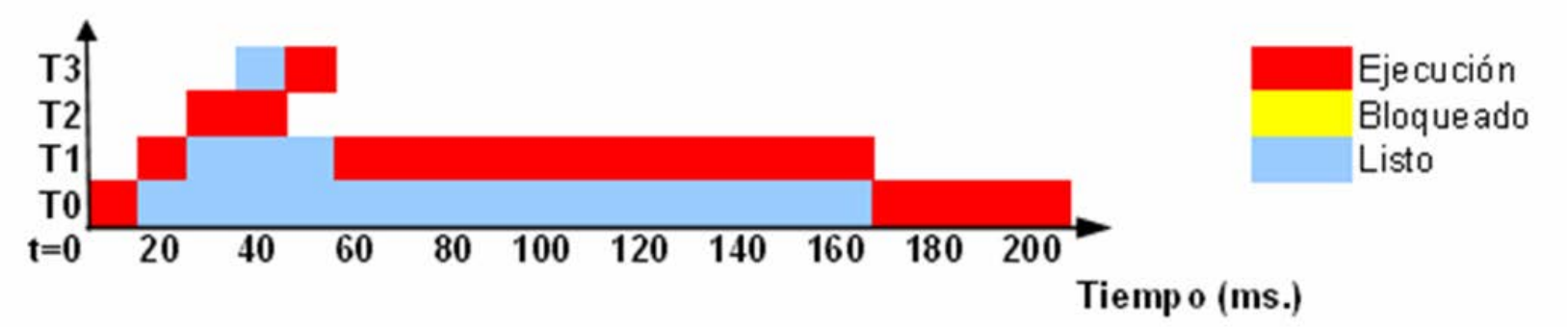
| Proceso o *thread* | Instante de llegada | Tiempo de procesador (ms) |
|---|---|---|
| T0 | 0 | 50 |
| T1 | 10 | 120 |
| T2 | 20 | 20 |
| T3 | 30 | 10 |



# Expriopiativo basado en prioridades

- Bueno para sistemas con grados de urgencia
- Problema de inanición:
  - Aumento de la prioridad con la edad

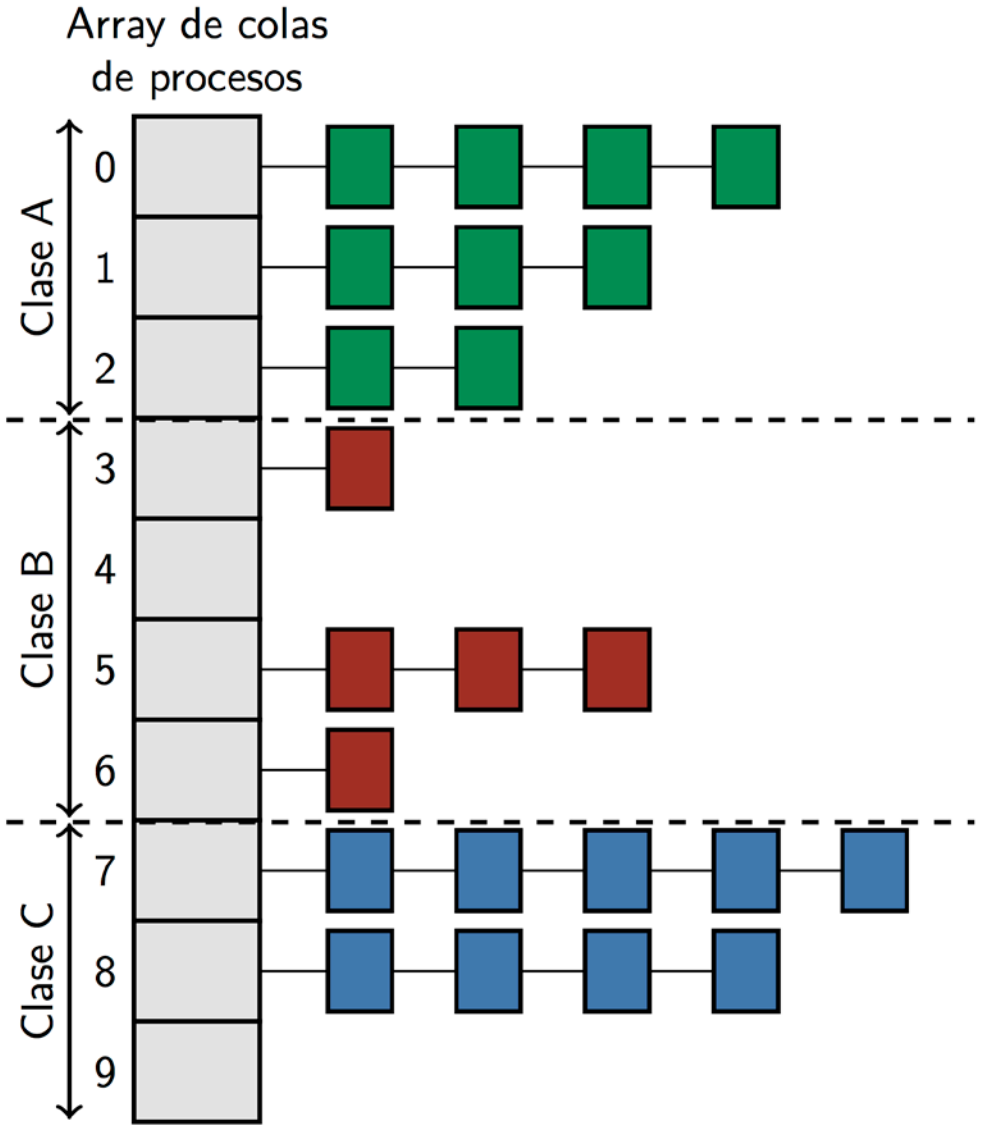
| Proceso o *thread* | Instante de llegada | Tiempo de procesador (ms) | Prioridad |
|---|---|---|---|
| T0 | 0 | 50 | 4 |
| T1 | 10 | 120 | 3 |
| T2 | 20 | 20 | 1 |
| T3 | 30 | 10 | 2 |



# Planificación con colas multinivel (I)

- Objetivo: dar soporte a distintas clases de procesos
- En el sistema existen *k* niveles de prioridad, cada uno con una cola de procesos asociada
  - El SO gestiona realmente un array de colas de procesos
  - En cada nivel de prioridad puede haber un *timeslice* diferente
- Los niveles de prioridad se agrupan en rangos para dar servicio a distintos tipos de procesos/hilos
  - Tiempo real
  - Hilos de sistema
  - Interactivos
  - *Batch*
  - …

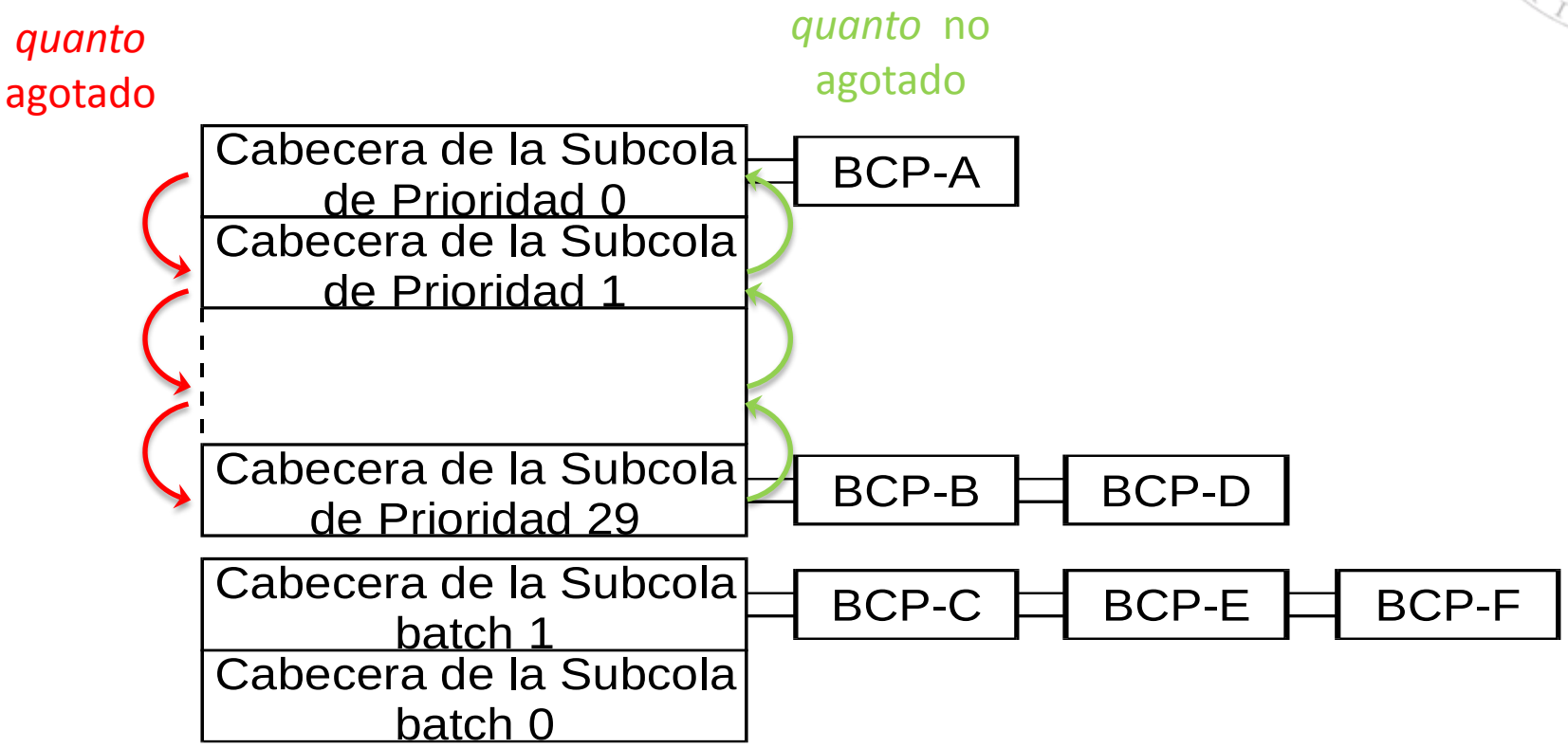
# Planificación con colas multinivel (II)



# Planificación con colas multinivel (III)

- Las colas dentro de un rango de prioridades pueden gestionarse de dos formas:
  - **Sin realimentación** (procesos con prioridad fija)
    - Proceso en la misma cola durante toda su vida
  - **Con realimentación** (procesos con prioridad dinámica)
    - Los procesos pueden cambiar de nivel
      - El cambio de nivel sólo se produce dentro del rango de prioridades gestionado por el "planificador local"
    - Necesario definir *política de cambio de nivel*
      - Ejemplo: Política para favorecer a procesos interactivos
        - Si proceso agota su timeslice, baja de nivel
        - Si proceso no agota su timeslice (p. ej., bloqueo E/S), sube de nivel

# Colas de procesos



# Contenido

- Conceptos básicos
- Algoritmos de planificación
- Ejemplo: linux
- Planificación en multiprocesadores SMP

# Planificador Linux (v3.14)

- 140 niveles de prioridad (0 → más prioridad)
  - 100 para procesos *real-time* (Deadline, RR y FIFO)
  - 40 para procesos *normales* (CFS)
- Objetivos CFS (Completely Fair Scheduler)
  - Aproximar planificación completamente justa
    - No se asigna un *timeslice* por prioridad sino un *porcentaje* del procesador
  - Proporcionar buenos tiempos de respuesta
    - Entornos interactivos (GUIs)

# Idea planificador CFS

- Repartir el tiempo de CPU entre hilos de forma similar a lo que ocurriría si pudieran ejecutarse simultáneamente
- Si hay 4 hilos en el sistema ejecutándose durante 10ms de tiempo, lo *justo* sería que cada uno se hubiese ejecutado 2.5ms en ese período
  - ¿Y si los hilos tienen diferentes pesos?

# Ejemplo planificación CFS

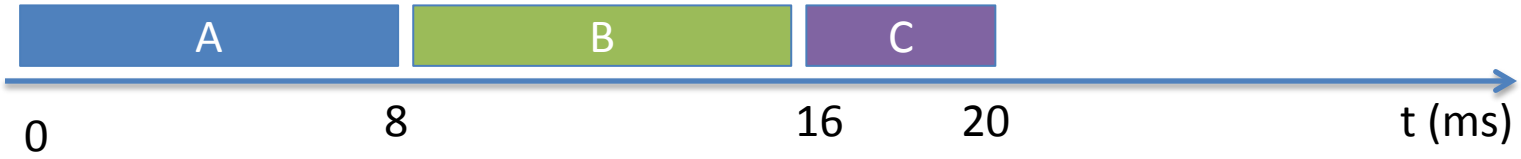
- Consideremos estas 3 tareas (CPU bound) durante 20ms

| Tarea | Peso |
|---|---|
| A | 4 |
| B | 4 |
| C | 2 |

- Tarea A debe ejecutarse un 40% del tiempo total (8ms)

$$T_{CPU}(P) = sched\_period \cdot \frac{peso(P)}{\sum_{i=1}^{n} peso(i)}$$

$T_A$= 20ms * (4/10) = 8ms



# Parámetros CFS

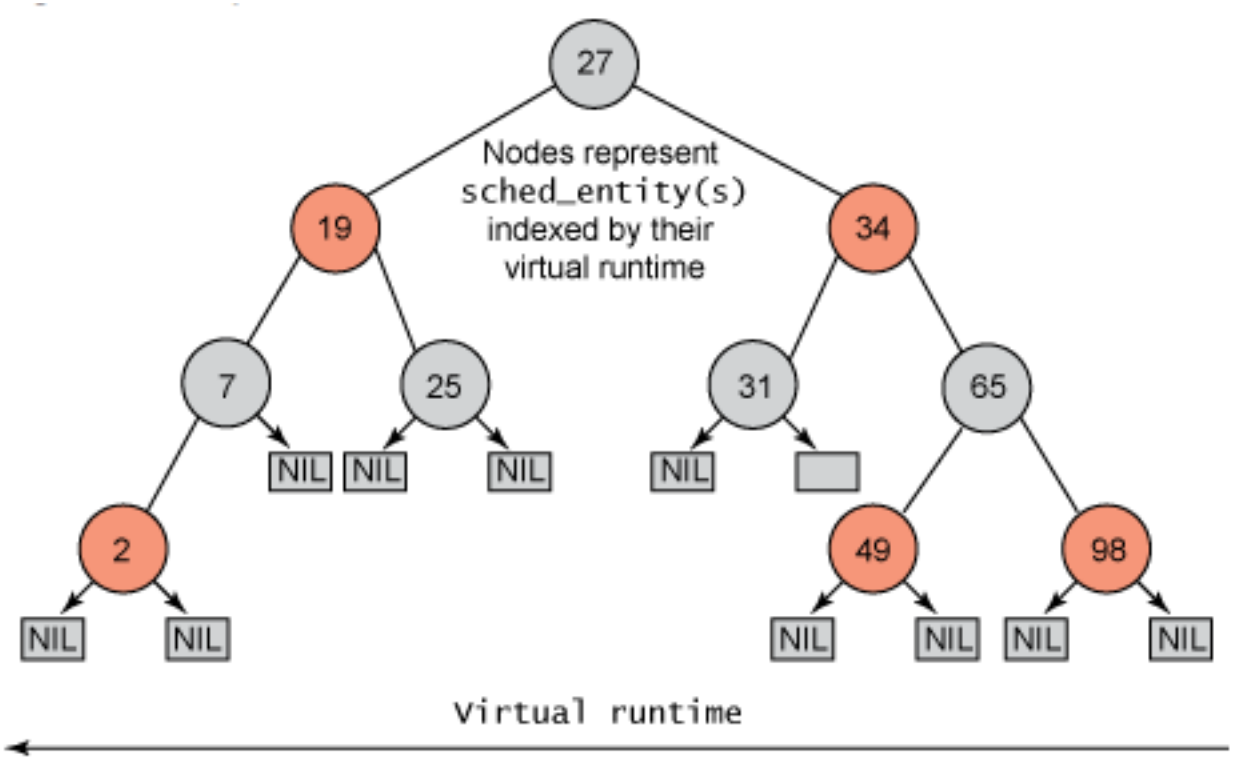
- *sysctl_sched_latency (*sched_period)
  - Período durante el cual cada tarea activa se debería planificar al menos una vez
  - $timeslice_{proc.\ n}$ ~ *sched period *peso de proc. n / Σ* (pesos proc. activos)
- Peso de una tarea proporcional a su prioridad (nice)
  - Existe una tabla de conversión prioridad <-> peso
  - Una diferencia de 1 en dos valores de *nice* supone un cambio de 10% en el reparto de CPU
- *sysctl_sched_min_granularity*
  - Tiempo mínimo que podrá ejecutar cualquier tarea antes de ser expropiado

# CFS: siguiente tarea para ejecutar

- El hilo actual puede abandonar la CPU por…
  - Haber agotado su s*lice*
  - Abandonar voluntariamente (E/S, *yield*…)
  - Otro hilo se *merece* más la CPU
- Siguiente tarea: la de menor *virtual runtime*
  - No hay colas de prioridades
  - El tiempo de CPU virtual transcurre más rápidamente para procesos de menor prioridad y más lentamente para los de mayor prioridad
  - Justicia: que todos los procesos reciban el mismo *vruntime*

# CFS

- Cola de ejecución-> Red-black tree
  - Se ejecuta el proceso de *más a la izquierda*
  - Árbol balanceado: operaciones O(log N)



# Interacción con el planificador

- *nice* permite ejecutar un comando con una prioridad entre -19 y 20
  - Recuerda: 40 niveles de prioridad
  - man nice ( o, mejor, info nice)
- *renice* permite alterar la prioridad de un proceso en ejecución
- *sysctl* permite consultar/modficar parámetros del kernel
  - sysctl –A | grep sched

# Comprobación CFS

- Creamos dos procesos *CPU bound* y forzamos a que se ejecuten en el core 0

```
> taskset -c 0 dd if=/dev/zero of=/dev/null &
> taskset -c 0 dd if=/dev/zero of=/dev/null &
```

- Hacemos *top* para comprobar el reparto de CPU
  - Deberían estar al 50%

```
> top
```

- Bajamos la prioridad a uno de ellos

```
> su
> renice 1 <pid>
```

- Hacemos *top* nuevamente

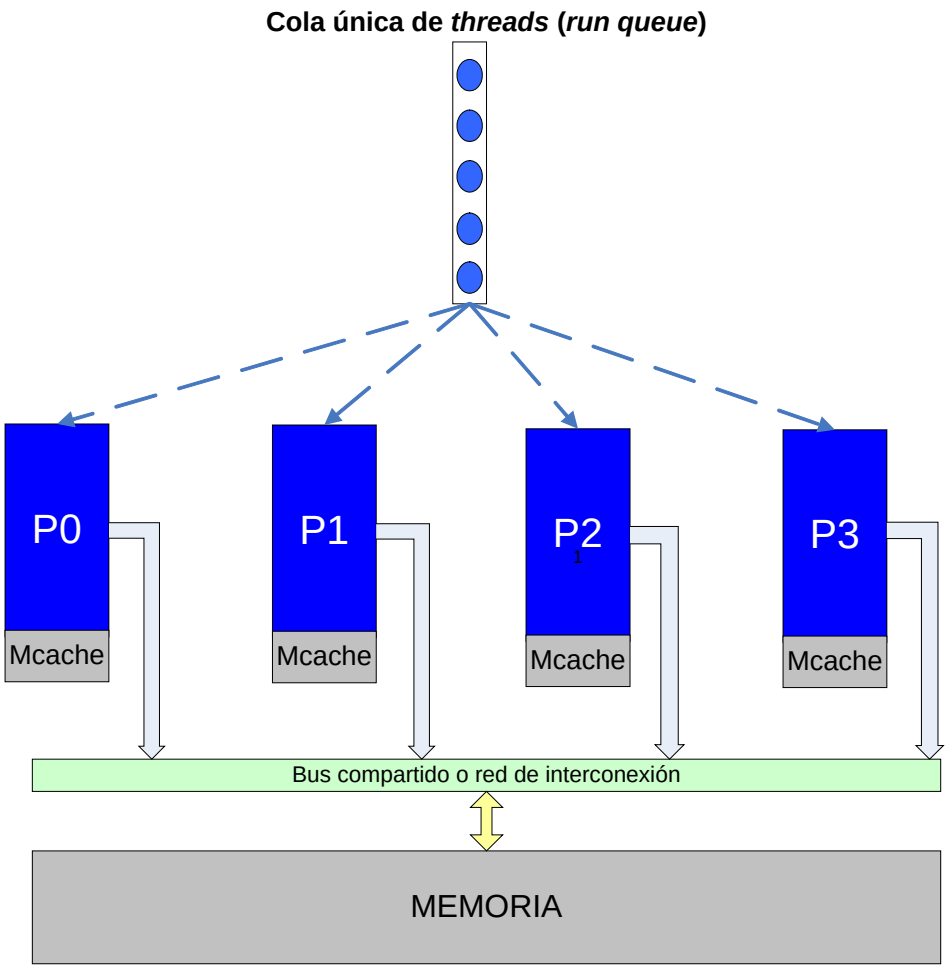
# Contenido

- Conceptos básicos
- Algoritmos de planificación
- Ejemplo: linux
- Planificación en multiprocesadores SMP

# Planificación SMP

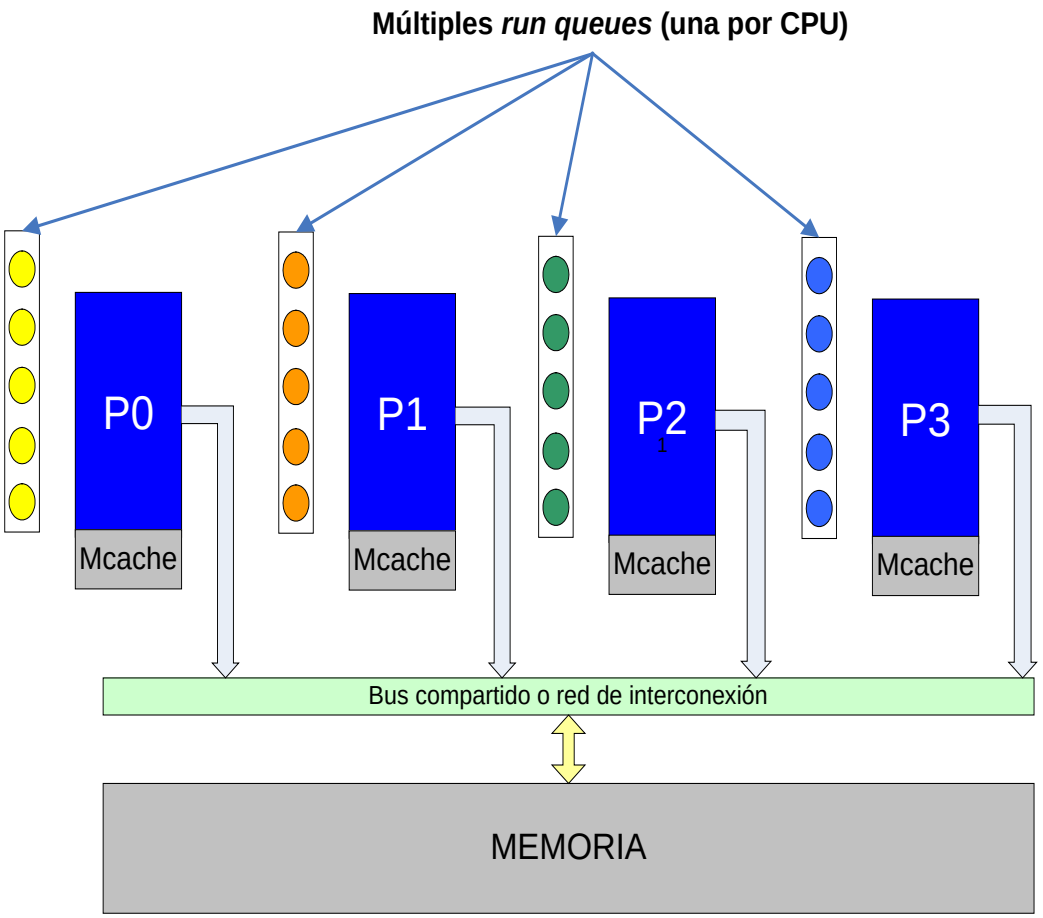
- Garantizar un equilibrio de carga
  - Que no haya un *procesador* ocioso y otros con mucha carga de trabajo
- Tener en cuenta la afinidad de procesos y procesadores
  - Importante al replanificar un proceso (evitar migrar)
- Tener en cuenta la compartición de datos entre procesos/hilos si hay varios nodos de memoria (NUMA)
  - Si dos hilos comparten memoria, probablemente sea bueno que compartan todo lo posible su nivel de jerarquía

# Planificación SMP (Linux v2.4)




- Una única *run queue* para todos los procesadores
- Bueno para el *load balancing*
  - Todos los procesadores tienen, potencialmente el mismo trabajo
- Malo para la *afinidad*
  - El proceso A se ejecutó en la CPU1 y luego se le envía CPU2 → migración
  - ¿Qué supone una *migración*?
- Problemas de escalabilidad

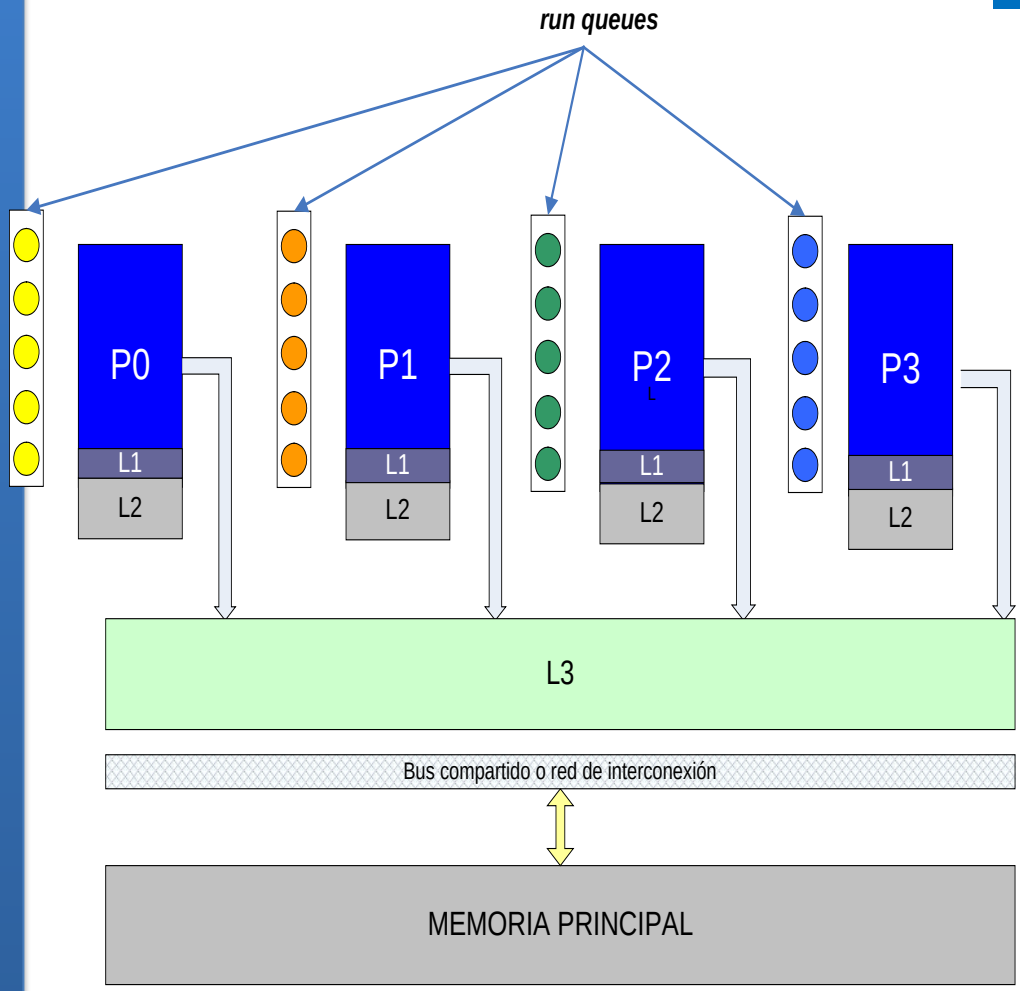
# Planificación SMP (Linux v2.6.x+)




- Una cola de ejecución por procesador
- Mayor escalabilidad
- Periódicamente (o bajo demanda) se ejecuta el equilibrador de carga
  - Considera qué procesos pueden/deben migrarse
  - Tiene en cuenta la afinidad
- El usuario puede especificar la afinidad hilo-CPUs permitidas

➔ ***Este modelo es el que utilizan la mayor parte de SSOO actuales de propósito general (Linux, Solaris, FreeBSD o MS Windows)***

# Planificación en multicore y SMT




- El SO ve cada core como un procesador independiente, pero no lo es
  - Algún nivel de cache compartido entre cores
  - *Cores pueden tener SMT (ej: Hyperthreading)* dos CPUs lógicas para el SO comparten todo el *datapath (*registros, unidades funcionales, colas…)