

Procesamiento Masivo de datos: Procesos y Hilos

Alex Di Genova

25/08/2025

Outline

- Sistemas distribuidos (repaso)
- Procesos y Hilos
- Sincronización

Sistemas Distribuidos

Sistemas distribuidos



Gran cantidad de computadores conectados por una red de alta velocidad.

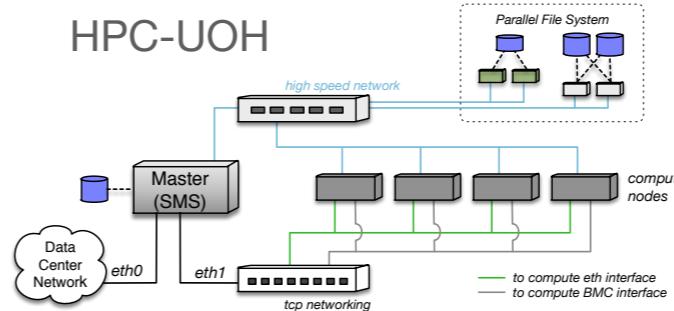
- Un sistema distribuido es una **colección de computadoras** independientes que aparece ante sus usuarios como un **solo sistema coherente**.

Sistemas distribuidos

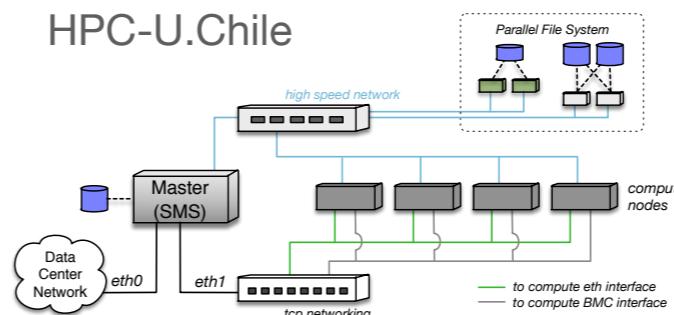
Tipos

- Sistemas de computo distribuido
 - Cluster de computo
 - Hardware similar
 - Red local de alta velocidad
 - Mismo sistema operativo
 - Grid de computo
 - Alto grado de heterogeneidad
 - Federación de sistemas de computo (cluster)

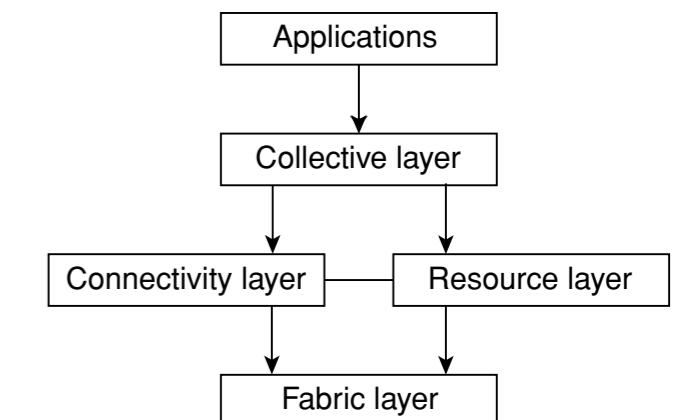
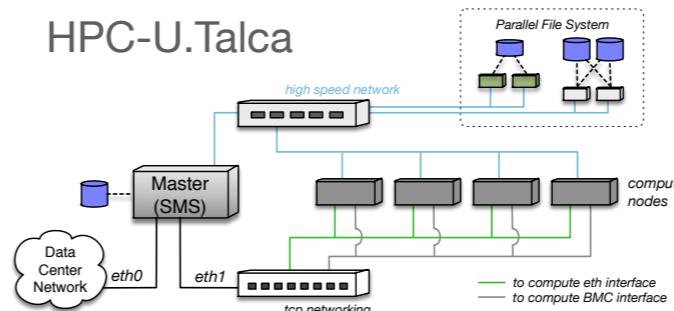
Universidades (organización virtual)



HPC-U.Chile



HPC-U.Talca



- Fabric layer:
 - proporciona interfaces a los recursos locales en un sitio específico
- Connectivity layer
 - protocolos de comunicación para soportar transacciones de red que abarcan el uso de múltiples recursos.
- Resource layer
 - responsable de administrar un solo recurso
- Collective layer:
 - maneja el acceso a múltiples recursos y generalmente consiste en servicios para el descubrimiento de recursos, asignación y programación de tareas

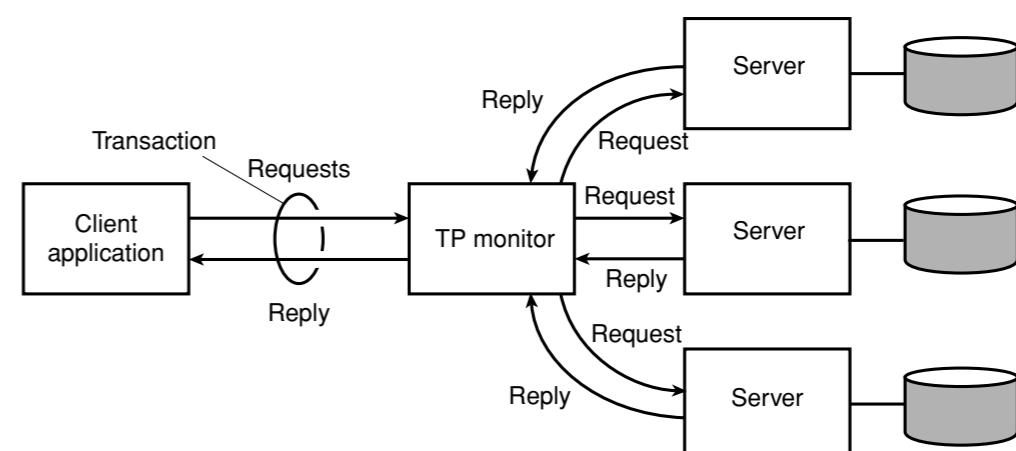
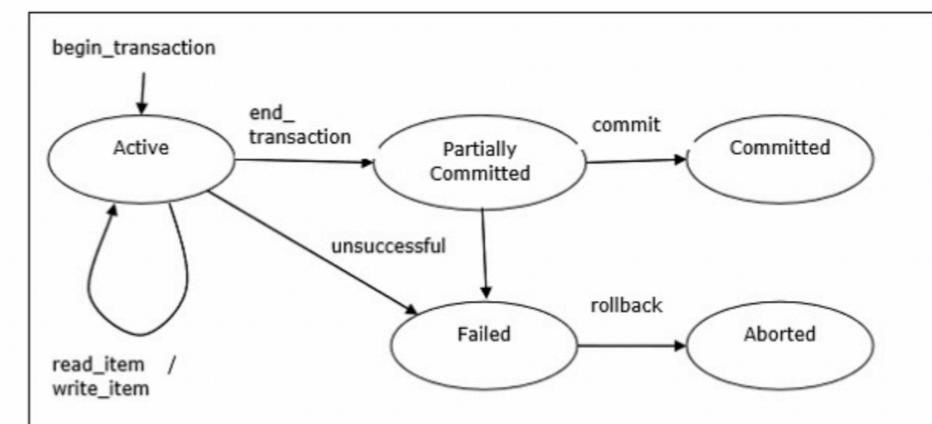
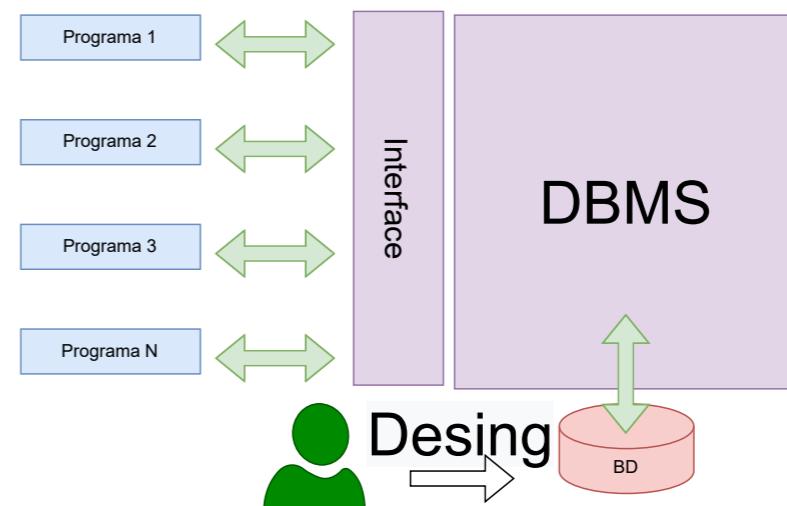


HTCondor
Software Suite

Sistemas distribuidos

Tipos

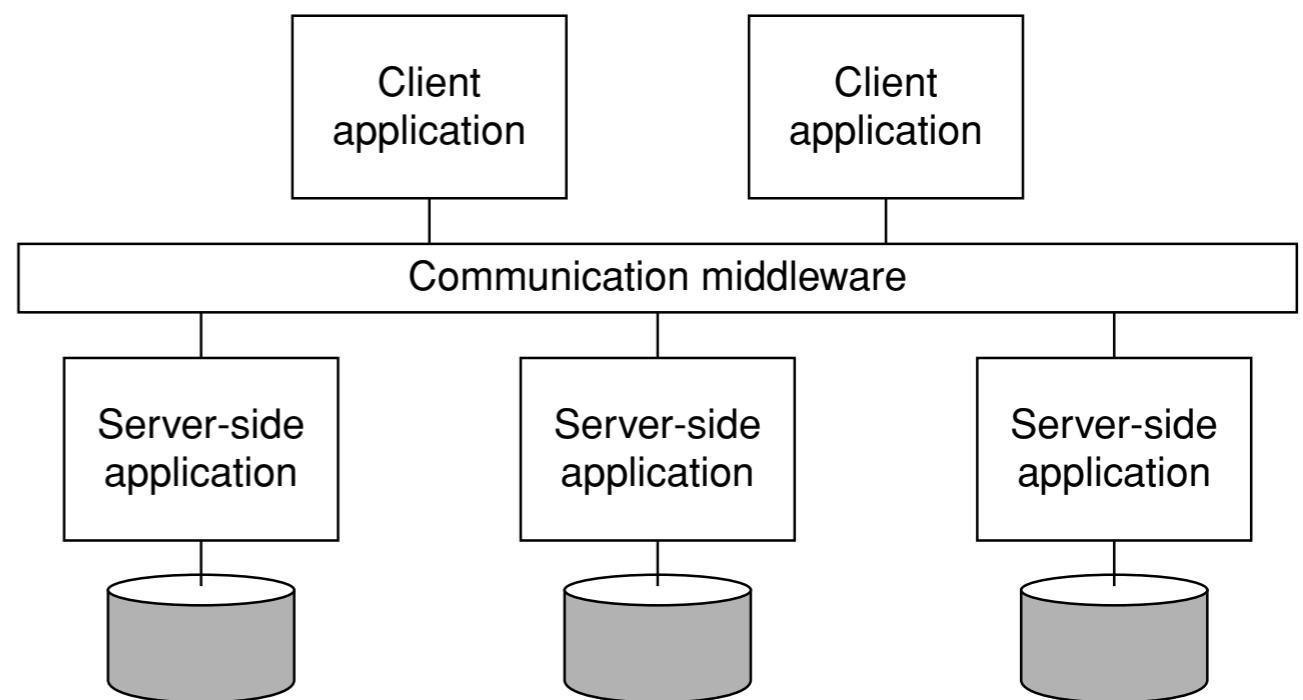
- Sistemas de información distribuido
 - un servidor que ejecuta una aplicación (que a menudo incluye una base de datos) y la pone a disposición de programas remotos, llamados clientes.
 - Sistemas de procesamiento de transacciones
 - La idea clave es que se ejecutarán todas o ninguna de las solicitudes.
 - Propiedades ACID (Atomic, Consistent, Isolated, Durable)
 - monitor de procesamiento de transacciones
 - Permite que una aplicación acceda a múltiples servidores/bases de datos mediante un modelo de programación transaccional.



Sistemas distribuidos

Tipos

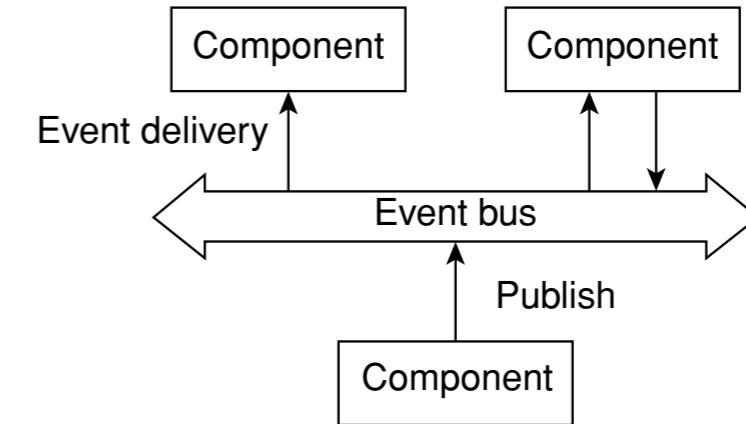
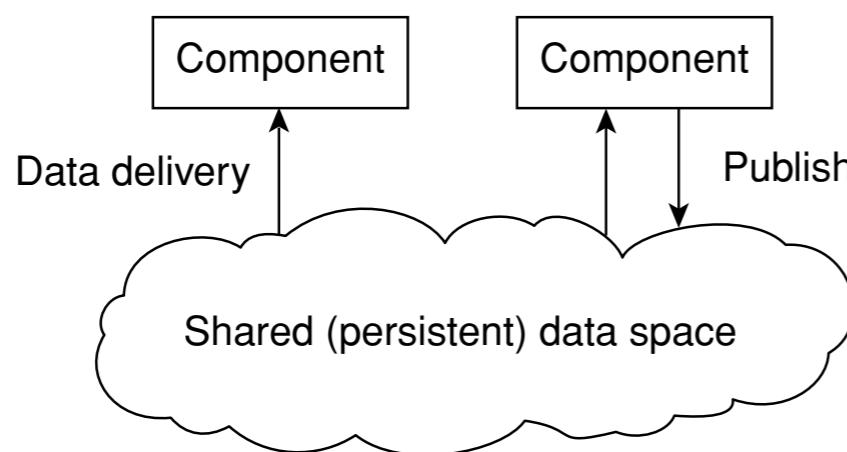
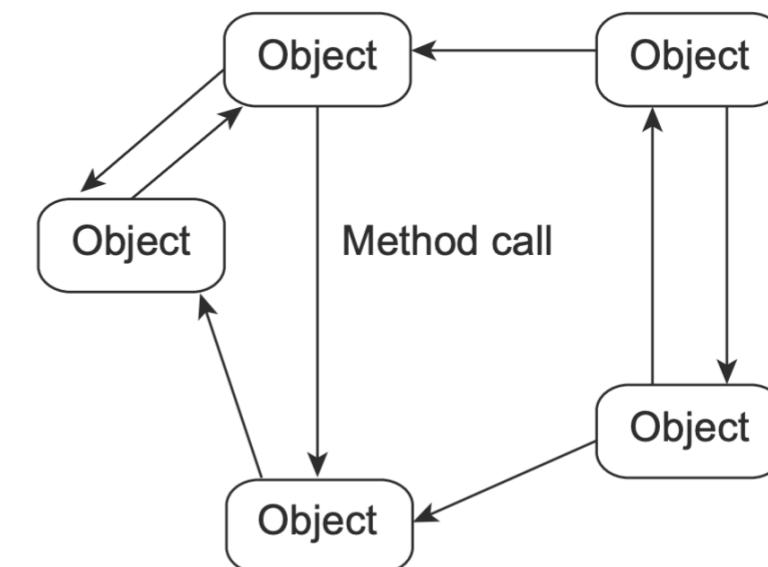
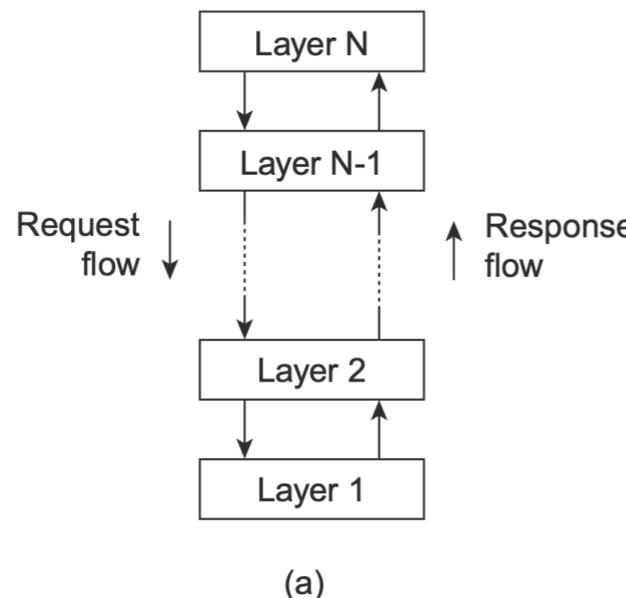
- Sistemas de información distribuido
 - Sistemas de procesamiento de transacciones
 - Sistemas de integración de aplicaciones.
 - Comunicación entre aplicaciones.
 - Idea: aplicaciones intercambien directamente información.
 - Invocaciones remotas de métodos (RMI)



Sistemas distribuidos

Arquitecturas

- Necesitamos definir cómo deben organizarse los diversos componentes de software y cómo deben interactuar.



Procesos y Hilos

Sistemas distribuidos

Vista Global



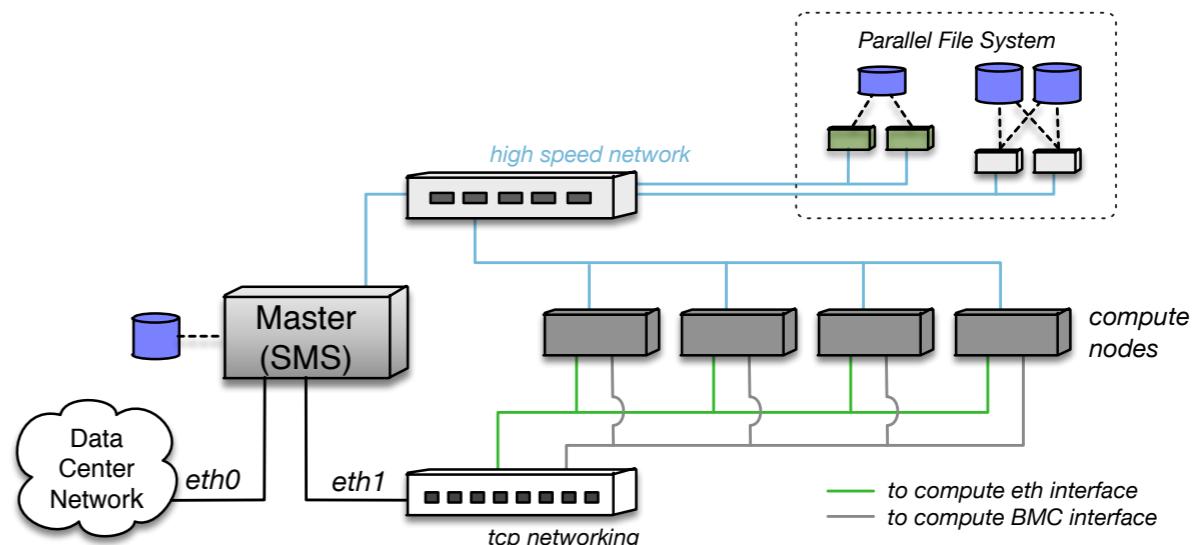
- Hilos (pthread)
- OpenMP

NVIDIA QUADRO P6000

- GPUs 3840
- RAM 24Gb



- CUDA



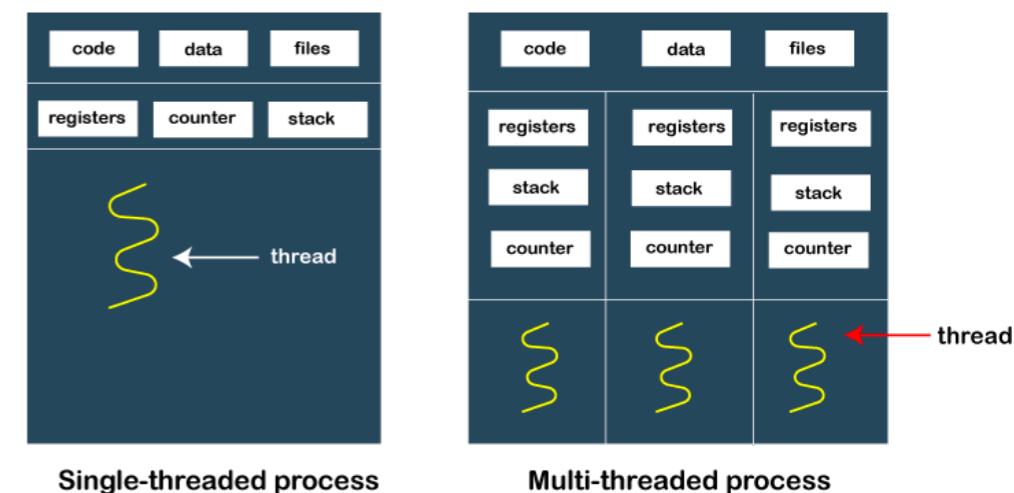
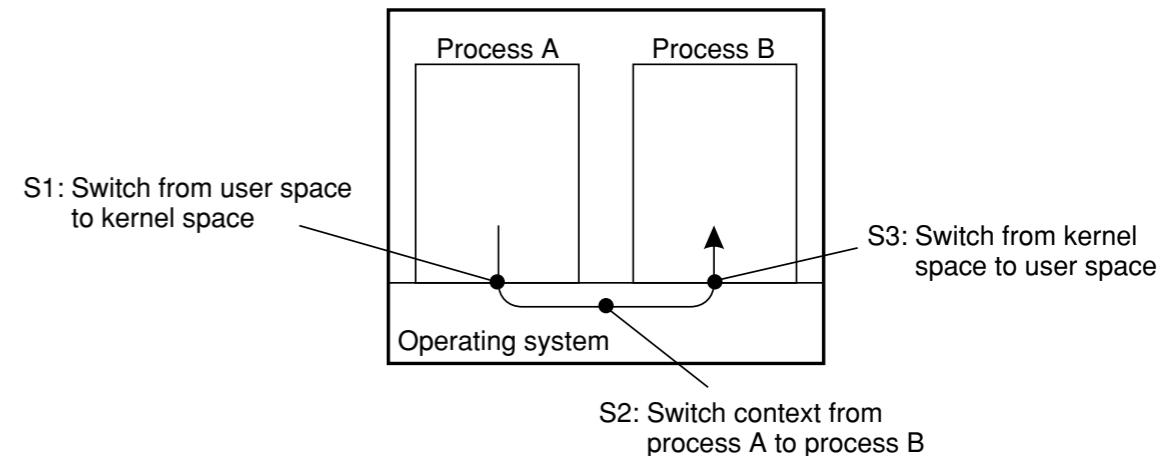
- **PTHREAD (hilos)**
- **OpenMP**
- **MPI**
- **Hadoop/Nextflow**

1 Tarjeta
Y Cores
?

Sistemas distribuidos

Procesos e Hilos

- Un proceso es un programa que se está ejecutando actualmente en uno de los procesadores virtuales del sistema operativo.
 - Asignación de recursos (memoria, datos temporales [stack], etc)
 - Cambiar CPU entre dos processos.
 - Más procesos que CPUs -> mover procesos de la RAM al disco y viceversa.
 - ¡Solo se puede ejecutar un proceso en la CPU en un momento dado!
- Hilos: procesos livianos.
 - Un proceso puede contener multiples hilos.
 - Ejecutan su propio código.
 - Comparten todos los recursos asignados a un proceso (memoria).
 - Programación de hilos requiere más esfuerzo (programación concurrente y paralela).



Sistemas distribuidos

Procesos simple

```
#include <stdio.h>

void f1(int *);
void f2(int *);
void merge(int, int);

int r1 = 0, r2 = 0;
extern int
main(void){
    f1(&r1);
    f2(&r2);
    merge(r1, r2);
    return 0;
}
```

puntero (SP) al stack
un contador de programa (PC) a la
instrucción que se está ejecutando.

Registers

SP
PC
GP0
GP1
...

Sistema Operativo
Identity

PID
UID
GID
...

Resources

Open Files
Locks
Sockets
...

Virtual Address Space

f1() i
j
k
main()

main() ===
f1() —
f2() ===

r1
r2

Lowest Address

Stack

Variables automáticas del
procedimiento actual

Text (Instructions)

Código

Data Variables globales

Heap Memoria dinámica
(malloc)

Highest Address

Sistemas distribuidos

Hilos

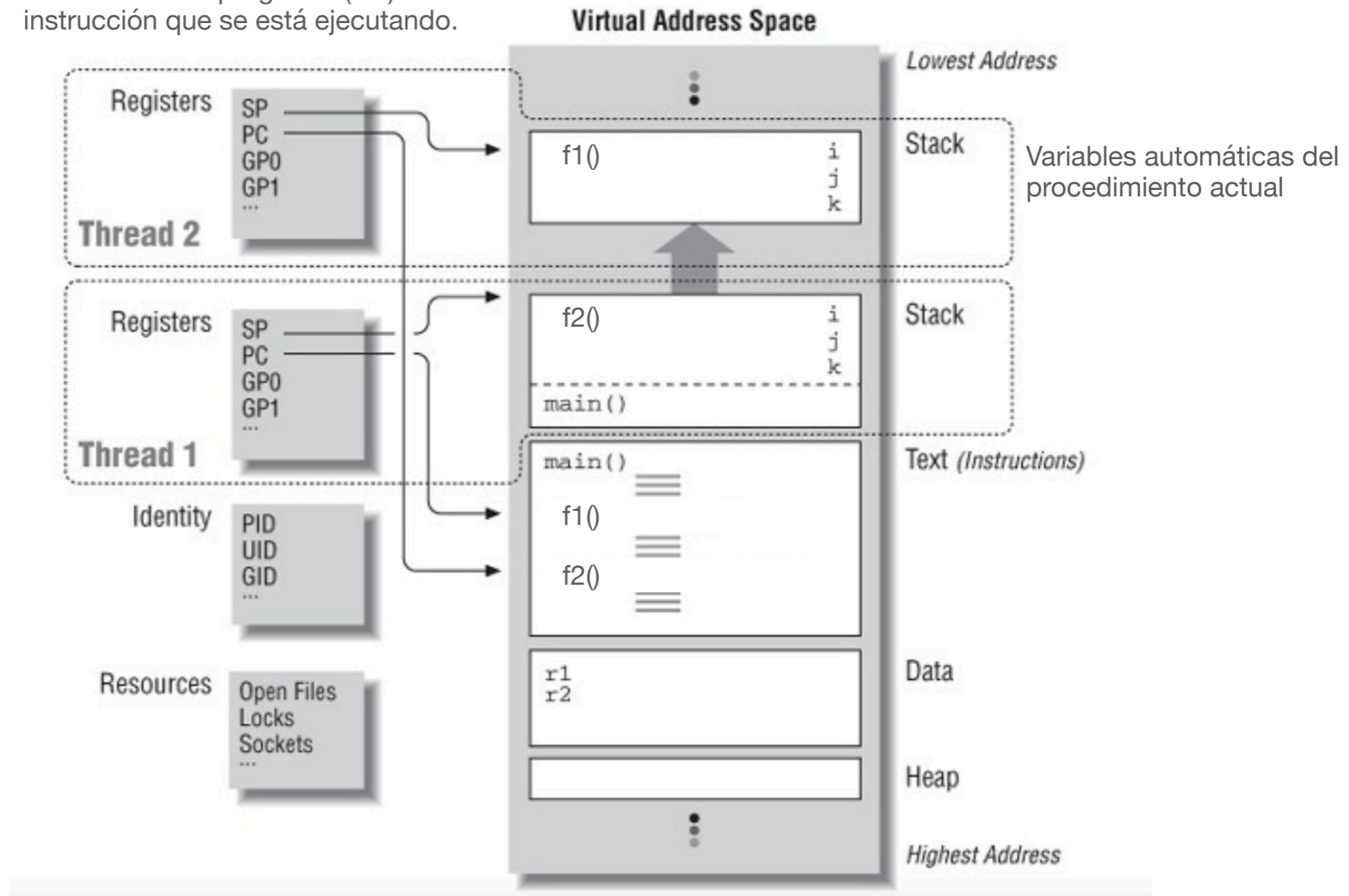
puntero (SP) al stack
un contador de programa (PC) a la
instrucción que se está ejecutando.

```
#include <stdio.h>

void f1(int *);
void f2(int *);
void merge(int, int);

int r1 = 0, r2 = 0;

extern int
main(void){
    f1(&r1);
    f2(&r2);
    merge(r1, r2);
    return 0;
}
```



Sistemas distribuidos

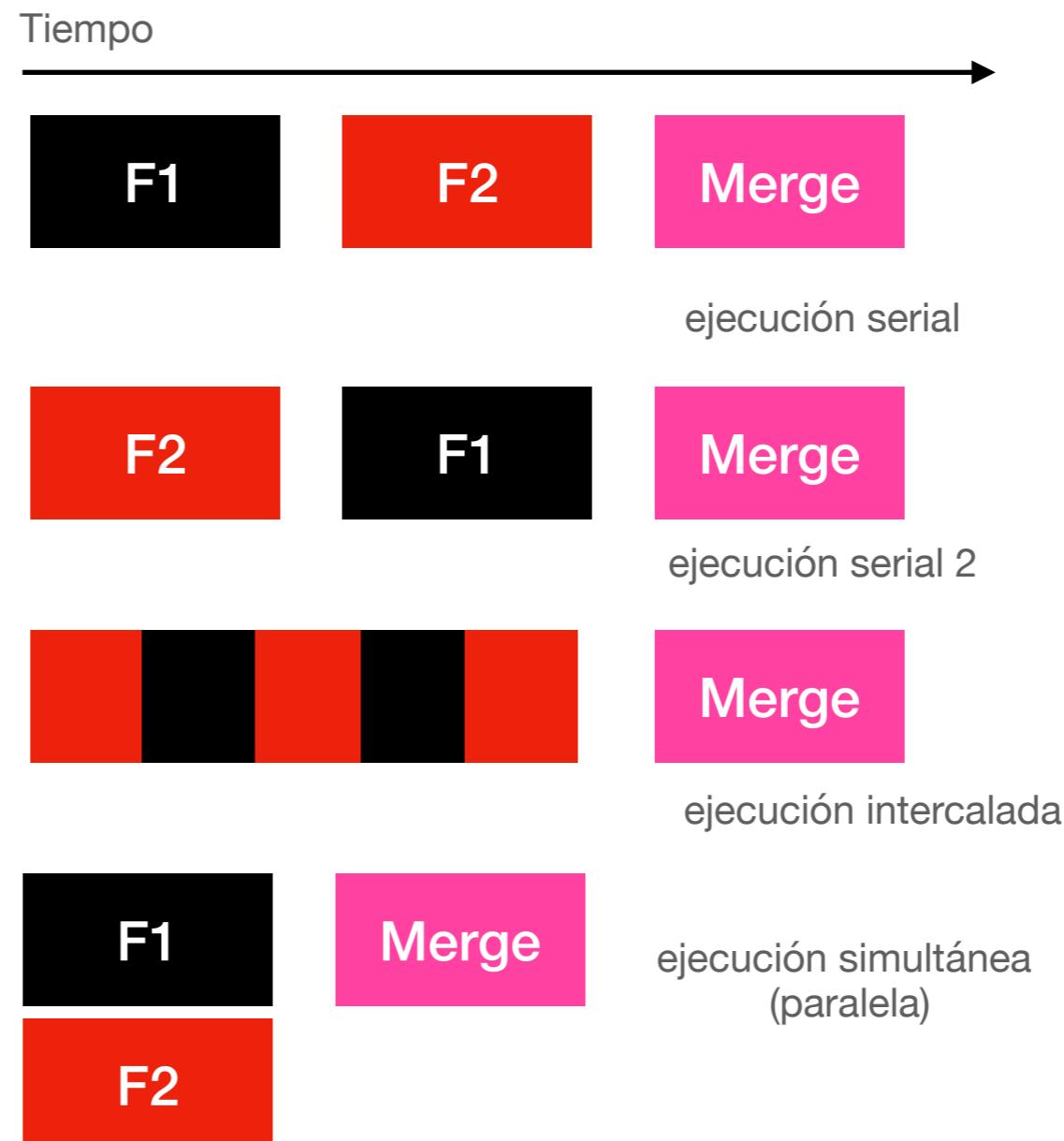
Hilos

```
#include <stdio.h>

void f1(int *);    Paralelismo potencial
void f2(int *);
void merge(int, int);

int r1 = 0, r2 = 0;

extern int
main(void){
    f1(&r1);
    f2(&r2);
    merge(r1, r2);
    return 0;
}
```

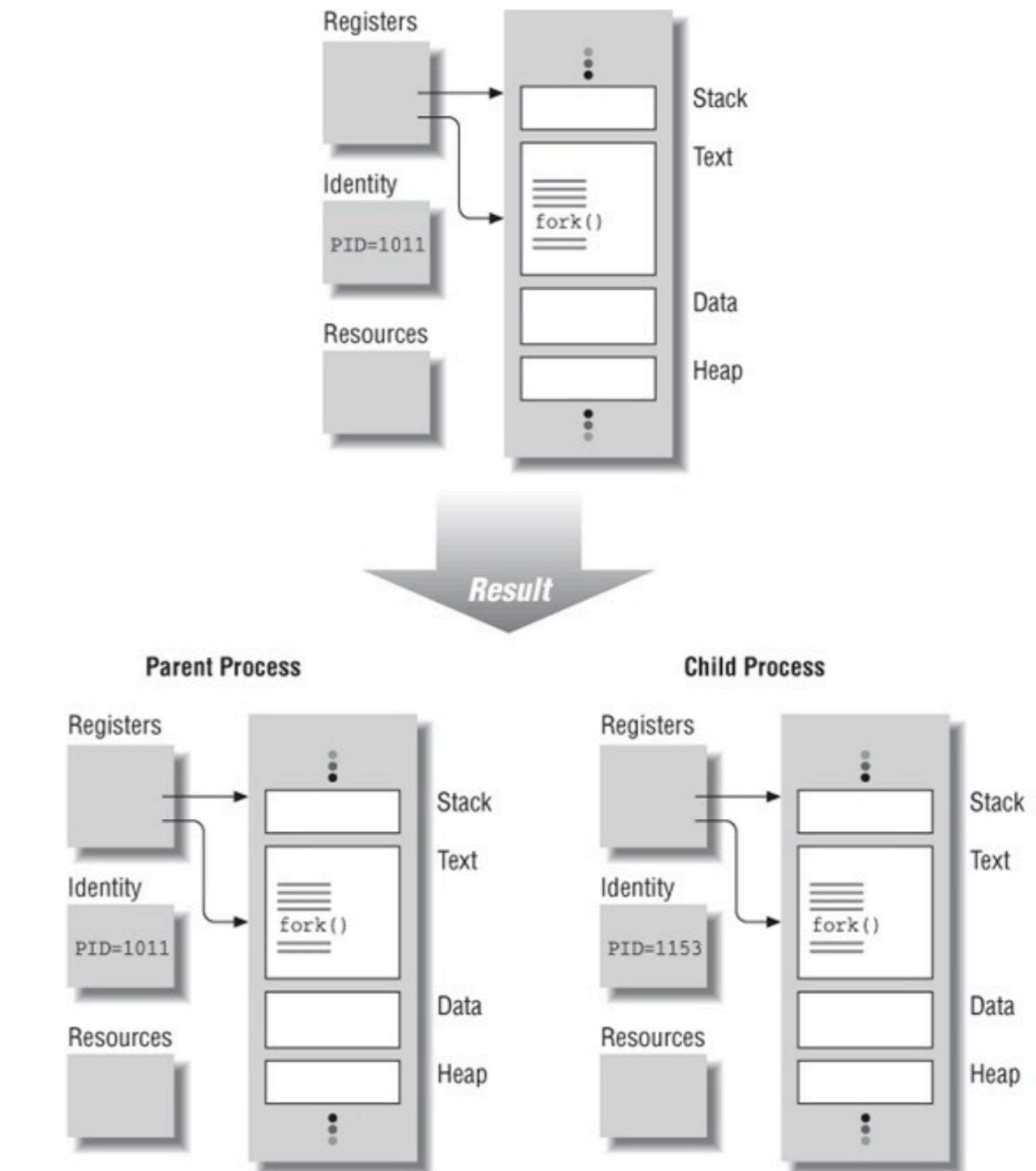


Nuestra motivación es **explotar el paralelismo potencial** para que nuestro programa se ejecute más rápido en un multiprocesador

Sistemas distribuidos

Procesos (fork)

- Fork: crea un proceso hijo idéntico a su proceso padre (al momento en que el padre llamó a fork), pero con las siguientes diferencias:
 - El proceso hijo tiene su propio PID.
 - Fork siempre devuelve un valor de 0 al hijo y el PID del hijo al padre
- Fork proporciona diferentes valores de retorno a los procesos padre e hijo.
- Despues de fork, el padre y el hijo se ejecutan de forma independiente a menos que sincronicemos explícitamente.



Sistemas distribuidos

Procesos (fork)

```
main(void){  
  
    pid_t child1_pid, child2_pid;  
    int status;  
  
    /* inicializamos el segmento de memoria compartida */  
    shared_mem_id = shmget(IPC_PRIVATE, 2*sizeof(int), 0660);  
    shared_mem_ptr = (int *)shmat(shared_mem_id, (void *)0, 0);  
    r1p = shared_mem_ptr;  
    r2p = (shared_mem_ptr + 1);  
  
    *r1p = 0;  
    *r2p = 0;  
  
    /* primer hijo */  
    if ((child1_pid = fork()) == 0) {  
        f1(r1p);  
        exit(0);  
    }  
  
    /* segundo hijo */  
    if ((child2_pid = fork()) == 0) {  
        f2(r2p);  
        exit(0);  
    }  
  
    /* el proceso padre (main) espera por los hijos */  
    waitpid(child1_pid, &status, 0);  
    waitpid(child2_pid, &status, 0);  
  
    merge(*r1p, *r2p);  
    return 0;  
}
```

Orden de ejecución

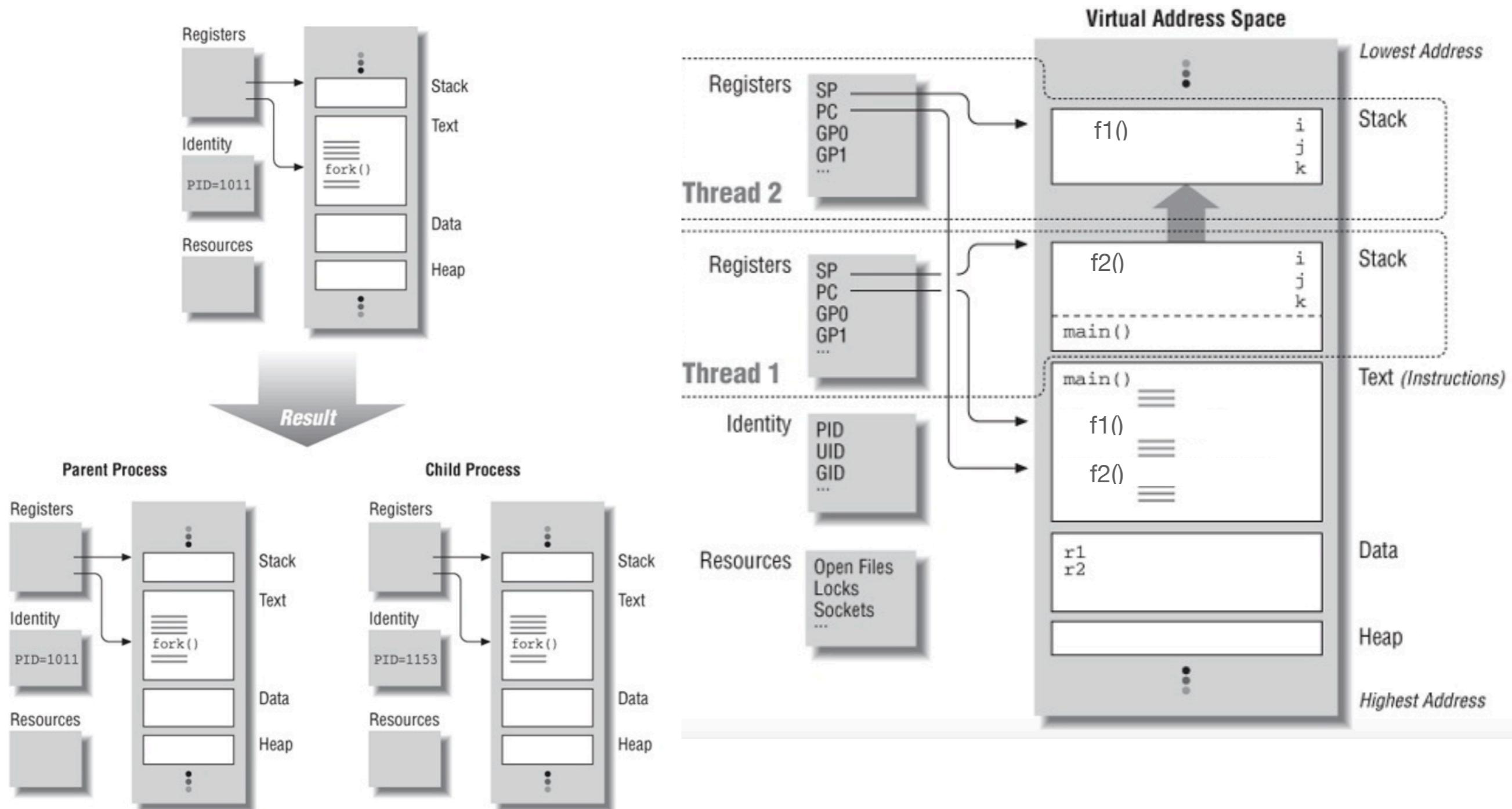
f1 iter: 0
f2 iter: 0
f2 iter: 1
f1 iter: 1
f1 iter: 2
f2 iter: 2
f1 iter: 3
f2 iter: 3
merge: f1 4, f2 4, total 8

Este programa es un buen ejemplo de paralelismo usando **múltiples procesos**

¿Por qué elegir varios hilos en lugar de varios procesos?

Sistemas distribuidos

Procesos vs hilos



Sistemas distribuidos

Hilos

```
#include <stdio.h>
#include <pthread.h>

void f1(int *);
void f2(int *);
void merge(int, int);

int r1 = 0, r2 = 0;

extern int
main(void)
{
    pthread_t thread1, thread2;

    pthread_create(&thread1,
                  NULL,
                  (void *) f1,
                  (void *) &r1);

    pthread_create(&thread2,
                  NULL,
                  (void *) f2,
                  (void *) &r2);

    pthread_join(thread1, NULL);
    pthread_join(thread2, NULL);

    merge(r1, r2);
    return 0;
}
```

`pthread_create = fork`

Parametros `pthread_create`:

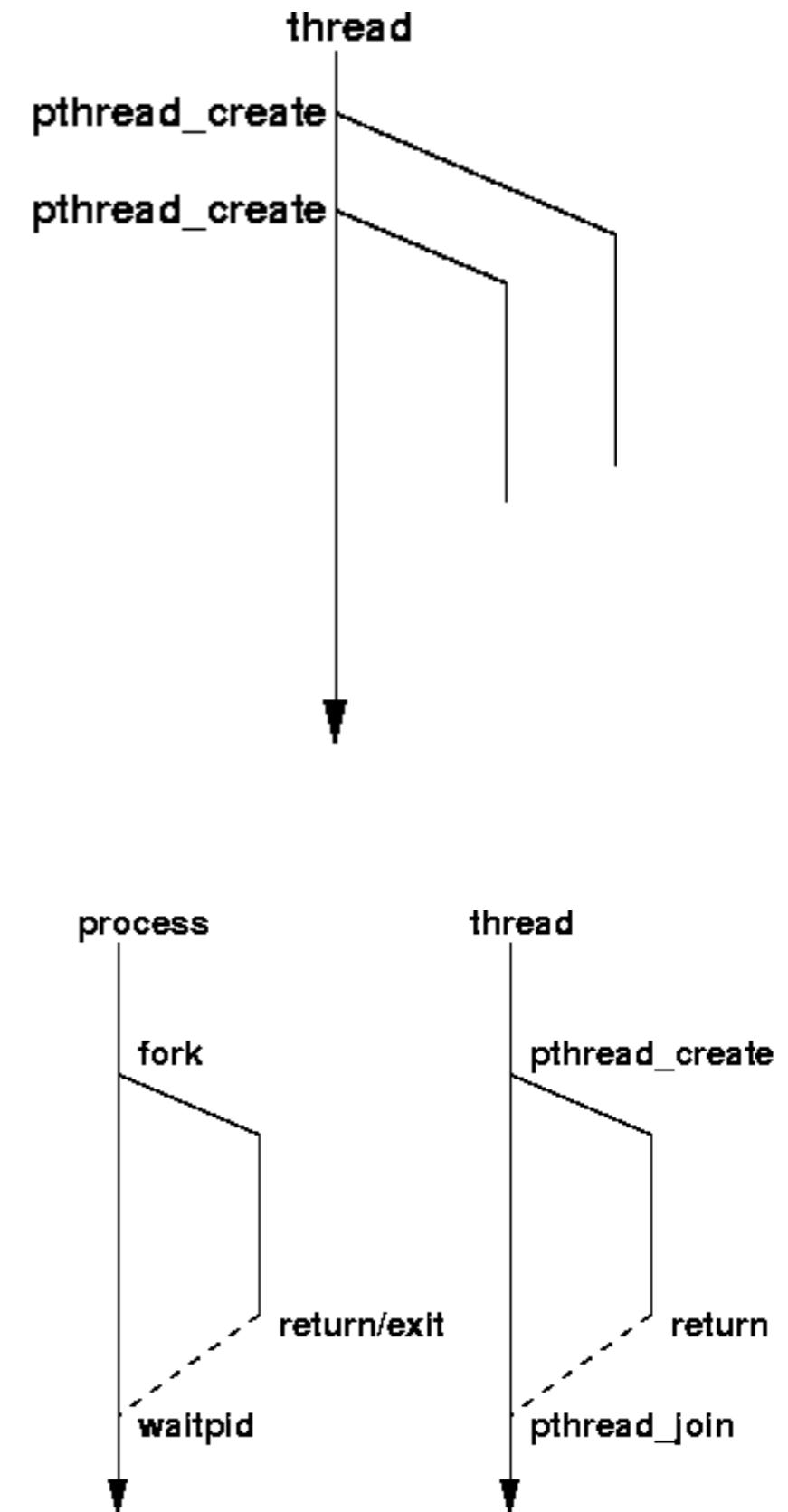
1. Identificador del hilo
2. Atributos del hilo (NULL=defaults)
3. Puntero a Función
4. Puntero a parametros pasados a 3.

Un valor cero representa éxito, y un valor distinto de cero indica e identifica un error

Sistemas distribuidos

Sincronización de Hilos

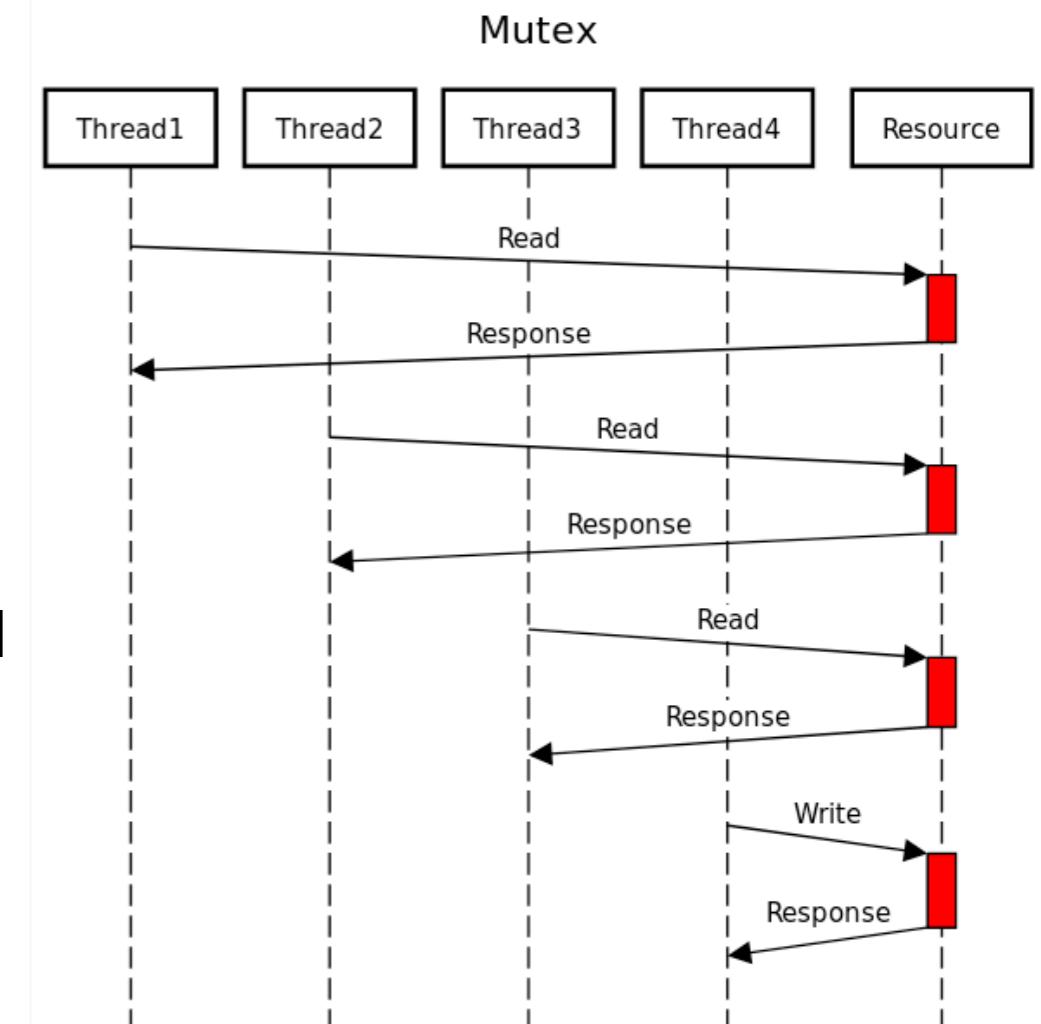
- Hilos Independientes no necesitan sincronización (no existen conflictos, f_1 y f_2).
- *merge*?
 - Debe esperar que f_1 y f_2 finalicen.
- La **sincronización de hilos nos permite determinar un orden de eventos:**
 - Garantizar que *merge* se ejecute solo después de f_1 y f_2 .
- La cooperación entre hilos **concurrentes** conduce al intercambio de datos, archivos y canales de comunicación (recursos compartidos).
 - Necesidad de sincronización.
- **f_1 y $f_2 \Rightarrow merge$.**
 - Para que la función final lea los **valores correctos**, debemos **sincronizar los hilos**.
- *pthread_create* es para habilitar concurrencia.
 - El resto de las funciones es para sincronización.



Sistemas distribuidos

Sincronización de Hilos

- *pthread_join ~ waitpid*
 - suspenden al hilo/proceso hasta que otro hilo/proceso termine (suspendidos, bloqueantes).
 - Mutex y variables de condición.
 - No bloquean completamente la ejecución del hilo.
 - Menos tiempo esperando a otros hilos -> más tiempo realizando las tareas para las que fueron diseñados.
 - Acceso a datos?
 - Valores de los datos?



Sistemas distribuidos

Sincronización de Hilos mutex

```
#include <stdio.h>
#include <pthread.h>

void f1(int *);
void f2(int *);
void merge(int, int);

int r1 = 0, r2 = 0;

int repeat=5;

pthread_mutex_t repeat_mutex=PTHRE

extern int
main(void)
{
    pthread_t thread1,  thread2;

    pthread_create(&thread1,
                  NULL,
                  (void *) f1,
                  (void *) &r1);

    pthread_create(&thread2,
                  NULL,
                  (void *) f2,
                  (void *) &r2);

    pthread_join(thread1,  NULL);
    pthread_join(thread2,  NULL);

    merge(r1, r2);
    return 0;
}
```

```
void f1(int *pnum_times)
{
    int i, j, x, r;

    do{
        pthread_mutex_lock(&repeat_mutex);
        r=repeat;
        repeat--;
        pthread_mutex_unlock(&repeat_mutex);

        //corremos nuestro ciclo
        for (i = 0; i < 4; i++) {
            printf("f1 iter: %d repeat: %d times:
                   %d\n",i,r,*pnum_times);
            for (j = 0; j < 10000000; j++) x = x + i;
            (*pnum_times)++;
        }
    }while(r>1);
}
```

```
f1 iter: 0 repeat: 5 times: 0
f2 iter: 0 repeat: 4 times: 0
f1 iter: 1 repeat: 5 times: 1
f2 iter: 1 repeat: 4 times: 1
f1 iter: 2 repeat: 5 times: 2
f2 iter: 2 repeat: 4 times: 2
f1 iter: 3 repeat: 5 times: 3
f2 iter: 0 repeat: 3 times: 4
f2 iter: 3 repeat: 4 times: 3
f1 iter: 1 repeat: 3 times: 5
f2 iter: 0 repeat: 2 times: 4
f1 iter: 2 repeat: 3 times: 6
f2 iter: 1 repeat: 2 times: 5
f1 iter: 3 repeat: 3 times: 7
f2 iter: 2 repeat: 2 times: 6
f1 iter: 0 repeat: 1 times: 8
f2 iter: 3 repeat: 2 times: 7
f1 iter: 1 repeat: 1 times: 9
f2 iter: 0 repeat: 0 times: 8
f1 iter: 2 repeat: 1 times: 10
f2 iter: 1 repeat: 0 times: 9
f1 iter: 3 repeat: 1 times: 11
f2 iter: 2 repeat: 0 times: 10
f2 iter: 3 repeat: 0 times: 11
merge: f1 12, f2 12, total 24
```

- La variable mutex actúa como un candado que **protege el acceso a un recurso compartido** (variable repeat).
- Cualquier hilo que obtenga el bloqueo en el mutex en una llamada a ***pthread_mutex_lock*** tiene derecho a acceder al recurso compartido que protege. Renuncia a este derecho cuando libera el bloqueo con la llamada ***pthread_mutex_unlock***.
- El mutex recibe su nombre del término **exclusión mutua**: cualquiera que sea el hilo que mantenga el bloqueo, **excluirá a todos los demás del acceso**.

Sistemas distribuidos

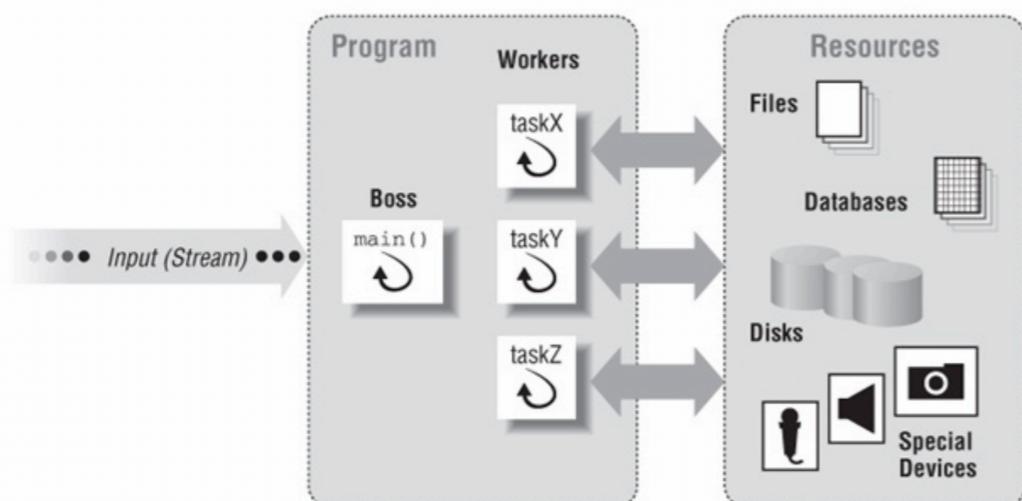
Tareas apropiadas para Hilos

- Es independiente de otras tareas.
 - ¿La tarea usa recursos separados de otras tareas? ¿Su ejecución depende de los resultados de otras tareas? ¿Dependen otras tareas de sus resultados?
- Puede bloquearse en esperas potencialmente largas.
 - ¿Puede la tarea pasar mucho tiempo en un estado suspendido?
- Puede usar muchos ciclos de CPU.
 - ¿La tarea realiza cálculos largos, como el procesamiento de matrices, el hash o el encriptado?
- Debe responder a eventos asincrónicos
 - ¿La tarea debe manejar eventos que ocurren a intervalos aleatorios, como comunicaciones de red o interrupciones del hardware y el sistema operativo?

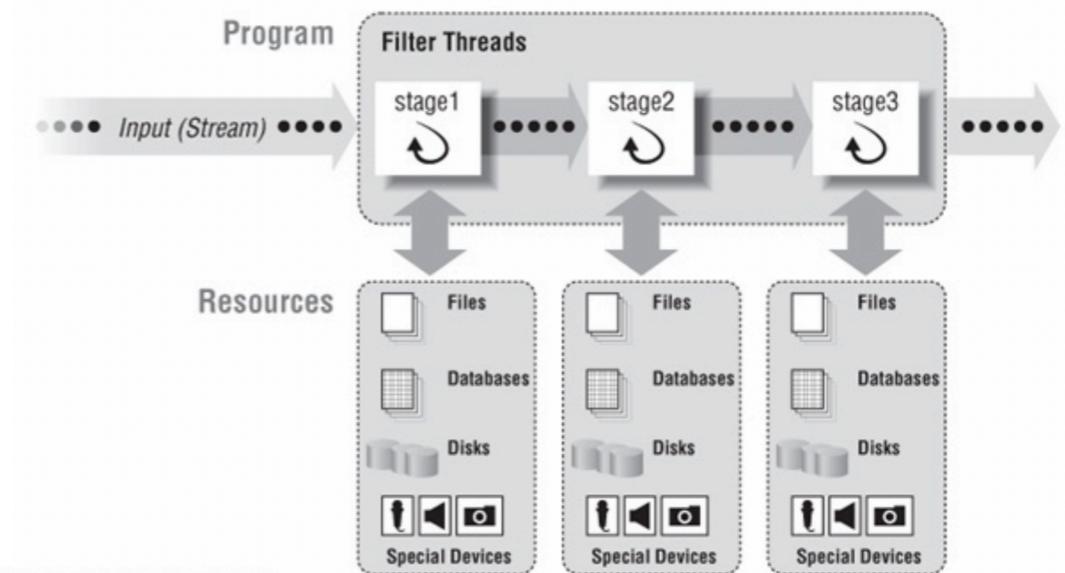
Sistemas distribuidos

Modelos de concurrencia con Hilos

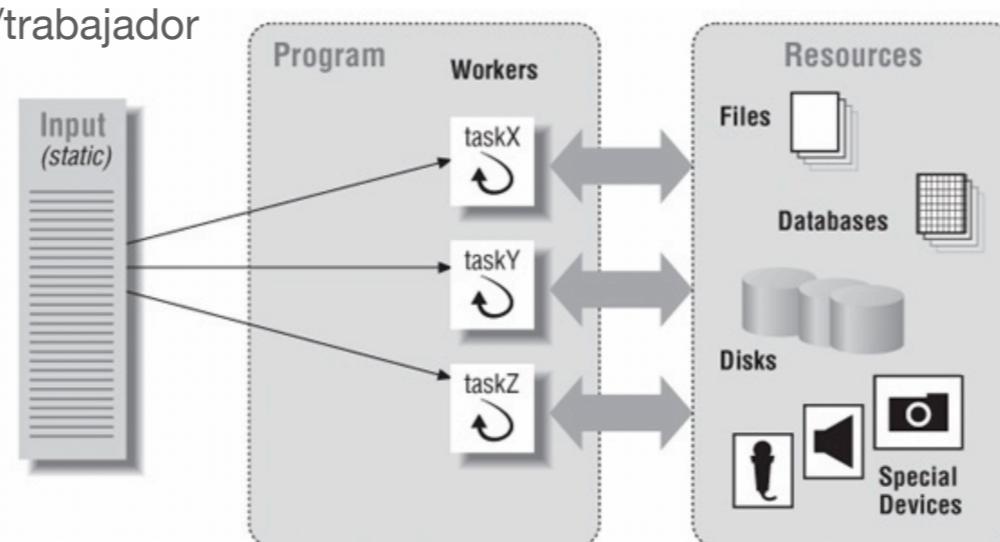
- Los modelos definen cómo una aplicación delega su trabajo a sus hilos y cómo se intercomunican los hilos.



El modelo jefe/trabajador



El modelo de pipeline



El modelo de pares

Google Colab

The screenshot shows a Google Colab notebook titled "Rust-C-basics.ipynb". The notebook contains two sections: "Hola Mundo" and "Arreglos y funciones".

Hola Mundo:

```
[ ] 1 !apt install rustc cargo

[ ] 1 @@writefile helloworld.rs
2 // This is a comment, and is ignored by the compiler
3
4 // This is the main function
5 fn main() {
6     // Statements here are executed when the compiled binary is called
7     // Print text to the console
8     println!("Hola Mundo!");
9 }
10

Writing helloworld.rs

[ ] 1 !rustc /content/helloworld.rs
2 ./helloworld

[ ] Hola Mundo!
```

Arreglos y funciones:

```
[ ] 1 @@writefile arreglos.rs
2
3 use std::mem;
4
5 // This function borrows a slice
6 fn analyze_slice(slice: &[i32]) {
7     println!("primer elemento del arreglo: {}", slice[0]);
8     println!("el ultimo elemento es: {}", slice[slice.len()-1]);
9     println!("el arreglo tiene {} elementos", slice.len());
10 }

11
12 fn main() {
13     // arreglo de largo fijo
14     let xs: [i32; 5] = [1, 2, 3, 4, 5];
15     // arreglo de largo 500 inicializado en 0
16     let ys: [i32; 500] = [0; 500];
17
18     // indices comienzan en 0
19     println!("primer elemento arreglo: {}", xs[0]);
20     println!("tercer elemento del arreglo: {}", xs[2]);
21
22     // `len` retorna el largo del arreglo
23     println!("numero de elementos arreglo xs: {}", xs.len());
24     println!("numero de elementos arreglo ys: {}", ys.len());
25
26     // Arrays are stack allocated
27     println!("tamaño en memoria xs {} bytes", mem::size_of_val(&xs));
28     println!("tamaño en memoria ys {} bytes", mem::size_of_val(&ys));
29     // Arrays can be automatically borrowed as slices
30     println!("pasamos el arreglo por puntero a función");
31     analyze_slice(&xs);
32     analyze_slice(&ys);
33
34     println!("pasamos una slice del array");
35     analyze_slice(&ys[1 .. 4]);
36
37     // Se puede acceder a las matrices de forma segura mediante `.get`,
38     // que devuelve un
39     // `Option`. Esto se puede combinar como se muestra a continuación, o se puede usar con
40     // `.expect()` si desea que el programa finalice con un buen
41     // mensaje en lugar de continuar.
42     for i in 0..xs.len() + 1 { // iteraremos un elemento mas del largo
43         match xs.get(i) {
44             Some(xval) => println!("{}: {}", i, xval),
45             None => println!("Fuera de indice! {} no existe!", i),
46         }
47     }
48 }
```

<https://github.com/adigenova/uohpmd>

Consultas?

Consultas o comentarios?

Muchas gracias