Sistemas Distribuidos I
(75.74)

Multithreading y Multiprocessing

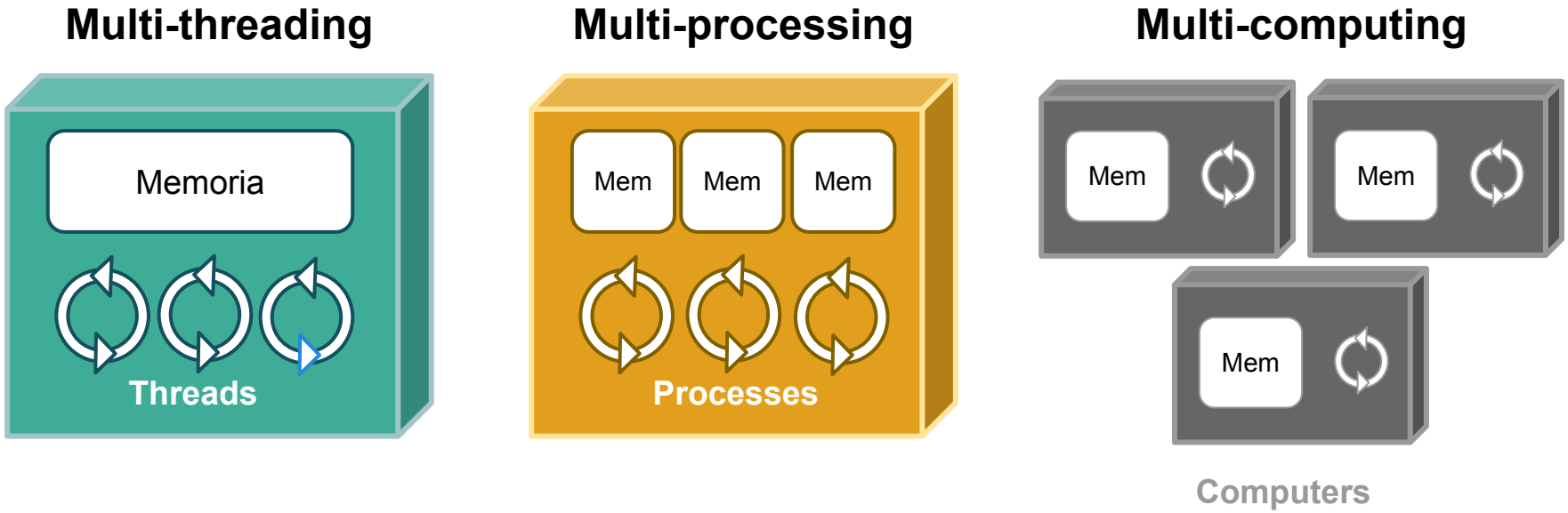
Conceptos. Mecanismos de sincronización. IPCs. Problemas clásicos. Paralelización de tareas

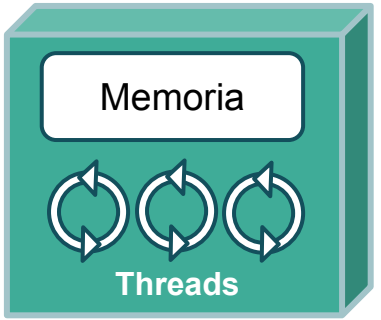
Docentes

- Pablo D. Roca
- Ezequiel Torres Feyuk
- Guido Albarello
- Ana Czarnitzki
- Cristian Raña

Agenda

- **Conceptos**
- Mecanismos de sincronización
- IPCs
- Problemas clásicos
- Paralelización de tareas


Multi-threading
Memoria
Threads
Multi-processing
Mem
Mem
Mem
Processes
Multi-computing
Mem
Mem
Mem
Computers



Recursos Compartidos

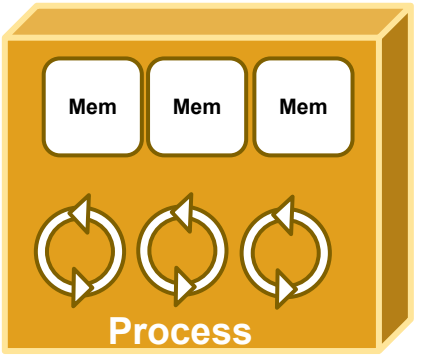
- Heap
- Data Segment
- File Descriptors
- Code Segment (read-only)

Sincronización

- Soporte threading del SO (pthread-mutex, etc)
- Soporte threading del *runtime* (threads Java, .Net, etc)
- Inter Process Communication (IPC)

Características clave

- Sencillo compartir información entre threads.
- Alto acoplamiento entre componentes del sistema.
- Escasa estabilidad => 1 thread defectuoso afecta todo el sistema.
- Escalabilidad muy limitada.



Recursos Compartidos

- Code Segment (read-only)

Sincronización

- InterProcess Communication (IPCs):
  - Signals
  - Shared Memory
  - Sockets
  - Pipes / Fifos
  - Semáforos
  - Queues
  - Locks

Características clave

- No es trivial compartir información entre procesos.
- Componentes separados, en general simples.
- Más escalable y más estable que multi-threading.
- Sin tolerancia a fallos de hardware, sistema operativo, etc.

Safety properties (siempre verdadera)

- Exclusión mutua
- Ausencia de deadlocks

Liveness properties (eventualmente verdadera)

- Ausencia de starvation
- Fairness

Fuente: www.securelist.com

Asegurar estado *safety* de propiedades de un sistema se transforma en un pilar de la teoría de concurrencia.

Basada en Algoritmos	Basada en Abstracciones
· Sin existencia de abstracciones especiales. · Condiciones lógicas simples para asegurar el cumplimiento de cierta *Critical Section.*	· Basada en abstracciones provistas por el SO. · Permite construir mecanismos compuestos por combinaciones de las mismas.

- **Busy-Waiting:** responsable de la mayoría de los problemas de performance en sistemas concurrentes.
- **Spin-lock:** caso más simple de Busy-Wait (while (flag);)
- **Algoritmos de espera:** Dekker, Lamport (del panadero), Peterson, etc.

Ej. Algoritmo de Peterson p/dos procesos:

```
bool flag[2] = {false, false};
int turn;
P0:       flag[0] = true;
          turn = 1;
          while (flag[1] && turn == 1);
          /* critical section code */
          flag[0] = false;
```

```
P1:       flag[1] = true;
          turn = 0;
          while (flag[0] && turn == 0) ;
          /* critical section code */
          flag[1] = false;
```

- **Operaciones atómicas:** Mecanismos provistos por un lenguaje para actualizar variables/objetos sin utilizar mecanismos de sincronización
  - **Contadores atómicos de tipos POD (int, char, double, etc.)**
  - **CAS (Compare and Swap):** Operación por excelencia para actualizar contenedores de forma segura en ambientes multithreading.

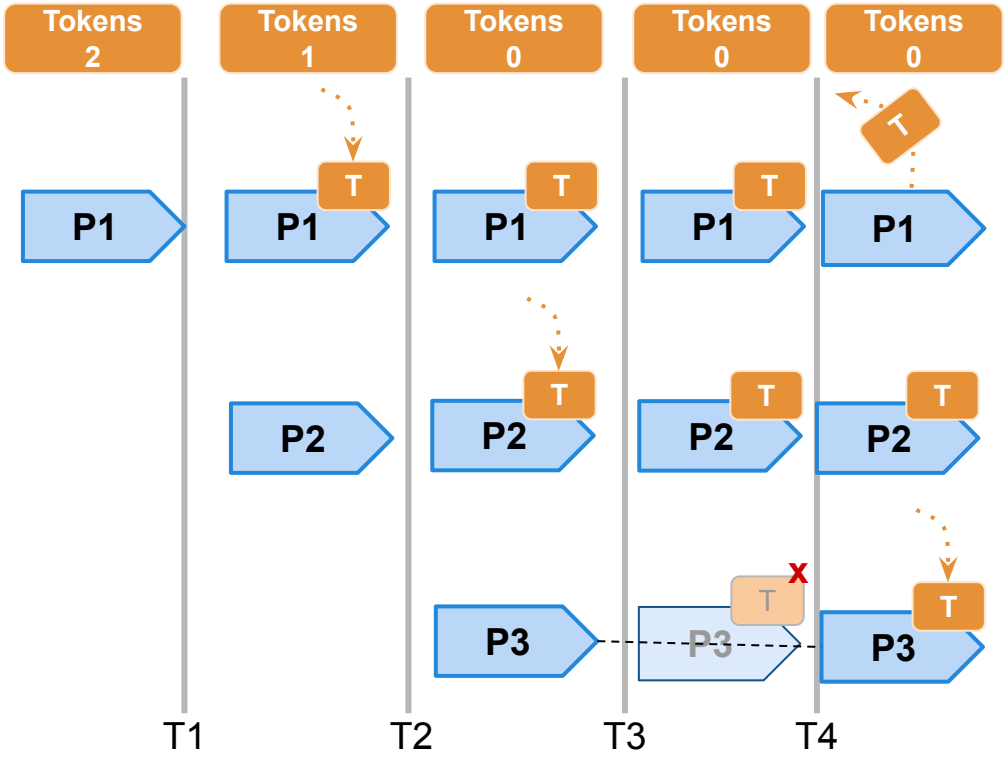
```
CAS (Pseudocódigo):
function cas(p : *int, old : int, new
: int) returns bool {
    if *p ≠ old {
        return false
    }
    *p ← new
    return true
}
```

```
Ejemplo: CAS de objetos en Golang

package atomic

func CompareAndSwapUint32(
    addr *uint32,
    old uint32,
    new uint32,
) (swapped bool)
```

Agenda

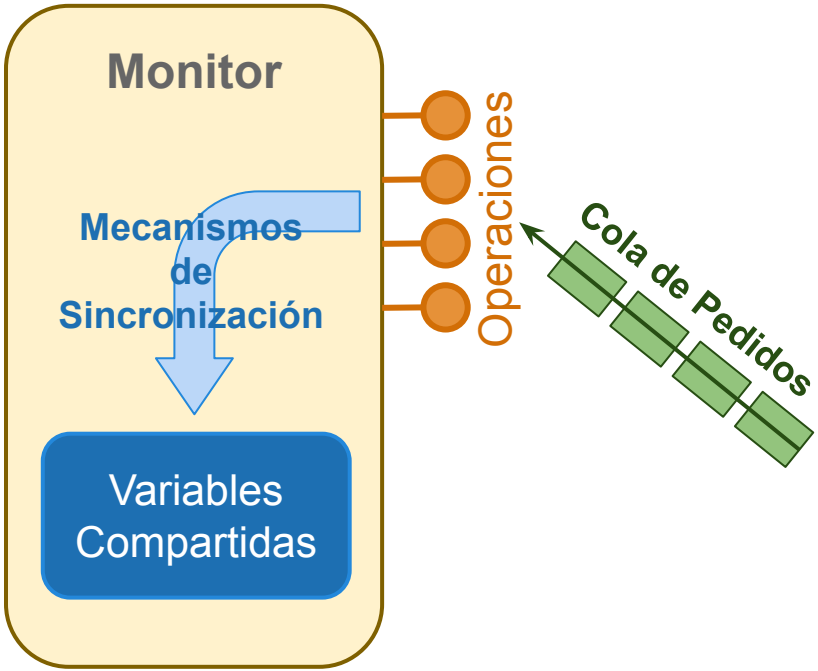
- Conceptos
- **Mecanismos de sincronización**
- IPCs
- Problemas clásicos
- Paralelización de tareas

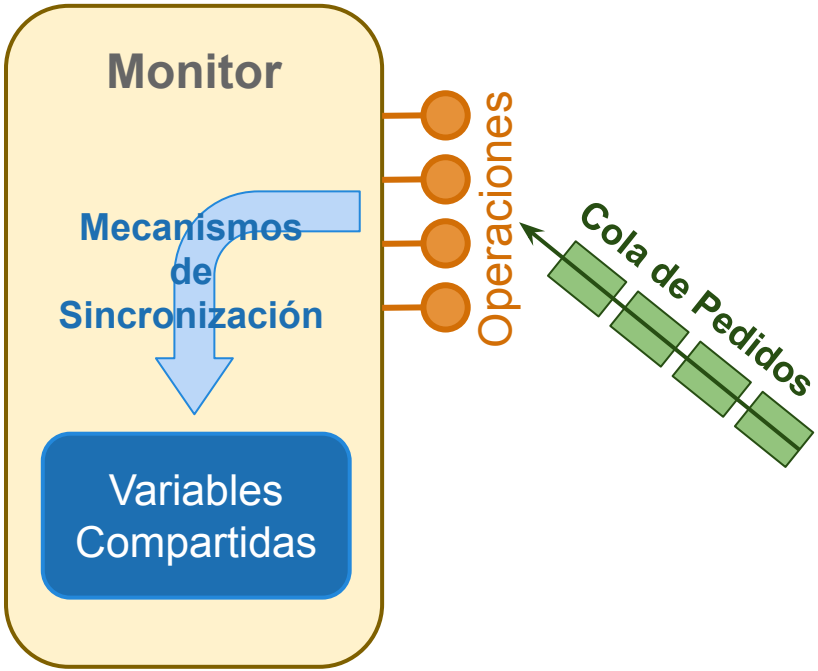
Mecanismos de Sincronización | Semáforos



- Variable entera utilizada para acceder a *recursos compartidos (e.g. Shared Mem)*
- El mismo queda definido por los valores que puede adoptar (e.g. S = {0,1,2})
- Operaciones válidas:
  - signal (P): Incrementa el valor de S
  - wait (V): Decrementa el valor de S
- Mutex (S = {0,1})
  - Utilizado para acceder a *secciones críticas*

Mecanismos de Sincronización | Monitores






```
monitor class Account:
  private int balance = 0
  public method bool withdraw(int
amount):
    if balance < amount:
      return false
    else:
      balance = balance - amount
      return true

  public method deposit(int amount):
    balance := balance + amount
```

- Ejemplo práctico de un monitor
- Mutex debe ser adquirido antes de realizar una operación
- Operaciones válidas:
  - **wait:** Bloquea al proceso hasta que otro proceso lo despierte
  - **notify / notify_all:** Despierta a *un proceso / todos los procesos* esperando que se cumpla una condición

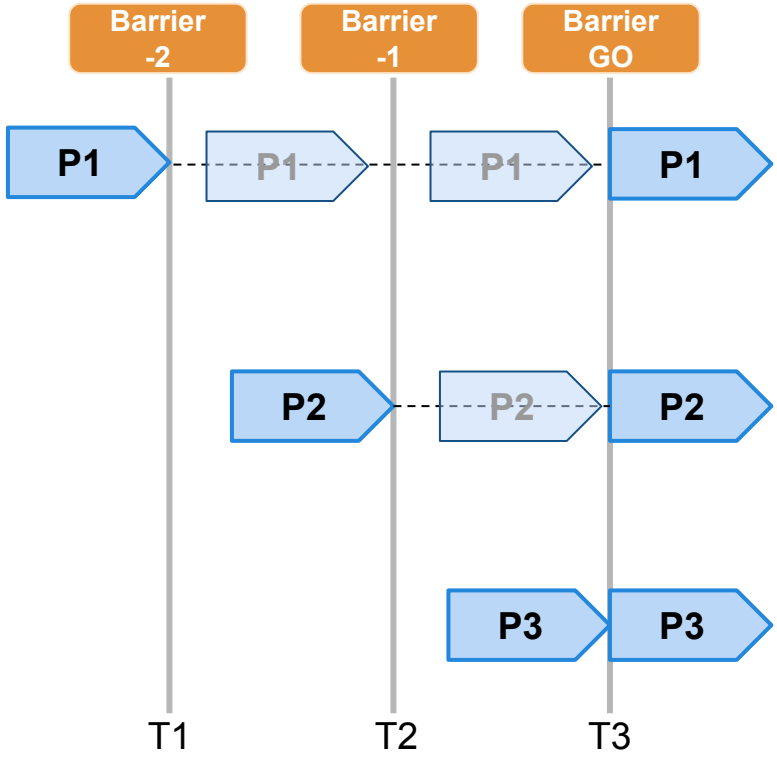
Proceso N°1

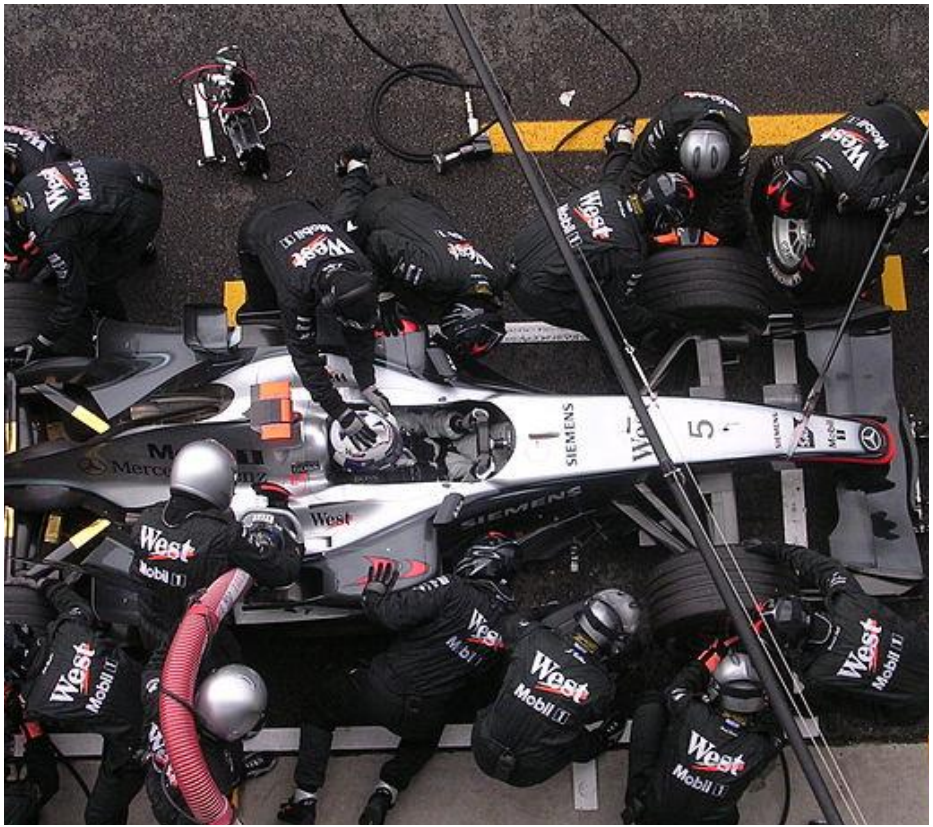
```
cv.acquire()
while not an_item_is_available():
    cv.wait()
get_an_available_item()
cv.release()
```

Proceso N°2

```
cv.acquire()
make_an_item_available()
cv.notify() / cv.notify_all()
cv.release()
```

Mecanismos de sincronización | Barrera

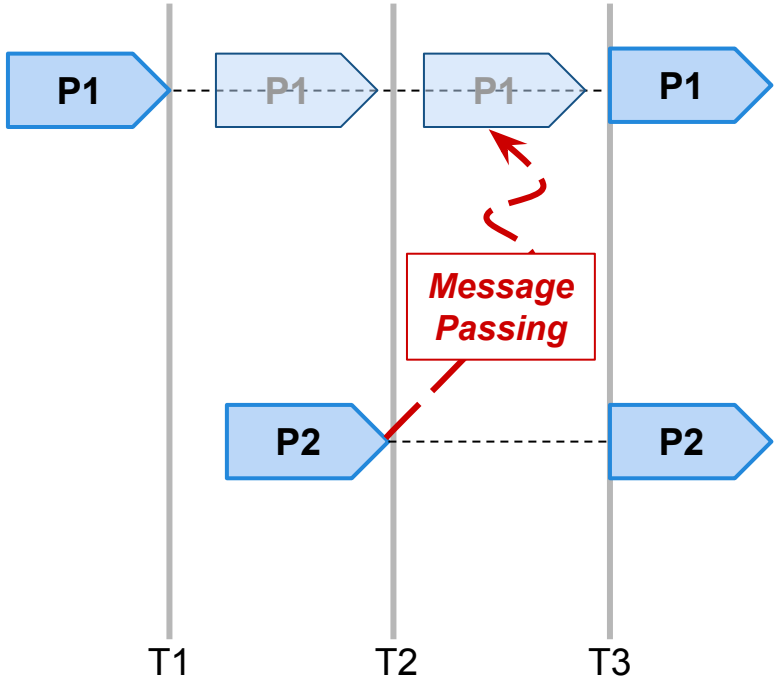




Ejercicio

- N *threads/procesos* deben ejecutar M tareas
- Cada *thread/proceso* ejecuta su tarea y espera a que sus pares terminen de hacer lo mismo
- Cuando todos los *threads/procesos* hayan terminado de ejecutar una ronda de tareas, proceden a ejecutar una nueva ronda

Mecanismos de sincronización | Rendezvous



Ejercicio

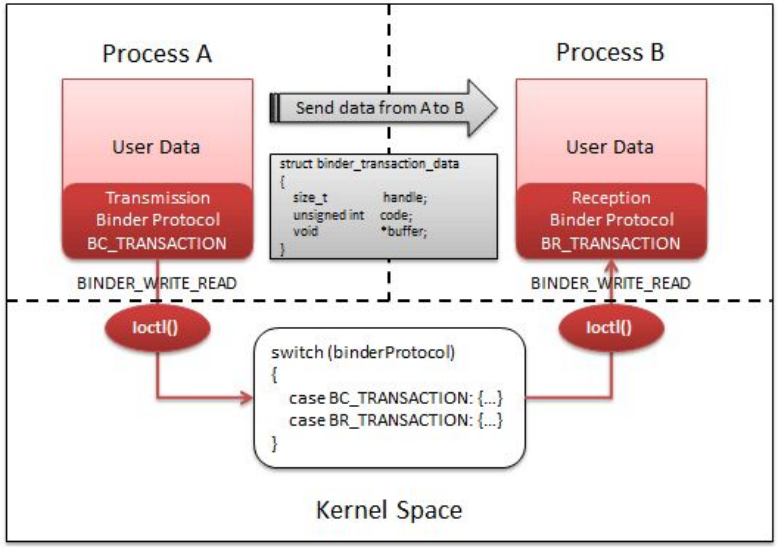
- N *threads/procesos* deben ejecutar M tareas
- Cada *thread/proceso* ejecuta su tarea y espera a que sus pares terminen de hacer lo mismo
- Cuando todos los *threads/procesos* hayan terminado de ejecutar una ronda de tareas, proceden a ejecutar una nueva ronda
- Resolver utilizando la abstracción **BlockingQueue**

Agenda

- Conceptos
- Mecanismos de sincronización
- **IPCs**
- Problemas clásicos
- Paralelización de tareas

IPCs

- Permiten la comunicación entre dos o más procesos
- Provistos por el SO
- Creación y destrucción exceden la vida del proceso
  - Usuario es responsable de la vida de los mismos
  - Proceso *Launcher* y *Terminator* para administrar la vida de los mismos
- Usualmente identificados por nombre
- En Linux todos los IPCs son vistos como diferentes **tipos de archivos**



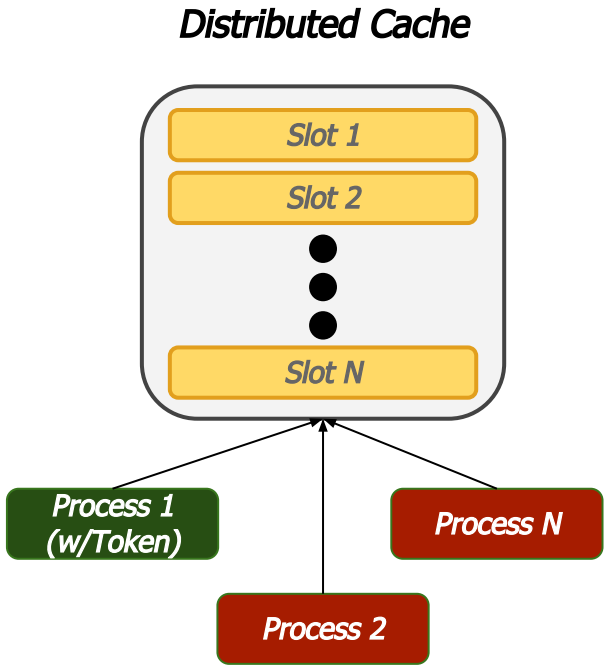
IPCs | Comparación

Mecanismo de sincronización	*IPC*
Semáforo	*Semáforo*
??	*Shared Memory*
Monitor	*File Lock*
Barrera	*??*
Rendezvous	*Signal*
	Queue
	Pipes / Fifos
	Sockets

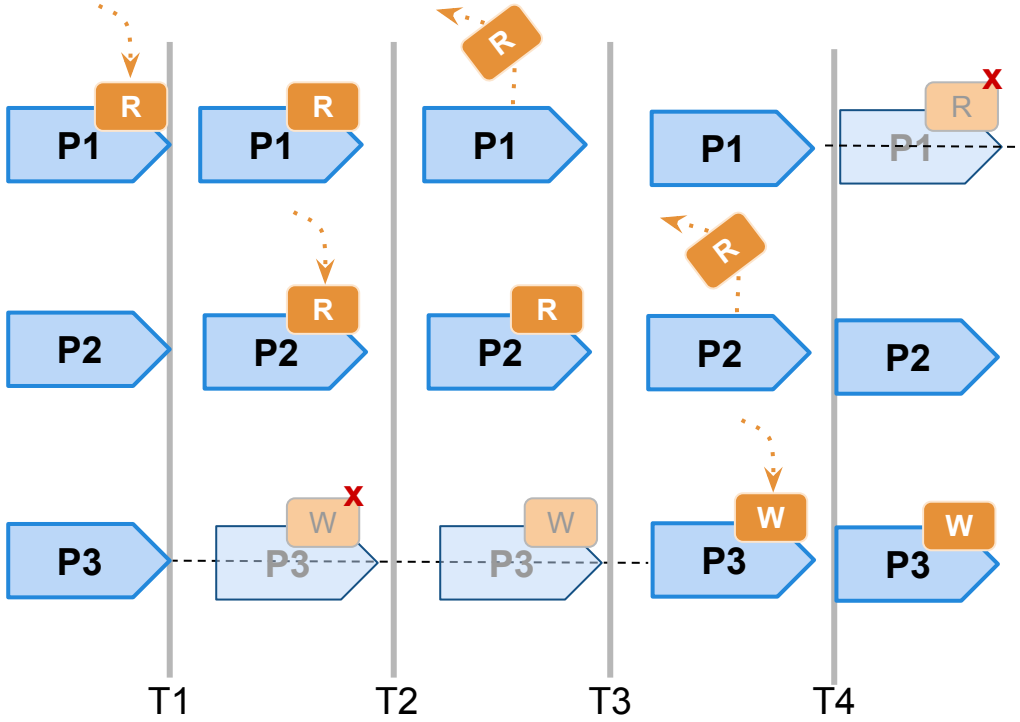
IPCs | Signals

- Existen 31 tipos distintos (kill -l)
- Cada proceso decide cuales handlear (Ej. libcURL y SIGALRM)
- SIGSTOP y SIGKILL son la excepción
- Ejemplos de signals estándar
  - SIGINT y SIGTERM: *Graceful Quit*
  - SIGSEGV: Problemas en la memoria
  - SIGABRT: Code assertions
- Propagación de *signals* en *threads.* (*Masks setting*)

- Mecanismo provisto por el SO (Linux) para compartir recursos
- Abstracción inexistente en threads: heap entre dos threads de un mismo proceso es compartido
- Su tamaño se define al ser creada
- Mutex es necesario **solo si** dos procesos no pueden acceder a la memoria al mismo tiempo (e.g. shared counter)



IPCs | File Locks



IPCs | File Locks

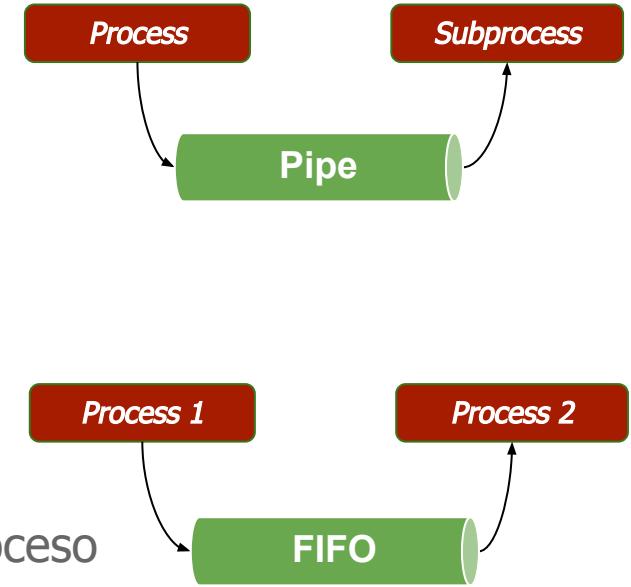
- Control de acceso a un file descriptor

```
int flock(int fd, int operation);
```

- Existen dos tipos:
  - *Shared lock (R):* Read only lock. Múltiples read locks permitidos
  - *Exclusive lock (W):* RW lock. Sólo un exclusive lock a la vez por File

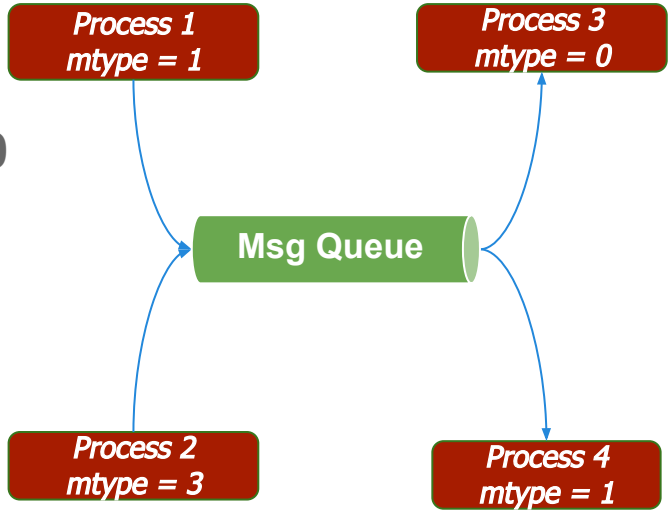
IPCs | Pipes y Fifos

- Pasaje de información directa entre 2 procesos
- Linux: API de un archivo para la escritura/lectura
- Unnamed Pipes (Pipes)
  - Comunicación entre procesos padre e hijo
  - Dejan de existir al finalizar el proceso
- Named Pipes (FIFO)
  - Comunicación entre dos procesos cualesquiera
  - Viven en el SO por lo cual excede la vida del proceso
- ¿Cuál es el tamaño de un pipe?



IPCs | Message Queues (System V)

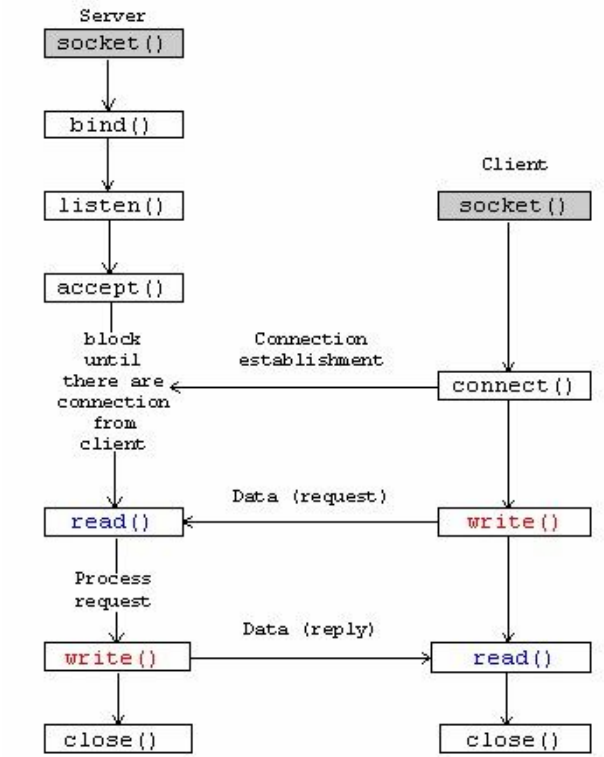
- Procesos escriben / reciben bloques de bytes
- Campo **mtype**
  - Identifica el tipo de mensaje
  - Sender debe enviar mensajes con **mtype > 0**
  - Receptor con **mtype = 0** recibe mensajes sin importar el **mtype**
  - Caso esotérico: Receptor con **mtype < 0**
- Mensajes leídos son removidos de la cola
- Buffer size definido durante la creación



- Permite comunicar dos procesos a través de un canal de comunicación (endpoint)

```
int socket(int domain, int type, 0);
```

- Domain
  - AF_UNIX - Unix socket
  - AF_INET / AF_INET6 - Network Socket
- Type (Protocolos de comunicación)
  - SOCK_DGRAM => UDP
  - SOCK_STREAM => TCP
  - SOCK_RAW => ??



https://stackoverflow.com/questions/27014955/socket-connect-vs-bind

Ejercicio

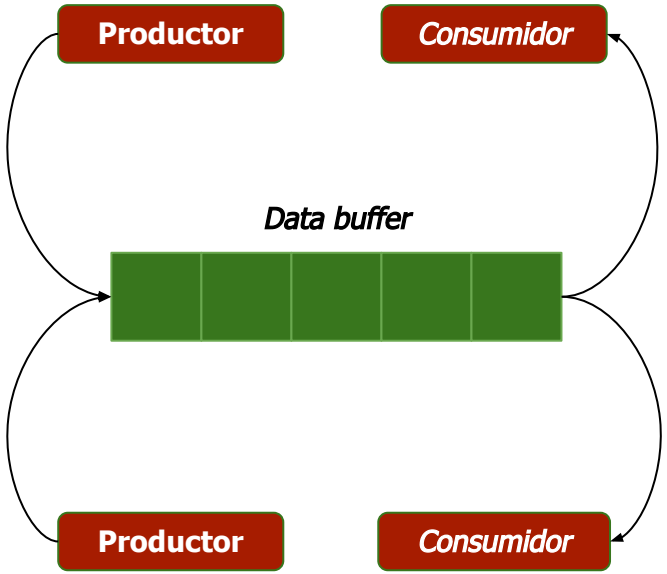
- N *threads/procesos* deben generar M mensajes
- Cada *thread/proceso* genera un mensaje y espera a que sus pares terminen de hacer lo mismo
- Cuando todos los *threads/procesos* hayan terminado de generar una ronda de mensajes procederán a generar uno nuevo
- **Resolver utilizando IPCs**
  - Shared Memory / Semaphores
  - Message Queues

Agenda

- Conceptos
- Mecanismos de sincronización
- IPCs
- **Problemas clásicos**
- Paralelización de tareas

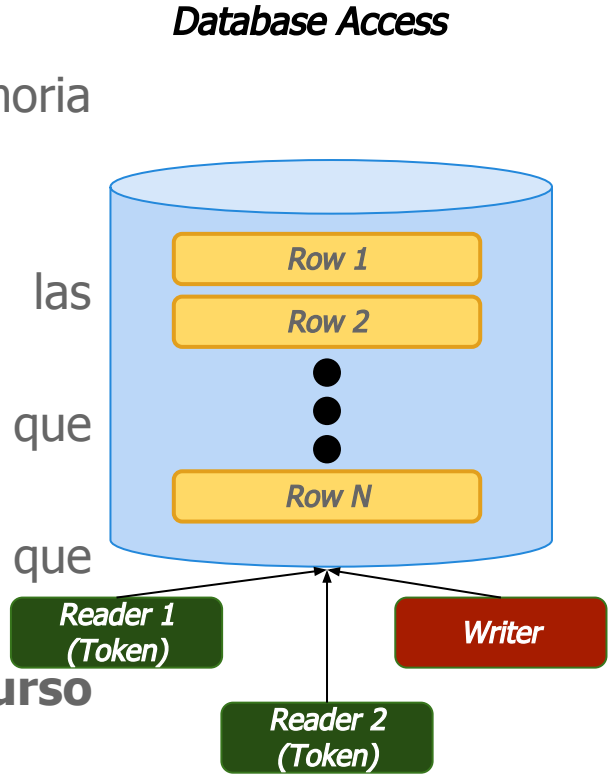
Problemas clásicos | Productor Consumidor

- Productores agregan paquetes en el buffer
- Consumidores extraen paquetes del buffer
- Situaciones de bloqueo
  - Productor intenta agregar un paquete cuando el buffer está lleno
  - Consumidor intenta extraer un paquete cuando el buffer está vacío
- Acceso al buffer **debe** ser sincronizado
- El buffer es acotado o infinito?



Problemas clásicos | Lectores Escritores

- Procesos intentan acceder a una memoria compartida
- Dos tipos de procesos (Lectores y Escritores)
- Tipos de problemas definidos en función de las propiedades ***fairness*** y **starvation**
  - ***Prioridad Lectores***: Escritores esperan a que lectores liberen recurso compartido
  - ***Prioridad Escritores:*** Lectores esperan a que Escritores recurso compartido
  - Lectores y Escritores acceden a **recurso compartido por tiempo limitado**



Problemas clásicos | Otros

- **Barbero dormilón**
- **Filósofos comensales**
- **Fumadores de cigarrillos**

Agenda

- Conceptos
- Mecanismos de sincronización
- IPCs
- Problemas clásicos
- **Paralelización de tareas**

Paralelización de tareas | Introducción

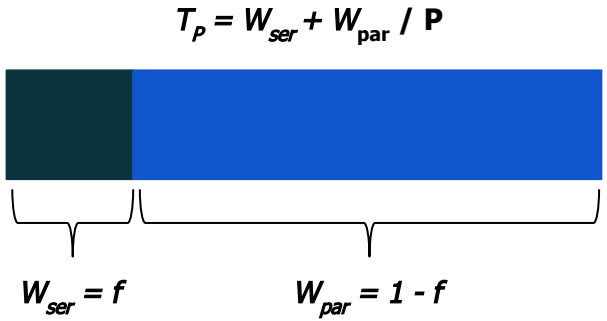
- Objetivos
  - Reducir el tiempo de cómputo de una tarea **(latencia)**
  - Incrementar la cantidad de tareas que se pueden realizar en paralelo **(*throughput*)**
  - Reducir la potencia consumida al realizar todas las tareas
- **Camino crítico**
  - Máxima longitud de tareas secuenciales a computar
  - Define el mejor rendimiento que se puede obtener al realizar un conjunto de tareas

"...the effort expended *on achieving high parallel processing rates is wasted unless it is accompanied by achievements in sequential processing rates of very nearly the same magnitude..."*

- Corolario:

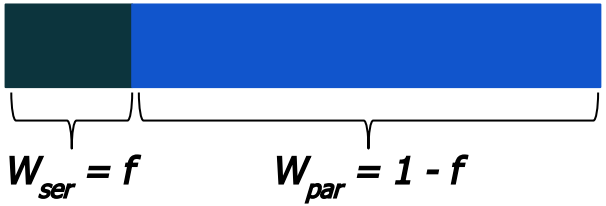
$$T_P = W_{ser} + W_{par} / P \qquad \text{con P unidades de cómputo}$$

- **Speedup**
  - ***Ratio* de optimización** de una operación



"...the effort expended *on achieving high parallel processing rates is wasted unless it is accompanied by achievements in sequential processing rates of very nearly the same magnitude..."*

- Corolario: todo trabajo de cómputo se divide en fracciones Secuenciales y Paralelas:



$$T = W_{ser} + W_{par}$$

- Luego, utilizando P unidades de cómputo, el tiempo de ejecución es:

$$T_P = W_{ser} + W_{par} / P$$

- Se define ***Speedup*** *como el ratio* de optimización de una operación:

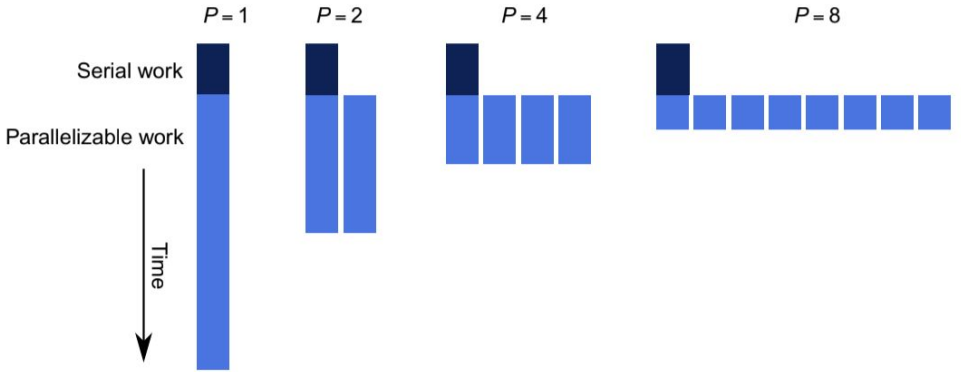
$$S_P = T_1 / T_P$$

- Reemplazando, se obtiene:

$$S_P \leq 1/(f + (1 - f) / P)$$

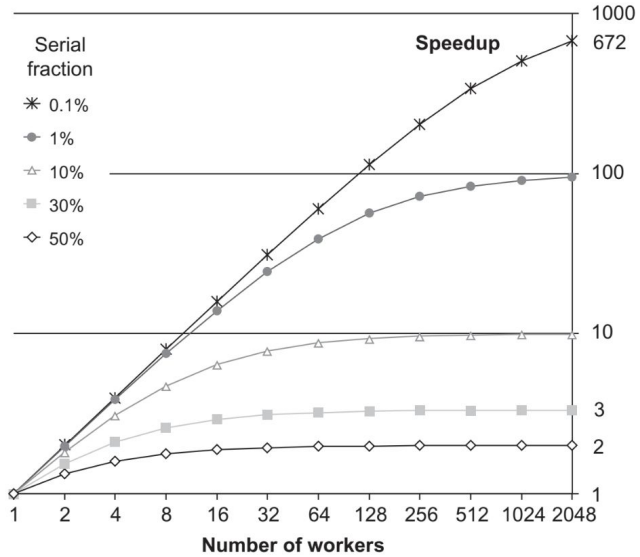
- Pero con $P \rightarrow \infty$:

$$S_\infty \leq 1/f$$



Paralelización de tareas | Ley de Amdahl

- *Speedup* máximo se encuentra acotado **por la fracción de tiempo que no puede ser paralelizable**
- Fracción paralelizable distribuida **uniformemente** entre procesadores



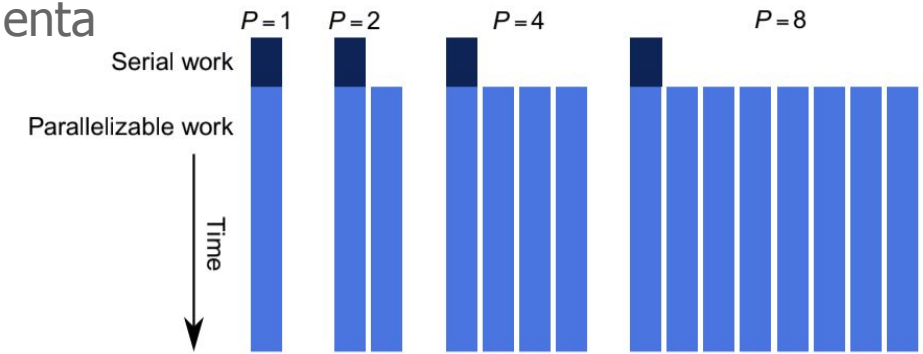
Ejemplo:

f	Processors	S_P
0.01	100	50
0.01	1000	90
0.01	10000	99
0.01	inf	100

Paralelización de tareas | Ley de Gustafson

"*Speedup should be measured by **scaling the problem** to the number of processors, **not by fixing the problem size**"*

- Corolario: aumentar el paralelismo puede permitir la modificación del problema original para ejecutar más trabajo
- Si el problema crece, caben dos alternativas:
  Parte serial disminuye ⇒ Speedup aumenta
  Paralelismo aumenta ⇒ Speedup aumenta

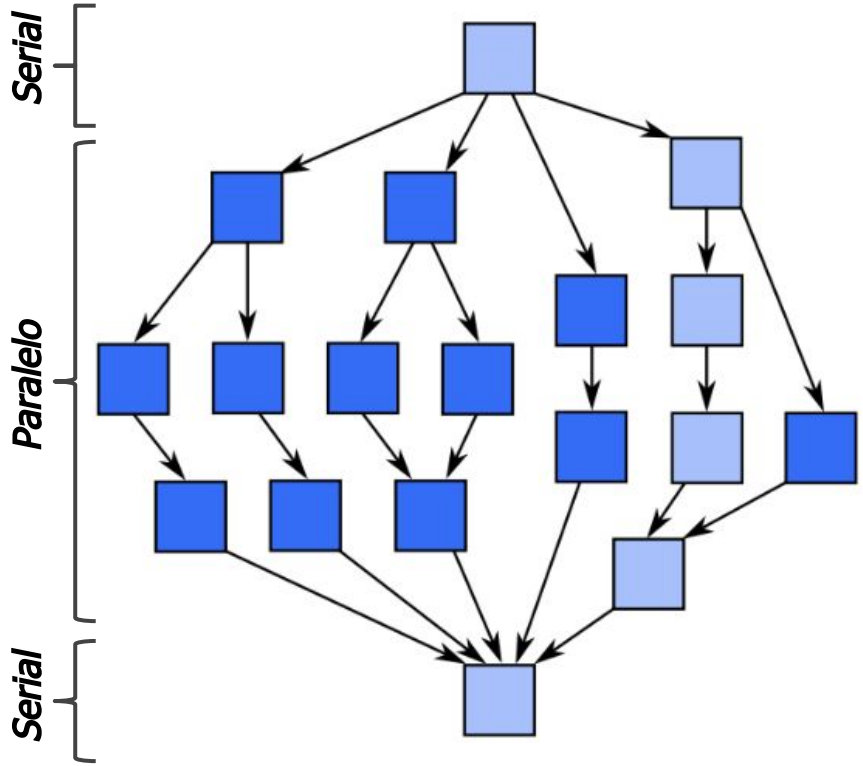


Paralelización de tareas | Modelo Work-Span

- **Caracteristicas**
  - Modelo más cercano a la realidad para estimar optimizaciones que el usado por Amdahl
  - Provee una *cota inferior* y una *cota superior* para el *Speedup*
- **Hipótesis**
  - *Paralelismo Imperfecto*: No todo el trabajo paralelizable se puede ejecutar al mismo tiempo
  - *Greedy scheduling*: proceso disponible => tarea ejecutada
  - Tiempo de acceso a memoria despreciable
  - Tiempo de comunicación entre procesos despreciable

- Definiciones
  - **T_1(work):** Tiempo en ejecutar *operación/algoritmo* con 1 sólo proceso
  - **T_{inf}*(span)*:** Tiempo en ejecutar el **camino crítico** de la *operación/algoritmo*

Cota	Speedup	Consideraciones
Superior	**$\min(P, T_1/T_{inf})$**	Se obtiene P en escenarios de Speedup lineal.
Inferior	**$(T_1 - T_\infty)/P + T_\infty$**	El trabajo se puede dividir en perfecta e imperfectamente paralelizable

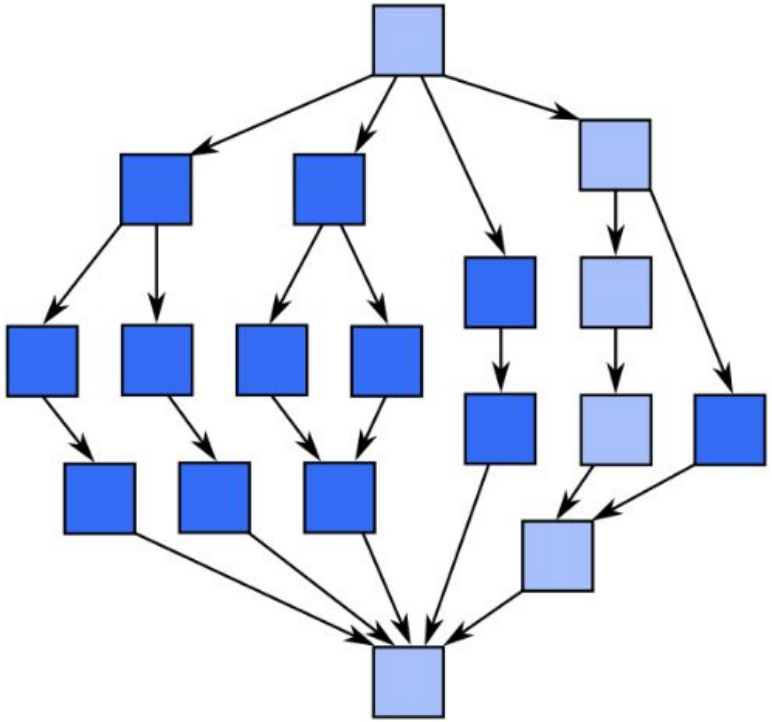


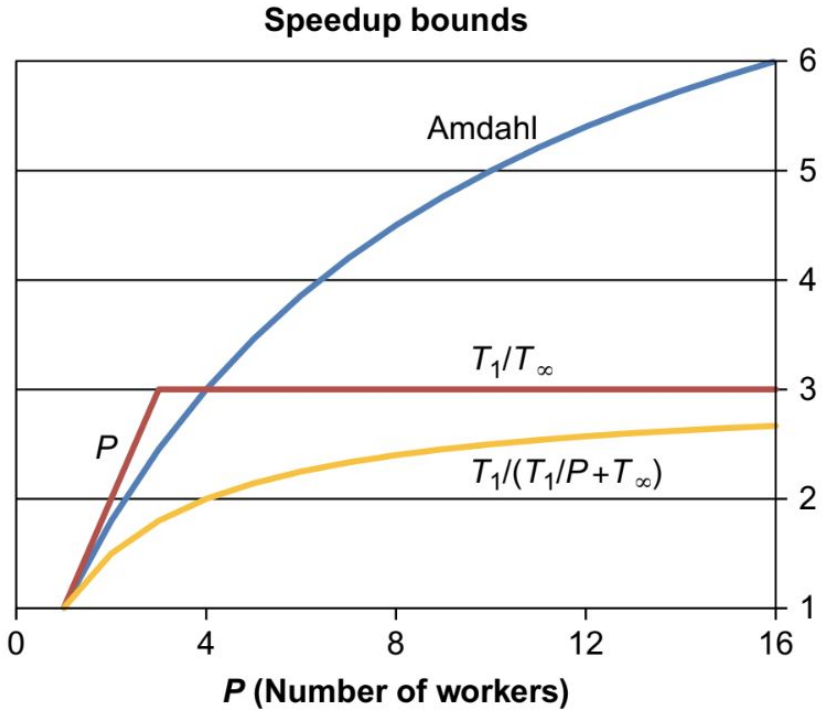
Ejemplo Práctico

- **Work-Span**
  - $T_1 = 18$ (work)
  - $T_{inf} = 6$ (span)
  - $S_P = T_1/T_{inf} = \mathbf{3}$

- **Amdahl**
  - $f = 2/18 = 1/9$
  - $S_{inf} = 1/f = \mathbf{9}$

Paralelización de tareas | Modelo Work-Span





Estrategias de paralelización

- **Descomposición Funcional**

  foo(data) = f (data) + g(data) + h(data) //1 proceso máximo

  vs

  foo(data) = go f(data) + go g(data) + go h(data) //3 procesos máx.

- **Particionamiento de Datos**

  foo(data) = f (data) //1 proceso máx.

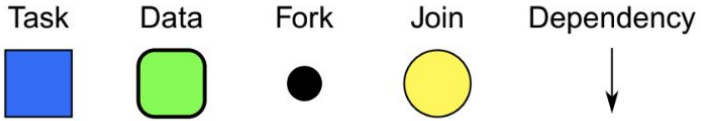
  vs

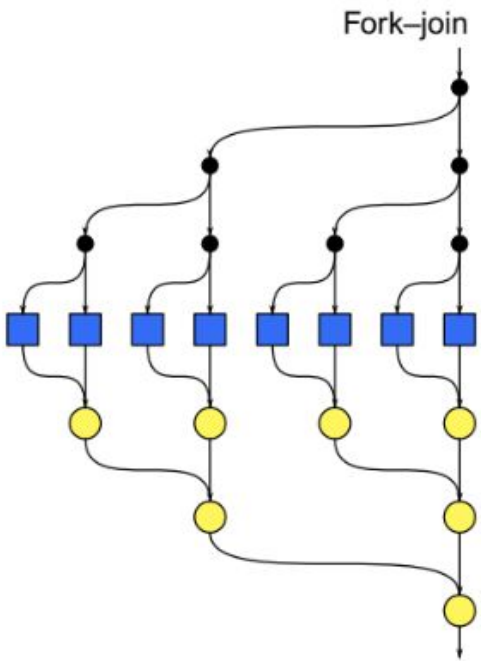
  foo(data) = go f (data[0:N/P-1]) & ... & go f(data[(P-1)*N/P:N-1])

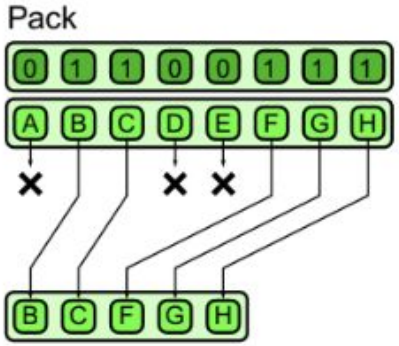
  //P procesos máx. (sólo si f(x) es particionable)

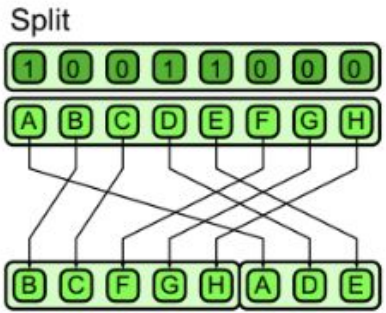
- Basados en algoritmos
  - No tan abstractos como *patrones de diseño*
  - No incluyen detalles de implementación
  - Agnósticos a lenguajes de programación
- Patrones deben poder incluir otros patrones (*nesting)*
- Herramientas básicas de trabajo también en *multi-computing*

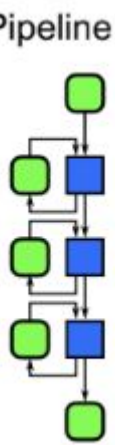
Notación:

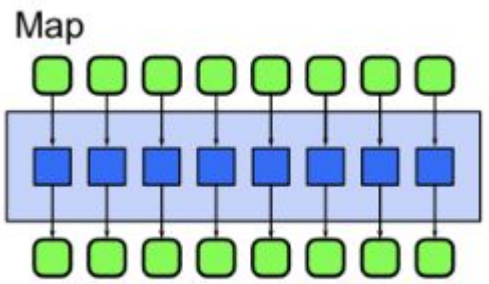


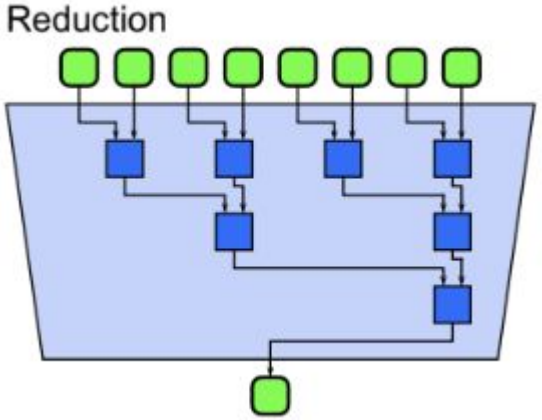

Fork–join


Pack
0 1 1 0 0 1 1 1
A B C D E F G H
B C F G H


Split
1 0 0 1 1 0 0 0
A B C D E F G H
B C F G H A D E


Pipeline


Map


Reduction

Bibliografía

- McCool M., Robison A. D., Reinders J., Structured Parallel Programming Patterns for Efficient Computation, 2012, Elsevier-Morgan Kaufmann.
  - Capítulo 1: Introduction
  - Capítulo 2: Background
- Ben-Ari, M. Principles of Concurrent and Distributed Programming, 2nd. Ed. Addison Wesley, 2006.
  - Capítulo 2: The concurrent programming abstraction
  - Capítulo 3: The mutual exclusion problem
  - Capítulo 4: Semaphores
  - Capítulo 5: Monitors