

SISTEMAS OPERATIVOS: COMUNICACIÓN Y SINCRONIZACIÓN ENTRE PROCESOS



Desarrollo de servidores concurrentes

A recordar...

Antes de clase

Clase

Después de clase

Preparar los pre-requisitos.

Estudiar el material asociado a la **bibliografía**:
las transparencias solo no son suficiente.
Preguntar dudas (especialmente tras estudio).

Ejercitar las competencias:

- ▶ Realizar todos los **ejercicios**.
- ▶ Realizar los **cuadernos de prácticas** y las **prácticas** de forma progresiva.

Lecturas recomendadas

3

Alejandro Calderón Mateos 

Base



1. Carretero 2020:
 1. Cap. 6
2. Carretero 2007:
 1. Cap. 6.1 y 6.2

Recomendada



1. Tanenbaum 2006:
 1. (es) Cap. 5
 2. (en) Cap. 5
2. Stallings 2005:
 1. 5.1, 5.2 y 5.3
3. Silberschatz 2006:
 1. 6.1, 6.2, 6.5 y 6.6

Contenidos

- Introducción (definiciones):
 - ▣ Procesos concurrentes.
 - ▣ Concurrencia, comunicación y sincronización
 - ▣ Sección crítica y condiciones de carrera
 - ▣ Exclusión mutua y sección crítica.
- Mecanismos de sincronización (I):
 - ▣ Primitivas básicas iniciales
 - ▣ Semáforos.
- Problemas clásicos de concurrencia (I):
 - ▣ Productor-consumidor
 - ▣ Lectores-escriptores
- Mecanismos de sincronización de threads (II)
 - ▣ Semáforos
 - Llamadas al sistema para semáforos.
 - Problemas clásicos de concurrencia.
 - ▣ Mutex y variables condición
 - Llamadas al sistema para mutex.
 - Problemas clásicos de concurrencia.

- **Desarrollo de servidores concurrentes**
 - ▣ Servidores de peticiones.
 - ▣ Solución basada en procesos.
 - ▣ Solución basada en hilos bajo demanda.
 - ▣ Solución basada en pool de hilos.

Contenidos

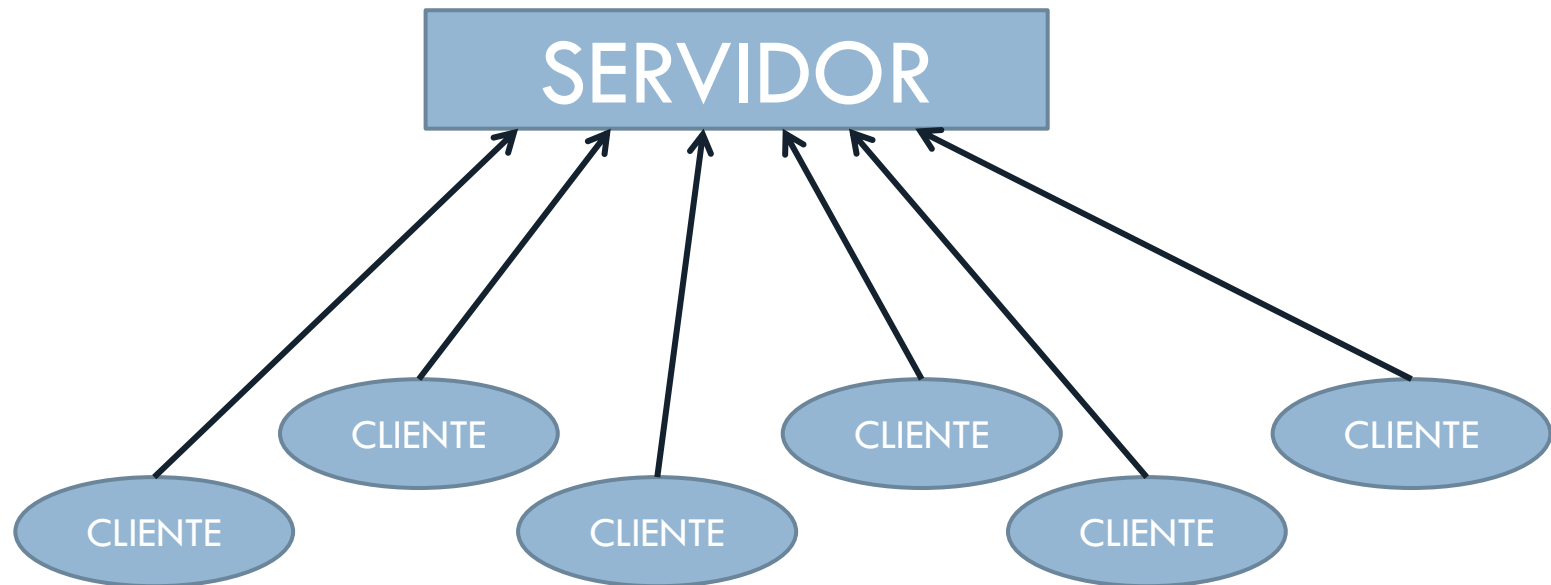
- Introducción (definiciones):
 - Procesos concurrentes.
 - Concurrencia, comunicación y sincronización
 - Sección crítica y condiciones de carrera
 - Exclusión mutua y sección crítica.
- Mecanismos de sincronización (I):
 - Primitivas básicas iniciales
 - Semáforos.
- Problemas clásicos de concurrencia (I):
 - Productor-consumidor
 - Lectores-escriitores
- Mecanismos de sincronización de threads (II)
 - Semáforos
 - Llamadas al sistema para semáforos.
 - Problemas clásicos de concurrencia.
 - Mutex y variables condición
 - Llamadas al sistema para mutex.
 - Problemas clásicos de concurrencia.
- Desarrollo de servidores concurrentes
 - **Servidores de peticiones.**
 - Solución basada en procesos.
 - Solución basada en hilos bajo demanda.
 - Solución basada en pool de hilos.

Servidor de peticiones

- Un servidor recibe peticiones que debe procesar.
- En muchos contextos se desarrollan servidores de peticiones:
 - ▣ Servidor Web.
 - ▣ Servidor de Base de datos.
 - ▣ Servidor de aplicaciones.
 - ▣ Programa de intercambio de ficheros.
 - ▣ Aplicaciones de mensajería.
 - ▣ ...

Servidor de peticiones

- Un servidor recibe peticiones que debe procesar.



Servidor de peticiones

- Un servidor recibe peticiones que debe procesar.
- Estructura de un servidor genérico:
 - **Recepción** de petición:
 - Cada petición requiere un cierto tiempo en operaciones de entrada/salida para ser recibida.
 - **Procesamiento** de la petición:
 - Un cierto tiempo de procesamiento en CPU.
 - **Envío** de respuesta:
 - Un cierto tiempo de entrada/salida para contestar.



Una biblioteca para pruebas

- Para poder evaluar las distintas soluciones vamos a usar una biblioteca sencilla como base.
- Biblioteca que simulará:
 - ▣ La recepción de peticiones.
 - ▣ El procesamiento de peticiones.
 - ▣ El envío de respuestas.

```
#include "peticion.h"

int main()
{
    peticion_t p;

    for (;;) {
        recibir_peticion(&p);
        responder_peticion(&p);
    }

    return 0;
}
```

Biblioteca base

peticiones.h

10

Alejandro Calderón Mateos 

```
#ifndef PETICION_H
#define PETICION_H

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>

struct petition {
    long id;
    /* Resto de campos necesarios */
    int tipo;
    char url[80];
    /* ... */
};

typedef struct petition petition_t;

void recibir_peticion    ( petition_t * p );
void responder_peticion ( petition_t * p );

#endif
```

Recepción de peticiones

peticiones.c

11

Alejandro Calderón Mateos 

```
static long petid = 0;

void recibir_peticion (peticion_t * p)
{
    int delay;
    fprintf(stderr, "Recibiendo petición\n");
    p->id = petid++;

    /* Simulación de tiempo de E/S */
    delay = rand() % 5;
    sleep(delay);

    fprintf(stderr, "Petición %d recibida después de %d segundos\n",
            p->id, delay);
}
```

Recepción de peticiones

peticiones.c

12

Alejandro Calderón Mateos 

```
static long petid = 0;

void recibir_peticion (peticion_t * p)
{
    int delay;
    fprintf(stderr, "Recibiendo petición\n");
    p->id = petid++;
```

```
    /* Simulación de tiempo de E/S */
    delay = rand() % 5;
    sleep(delay);
```

Aquí iría alguna llamada bloqueante para recibir la petición (por ejemplo de la red)

```
    fprintf(stderr, "Petición %d recibida después de %d segundos\n",
              p->id, delay);
```

```
}
```

Envío de peticiones

peticiones.c

13

Alejandro Calderón Mateos 

```
void responder_peticion (peticion_t * p)
{
    int delay, i;
    double x;
    fprintf(stderr, "Enviando petición %d\n", p->id);

    /* Simulación de tiempo de procesamiento */
    for (i=0;i<1000000;i++) { x = 2.0 * i; }

    /* Simulación de tiempo de E/S */
    delay = rand() % 20;
    sleep(delay);

    fprintf(stderr, "Petición %d enviada después de %d segundos\n",
            p->id, delay);
}
```

Envío de peticiones

peticiones.c

14

Alejandro Calderón Mateos 

```
void responder_peticion (peticion_t * p)
{
    int delay, i;
    double x;
    fprintf(stderr, "Enviando petición %d\n", p->id);

    /* Simulación de tiempo de procesamiento */
    for (i=0;i<1000000;i++) { x = 2.0 * i; }

    /* Simulación de tiempo de E/S */
    delay = rand() % 20;
    sleep(delay);

    fprintf(stderr, "Petición %d enviada después de %d segundos\n",
            p->id, delay);
}
```

Aquí iría el
procesamiento
de la petición

Aquí iría alguna llamada
bloqueante para responder
a la petición

Solución inicial con medición

```
#include <stdio.h>
#include <time.h>
#include "peticion.h"

const int MAX_PETICIONES = 5;

int main ( int argc, char *argv[] )
{
    time_t t1,t2;
    double dif;
    peticion_t p;

    t1 = time(NULL);
    for (int i=0; i<MAX_PETICIONES; i++)
    {
        recibir_peticion(&p);
        responder_peticion(&p);
    }
    t2 = time(NULL);

    dif = difftime(t2,t1);
    printf("Tiempo: %lf\n", dif);

    return 0;
}
```

```
#include <stdio.h>
#include <time.h>
#include "peticion.h"

const int MAX_PETICIONES = 5;

int main ( int argc, char *argv[] )
{
    time_t t1,t2; double dif;
    peticion_t p;

    t1 = time(NULL);
    for (int i=0; i<MAX_PETICIONES; i++) {
        recibir_peticion(&p);
        responder_peticion(&p);
    }
    t2 = time(NULL);

    dif = difftime(t2,t1);
    printf("Tiempo: %lf\n", dif);

    return 0;
}
```

Ejecución de la solución inicial

```
$ time ./ej1
```

```
Recibiendo petición  
Petición 0 recibida después de 3 segundos  
Enviando petición 0  
Petición 0 enviada después de 6 segundos  
Recibiendo petición  
Petición 1 recibida después de 2 segundos  
Enviando petición 1  
Petición 1 enviada después de 15 segundos  
Recibiendo petición  
Petición 2 recibida después de 3 segundos  
Enviando petición 2  
Petición 2 enviada después de 15 segundos  
Recibiendo petición  
Petición 3 recibida después de 1 segundos  
Enviando petición 3  
Petición 3 enviada después de 12 segundos  
Recibiendo petición  
Petición 4 recibida después de 4 segundos  
Enviando petición 4  
Petición 4 enviada después de 1 segundos
```

```
Tiempo: 62.000000
```

```
real    1m2.053s  
user    0m0.047s  
sys     0m0.000s
```


Problemas

- Llegada de peticiones:
 - Si dos peticiones llegan al mismo tiempo ...
 - Si una petición llega mientras otra se está procesando ...

- Utilización de los recursos.
 - ¿Cómo será la utilización de la CPU?

Comparación

Normal	Procesos	Hilo x petición	<i>Pool</i> de hilos
62 seg.			

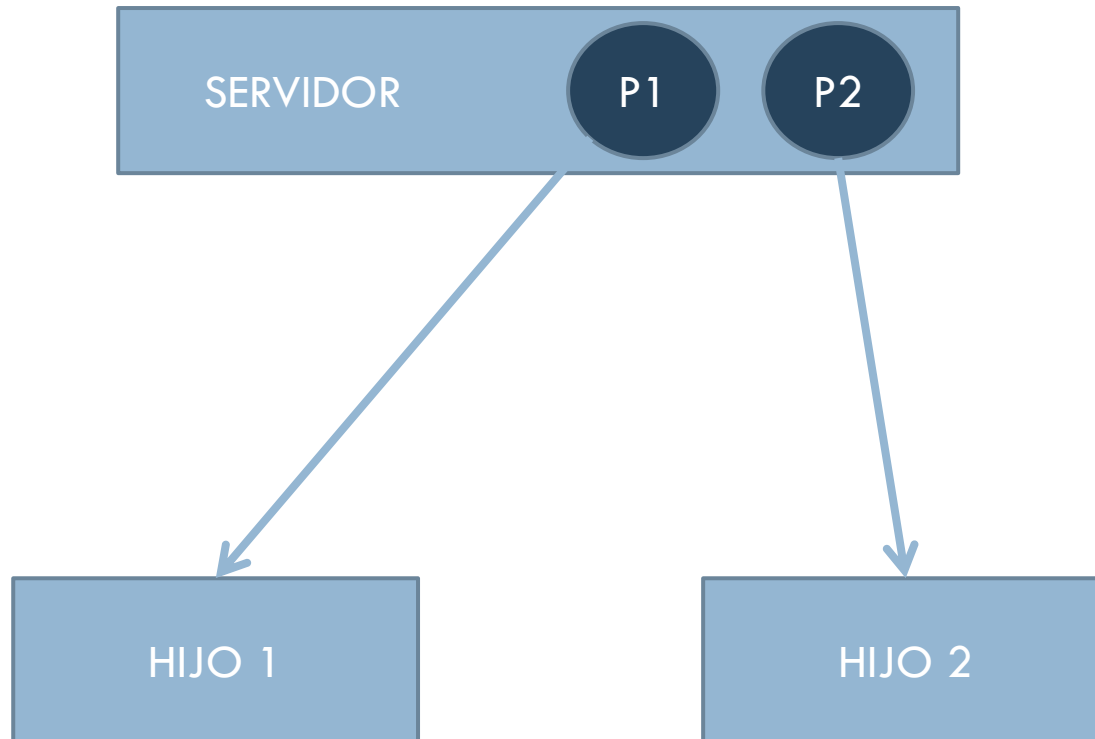
Contenidos

- Introducción (definiciones):
 - ▣ Procesos concurrentes.
 - ▣ Concurrencia, comunicación y sincronización
 - ▣ Sección crítica y condiciones de carrera
 - ▣ Exclusión mutua y sección crítica.
- Mecanismos de sincronización (I):
 - ▣ Primitivas básicas iniciales
 - ▣ Semáforos.
- Problemas clásicos de concurrencia (I):
 - ▣ Productor-consumidor
 - ▣ Lectores-escriitores
- Mecanismos de sincronización de threads (II)
 - ▣ Semáforos
 - Llamadas al sistema para semáforos.
 - Problemas clásicos de concurrencia.
 - ▣ Mutex y variables condición
 - Llamadas al sistema para mutex.
 - Problemas clásicos de concurrencia.
- Desarrollo de servidores concurrentes
 - ▣ Servidores de peticiones.
 - ▣ **Solución basada en procesos.**
 - ▣ Solución basada en hilos bajo demanda.
 - ▣ Solución basada en pool de hilos.

Primera idea

- Cada vez que llega una petición se crea un proceso hijo:
 - ▣ El **proceso hijo** realiza el **procesamiento** de la **petición**.
 - ▣ El **proceso padre** pasa a esperar la **siguiente petición**.

Servidor basado en procesos



Implementación (1 / 2)

```
#include <unistd.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/wait.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>
#include "peticion.h"

const int MAX_PETICIONES = 5;
void * receptor ( void ) ;

int main ( int argc, char *argv[] )
{
    time_t t1,t2;

    t1 = time(NULL);
    receptor();
    t2 = time(NULL);

    double dif = difftime(t2,t1);
    printf("Tiempo: %lf\n",dif);

    return 0;
}

void * receptor ( void )
{
    peticion_t p;
    int pid, hijos=0;

    for (int i=0; i<MAX_PETICIONES; i++)
    {
        recibir_peticion(&p);

        pid = fork();
        if (pid<0) { perror("Error en la creación del hijo");}
        if (pid==0) { responder_peticion(&p); exit(0); } /* HIJO
        */
        if (pid!=0) { hijos++; } /* PADRE
        */
    }

    fprintf(stderr, "Esperando fin de %d hijos\n", hijos);
    while (hijos > 0)
    {
        pid = waitpid(-1, NULL, WNOHANG);
        if (pid > 0) { hijos--; }
    } ;

    return NULL ;
}
```

```
#include <unistd.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/wait.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>
#include "peticion.h"
```

```
const int MAX_PETICIONES = 5;
void * receptor ( void ) ;
```

```
int main ( int argc, char *argv[] )
{
    time_t t1,t2;

    t1 = time(NULL);
    receptor();
    t2 = time(NULL);

    double dif = difftime(t2,t1);
    printf("Tiempo: %lf\n",dif);

    return 0;
}
```

Implementación (2/2)

23

Alejandro Calderón Mateos 

```
#include <unistd.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/wait.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>
#include "peticion.h"

const int MAX_PETICIONES = 5;
void * receptor ( void );

int main ( int argc, char *argv[] )
{
    time_t t1,t2;

    t1 = time(NULL);
    receptor();
    t2 = time(NULL);

    double dif = difftime(t2,t1);
    printf("Tiempo: %lf\n",dif);

    return 0;
}

void * receptor ( void )
{
    peticion_t p;
    int pid, hijos=0;

    for (int i=0; i<MAX_PETICIONES; i++)
    {
        recibir_peticion(&p);

        pid = fork();
        if (pid<0) { perror("Error en la creación del hij"); }
        if (pid==0) { responder_peticion(&p); exit(0); } /* HIJO */
        if (pid!=0) { hijos++; } /* PADRE */
    }

    fprintf(stderr, "Esperando fin de %d hijos\n", hijos);
    while (hijos > 0)
    {
        pid = waitpid(-1, NULL, WNOHANG);
        if (pid > 0) { hijos--; }
    } ;

    return NULL ;
}
```

```
void * receptor ( void )
{
    peticion_t p;
    int pid, hijos=0;

    for (int i=0; i<MAX_PETICIONES; i++)
    {
        recibir_peticion(&p);

        pid = fork();
        if (pid<0) { perror("Error al crear hijo"); }
        if (pid==0) { responder_peticion(&p); exit(0); }
        if (pid!=0) { hijos++; }
    }

    fprintf(stderr, "Esperando fin de %d hijos\n", hijos);
    while (hijos > 0)
    {
        pid = waitpid(-1, NULL, WNOHANG);
        if (pid > 0) { hijos--; }
    } ;

    return NULL ;
}
```

Ejecución

```
$ time ./ej2
```

```
Recibiendo petición
Petición 0 recibida después de 3 segundos
Recibiendo petición
Enviando petición 0
Petición 1 recibida después de 1 segundos
Recibiendo petición
Enviando petición 1
Petición 2 recibida después de 2 segundos
Recibiendo petición
Enviando petición 2
Petición 3 recibida después de 0 segundos
Recibiendo petición
Enviando petición 3
Petición 4 recibida después de 3 segundos
Esperando fin de 5 hijos
Petición 0 enviada después de 6 segundos
Enviando petición 4
Petición 3 enviada después de 13 segundos
Petición 1 enviada después de 17 segundos
Petición 2 enviada después de 15 segundos
Petición 4 enviada después de 15 segundos
```

```
Tiempo: 24.000000
```

```
real    0m24.012s
user    0m9.569s
sys     0m5.459s
```


Comparación

Normal	Procesos	Hilo x petición	<i>Pool</i> de hilos
62 seg.	24 seg.		

Problemas

- Hace falta arrancar un proceso (fork) por cada petición que llega.
- Hace falta terminar un proceso (exit) por cada petición que termina.
- Excesivo consumo de recursos del sistema.
- No hay control de admisión.
 - ▣ Problemas de calidad de servicio.

Soluciones con hilos

- Hilos bajo demanda.
 - ▣ Cada vez que se recibe una petición se crea un hilo.

- *Pool* de hilos.
 - ▣ Se tiene un número fijo de hilos creados.
 - ▣ Cada vez que se recibe una petición se busca un hilo libre ya creado para que atienda la petición.
 - Comunicación mediante una cola de peticiones.

Contenidos

- Introducción (definiciones):
 - ▣ Procesos concurrentes.
 - ▣ Concurrencia, comunicación y sincronización
 - ▣ Sección crítica y condiciones de carrera
 - ▣ Exclusión mutua y sección crítica.
- Mecanismos de sincronización (I):
 - ▣ Primitivas básicas iniciales
 - ▣ Semáforos.
- Problemas clásicos de concurrencia (I):
 - ▣ Productor-consumidor
 - ▣ Lectores-escriptores
- Mecanismos de sincronización de threads (II)
 - ▣ Semáforos
 - Llamadas al sistema para semáforos.
 - Problemas clásicos de concurrencia.
 - ▣ Mutex y variables condición
 - Llamadas al sistema para mutex.
 - Problemas clásicos de concurrencia.

- Desarrollo de servidores concurrentes
 - ▣ Servidores de peticiones.
 - ▣ Solución basada en procesos.
 - ▣ **Solución basada en hilos bajo demanda.**
 - ▣ Solución basada en pool de hilos.

Hilos bajo demanda

- Se tiene un hilo receptor encargado de recibir las peticiones.
- Cada vez que llega una petición se crea un hilo y se le pasa **una copia** la petición al hilo recién creado.
 - Tiene que ser una copia de la petición porque la petición original se podría modificar.

Implementación (1 / 3 main)

30

Alejandro Calderón Mateos 

```
#include "peticion.h"
#include <stdio.h>
#include <time.h>
#include <pthread.h>
#include <semaphore.h>

sem_t snhijos;
void * receptor (void * param);

int main()
{
    time_t t1, t2;
    double dif;
    pthread_t thr;

    t1 = time(NULL);
    sem_init(&snhijos, 0, 0);
    pthread_create(&thr, NULL, receptor, NULL);
    pthread_join(thr, NULL);
    sem_destroy(&snhijos);
    t2 = time(NULL);

    dif = difftime(t2,t1);
    printf("Tiempo: %lf\n",dif);

    return 0;
}

void * servicio (void * p)
{
    peticion_t pet;

    copia_peticion(&pet, (peticion_t*)p);
    fprintf(stderr, "Iniciando servicio\n");
    responder_peticion(&pet);
    sem_post(&snhijos);
    fprintf(stderr, "Terminando servicio\n");
    pthread_exit(0); return NULL;
}

void * receptor (void * param)
{
    const int MAX PETICIONES = 5; int nservicio = 0; int i;
    peticion_t p; pthread_t th_hijo;

    for (i=0;i<MAX PETICIONES;i++) {
        recibir_peticion(&p); nservicio++;
        pthread_create(&th_hijo, NULL, servicio, &p);
    }

    for (i=0;i<nservicio;i++) {
        fprintf(stderr, "Haciendo wait\n");
        sem_wait(&snhijos);
        fprintf(stderr, "Saliendo de wait\n");
    }

    pthread_exit(0); return NULL;
}
```

```
#include <stdio.h>
#include <time.h>
#include <string.h>
#include <pthread.h>
#include <semaphore.h>
#include "peticion.h"
```

sem_t snhijos;

```
int main ( int argc, char *argv[] )
{
    time_t t1, t2;
    double dif;
    pthread_t thr;

    t1 = time(NULL);
    sem_init(&snhijos, 0, 0);
    pthread_create(&thr, NULL, receptor, NULL);
    pthread_join(thr, NULL);
    sem_destroy(&snhijos);
    t2 = time(NULL);
    dif = difftime(t2,t1);
    printf("Tiempo: %lf\n",dif);
    return 0;
}
```

Implementación (2/3 receptor)

31

Alejandro Calderón Mateos 

```
#include "peticion.h"
#include <stdio.h>
#include <time.h>
#include <pthread.h>
#include <semaphore.h>

sem_t snhijos;
void * receptor (void * param);

int main()
{
    time_t t1, t2;
    double dif;
    pthread_t thr;

    t1 = time(NULL);
    sem_init(&snhijos, 0, 0);
    pthread_create(&thr, NULL, receptor, NULL);
    pthread_join(thr, NULL);
    sem_destroy(&snhijos);
    t2 = time(NULL);

    dif = difftime(t2, t1);
    printf("Tiempo: %lf\n", dif);

    return 0;
}

void * servicio (void * p)
{
    peticion_t pet;

    copia_peticion(&pet, (peticion_t*)p);
    fprintf(stderr, "Iniciando servicio\n");
    responder_peticion(&pet);
    sem_post(&snhijos);
    fprintf(stderr, "Terminando servicio\n");
    pthread_exit(0); return NULL;
}

void * receptor (void * param)
{
    const int MAX_PETICIONES = 5; int nservicio = 0; int i;
    peticion_t p; pthread_t th_hijo;

    for (i=0; i<MAX_PETICIONES; i++) {
        recibir_peticion(&p); nservicio++;
        pthread_create(&th_hijo, NULL, servicio, &p);
    }

    for (i=0; i<nservicio; i++) {
        fprintf(stderr, "Haciendo wait\n");
        sem_wait(&snhijos);
        fprintf(stderr, "Saliendo de wait\n");
    }

    pthread_exit(0); return NULL;
}
```

```
const int MAX_PETICIONES = 5;

void * receptor ( void * param )
{
    int nservicio = 0;
    peticion_t p;
    pthread_t th_hijo;

    for (int i=0; i<MAX_PETICIONES; i++) {
        recibir_peticion(&p);
        nservicio++;
        pthread_create(&th_hijo, NULL, servicio, &p);
    }

    for (int i=0; i<nservicio; i++) {
        fprintf(stderr, "Haciendo wait\n");
        sem_wait(&snhijos);
        fprintf(stderr, "Saliendo de wait\n");
    }

    pthread_exit(0);
    return NULL;
}
```

Implementación (3/3 servicio)

32

Alejandro Calderón Mateos 

```
#include "peticion.h"
#include <stdio.h>
#include <time.h>
#include <pthread.h>
#include <semaphore.h>

sem_t snhijos;
void * receptor (void * param);

int main()
{
    time_t t1, t2;
    double dif;
    pthread_t thr;

    t1 = time(NULL);
    sem_init(&snhijos, 0, 0);
    pthread_create(&thr, NULL, receptor, NULL);
    pthread_join(thr, NULL);
    sem_destroy(&snhijos);
    t2 = time(NULL);

    dif = difftime(t2,t1);
    printf("Tiempo: %lf\n",dif);

    return 0;
}

void * servicio (void * p)
{
    peticion_t pet;

    copia_peticion(&pet, (peticion_t *)p);
    fprintf(stderr, "Iniciando servicio\n");
    responder_peticion(&pet);
    sem_post(&snhijos);
    fprintf(stderr, "Terminando servicio\n");
    pthread_exit(0); return NULL;
}

void * receptor (void * param)
{
    const int MAX_PETICIONES = 5; int nservicio = 0; int i;
    peticion_t p; pthread_t th_hijo;

    for (i=0;i<MAX_PETICIONES;i++) {
        recibir_peticion(&p); nservicio++;
        pthread_create(&th_hijo, NULL, servicio, &p);
    }

    for (i=0;i<nservicio;i++) {
        fprintf(stderr, "Haciendo wait\n");
        sem_wait(&snhijos);
        fprintf(stderr, "Saliendo de wait\n");
    }

    pthread_exit(0); return NULL;
}
```

```
void * servicio ( void * p )
{
    peticion_t pet;

    memmove(&pet,(peticion_t *)p, sizeof(pet));
    fprintf(stderr, "Iniciando servicio\n");
    responder_peticion(&pet);
    sem_post(&snhijos);

    fprintf(stderr, "Terminando servicio\n");
    pthread_exit(0);
    return NULL;
}
```


Reflexión

□ ¿Puede darse una condición de carrera?

```
void * receptor ( void * param )
{
    const int MAX_PETICIONES = 5;
    int nservicio = 0;
    peticion_t p;
    pthread_t th_hijo;

    for (int i=0; i<MAX_PETICIONES; i++) {
        recibir_peticion(&p);
        nservicio++;
        pthread_create(&th_hijo, NULL, servicio, &p);
    }

    for (int i=0; i<nservicio; i++) {
        fprintf(stderr, "Haciendo wait\n");
        sem_wait(&snhijos);
        fprintf(stderr, "Saliendo de wait\n");
    }

    pthread_exit(0);
    return NULL;
}
```

```
void * servicio ( void * p )
{
    peticion_t pet;

    memmove(&pet, (peticion_t *)p, sizeof(pet));
    fprintf(stderr, "Iniciando servicio\n");
    responder_peticion(&pet);
    sem_post(&snhijos);

    fprintf(stderr, "Terminando servicio\n");
    pthread_exit(0);
    return NULL;
}
```

Ejecución

```
$ time ./ej3
Recibiendo petición
Petición 0 recibida después de 3 segundos
Recibiendo petición
Iniciando servicio
Enviando petición 0
Petición 1 recibida después de 1 segundos
Recibiendo petición
Iniciando servicio
Enviando petición 1
Petición 2 recibida después de 0 segundos
Recibiendo petición
Iniciando servicio
Enviando petición 3
Petición 3 recibida después de 3 segundos
Recibiendo petición
Iniciando servicio
Enviando petición 4
Petición 4 recibida después de 2 segundos
Haciendo wait
...
Saliendo de wait
Haciendo wait
Petición 1 enviada después de 15 segundos
Terminando servicio
Saliendo de wait
Haciendo wait
Petición 0 enviada después de 17 segundos
Terminando servicio
Saliendo de wait
Tiempo: 20.000000

real    0m20.012s
user    0m0.033s
sys     0m0.000s
```

Comparación

Normal	Procesos	Hilo x petición	<i>Pool</i> de hilos
62 seg.	24 seg.	20 seg.	

Problema

- La creación y terminación de hilos tiene un coste menor que la de procesos, pero sigue siendo un coste.
- No hay control de admisión:
 - ¿Que pasa si llegan muchas peticiones o las peticiones recibidas no terminan?

Reflexión

- ¿Puede darse una condición de carrera?



Reflexión

□ ¿Puede darse una condición de carrera?

```
void * receptor (void * param)
```

```
peticion_t p; 
```

```
recibir_petición(&p);  
nservicio++;  
pthread_create(&hijo, NULL, servicio, &p);
```



```
recibir_petición(&p);  
nservicio++;  
pthread_create(&hijo, NULL, servicio, &p);
```

```
...
```

Reflexión

□ ¿Puede darse una condición de carrera?

```
void * receptor (void * param)
```

```
peticion_t p;    
recibir_peticon(&p);  
nservicio++;  
pthread_create(&hijo, NULL, servicio, &p);  
  
recibir_peticon(&p);  
nservicio++;  
pthread_create(&hijo, NULL, servicio, &p);  
...
```

Reflexión

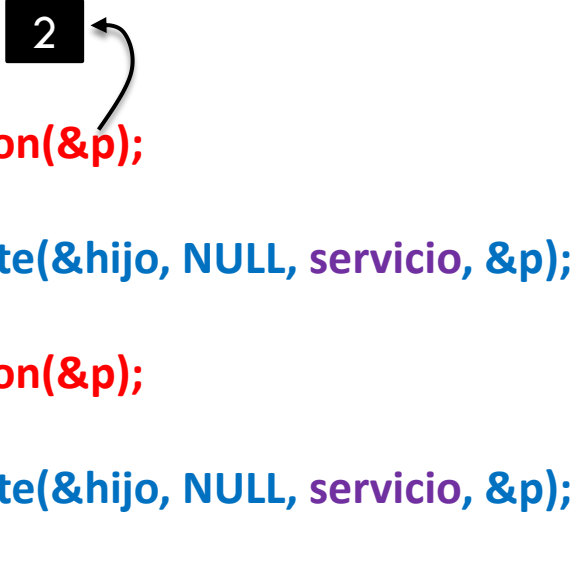
40

Alejandro Calderón Mateos 

□ ¿Puede darse una condición de carrera?

```
void * receptor (void * param)
```

```
peticion_t p; 2  
recibir_petición(&p);  
nservicio++;  
pthread_create(&hijo, NULL, servicio, &p);  
  
recibir_petición(&p);  
nservicio++;  
pthread_create(&hijo, NULL, servicio, &p);  
...
```



Reflexión

41

Alejandro Calderón Mateos 

□ ¿Puede darse una condición de carrera?

```
void * receptor (void * param)
```

```
peticion_t p; 2
```

```
recibir_peticon(&p);  
nservicio++;  
pthread_create(&hijo, NULL, servicio, &p);
```

```
recibir_peticon(&p);  
nservicio++;  
pthread_create(&hijo, NULL, servicio, &p);
```

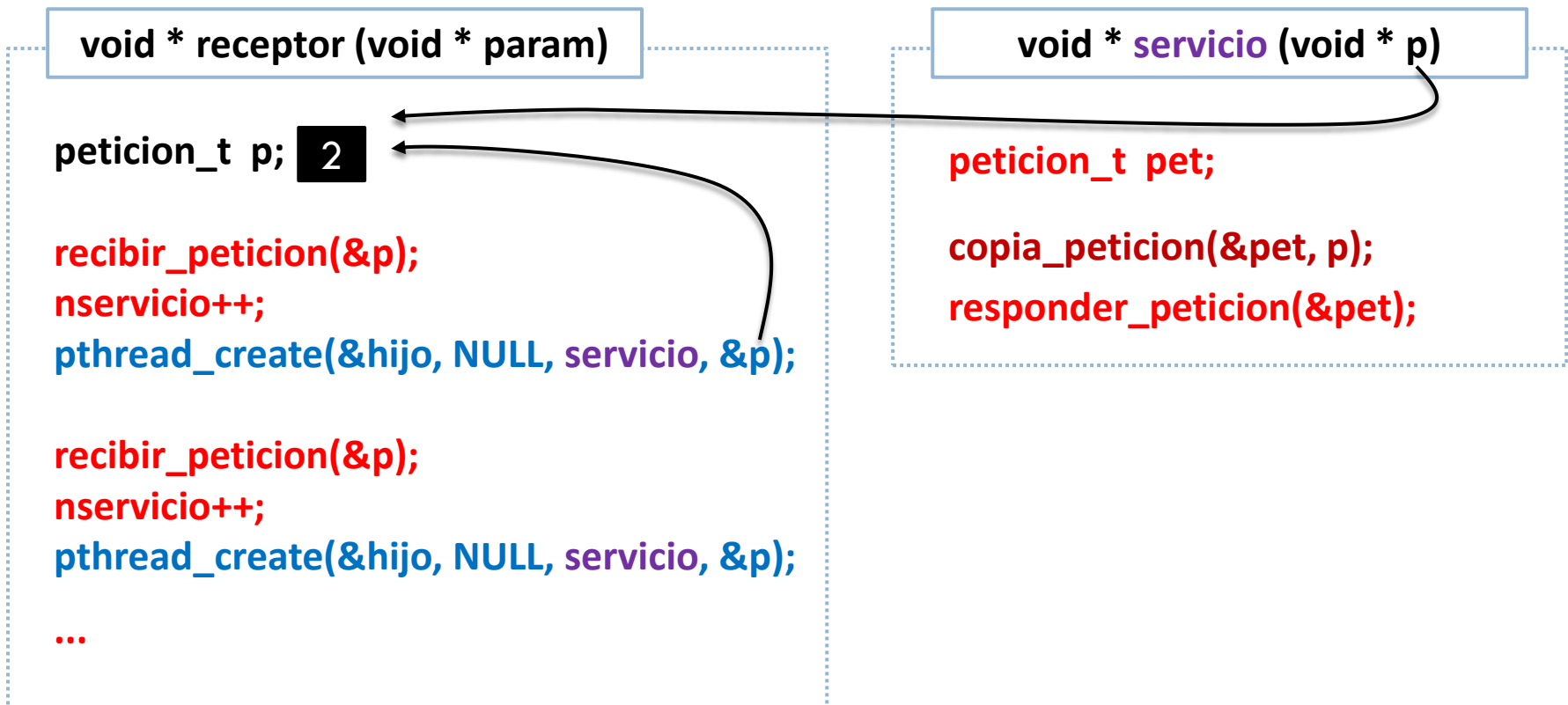
```
...
```

Reflexión

42

Alejandro Calderón Mateos 

□ ¿Puede darse una condición de carrera?

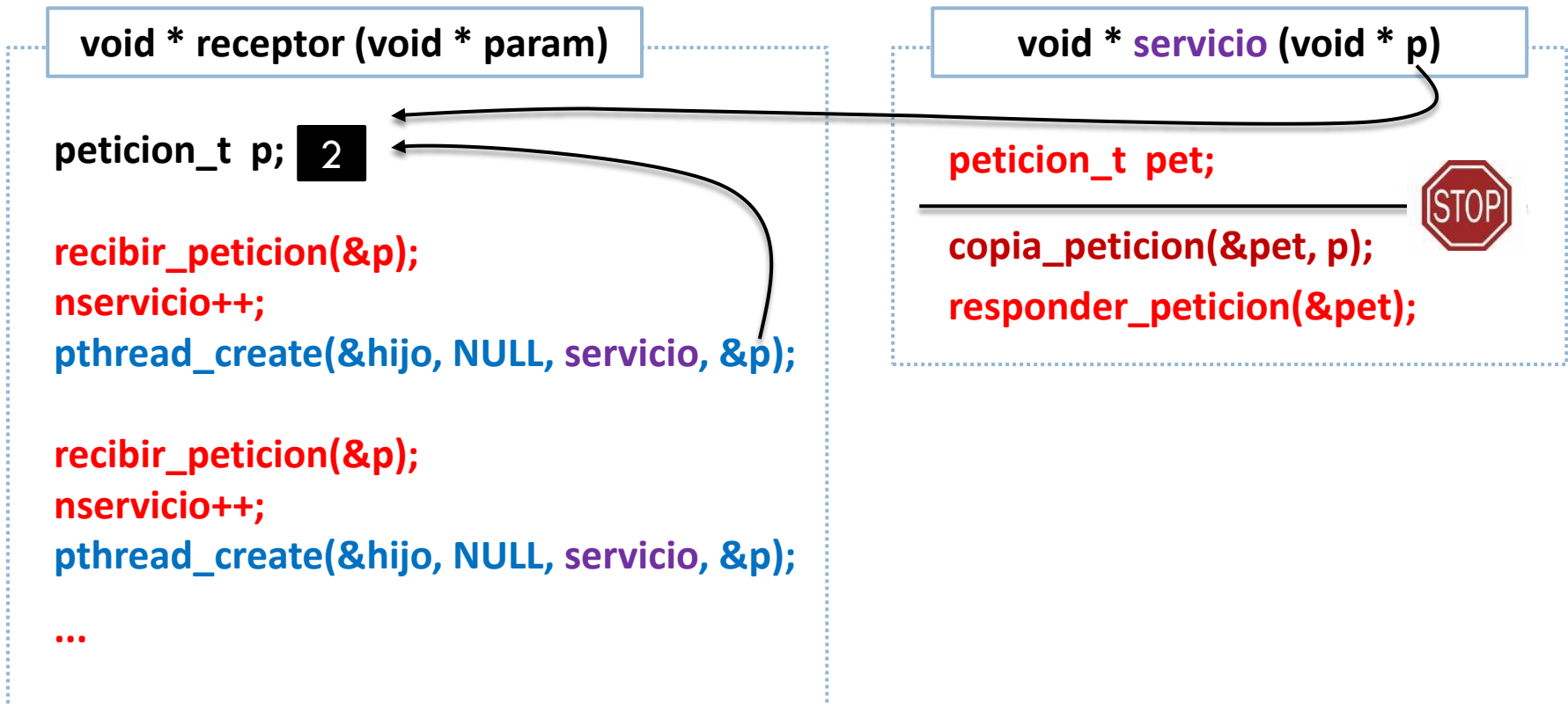


Reflexión

43

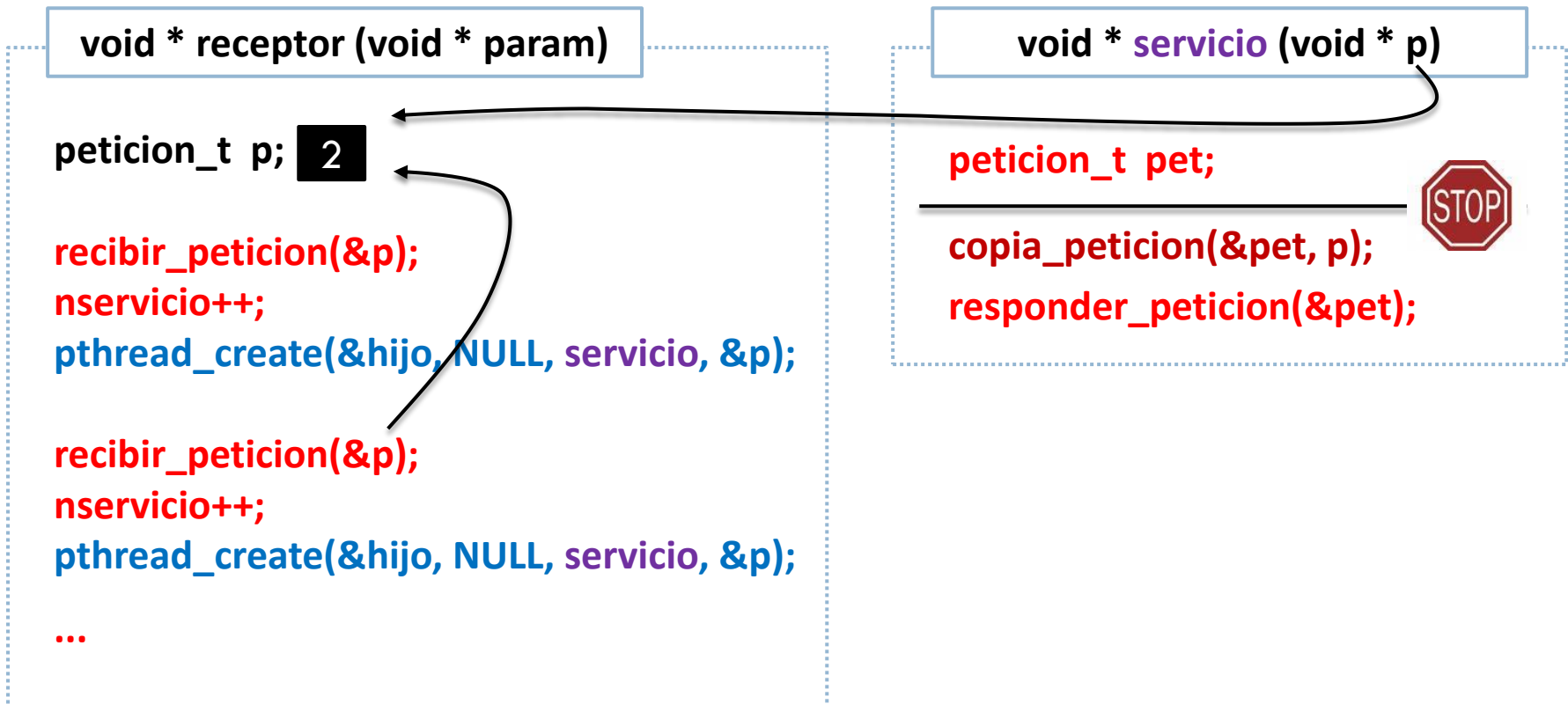
Alejandro Calderón Mateos 

□ ¿Puede darse una condición de carrera?



Reflexión

□ ¿Puede darse una condición de carrera?

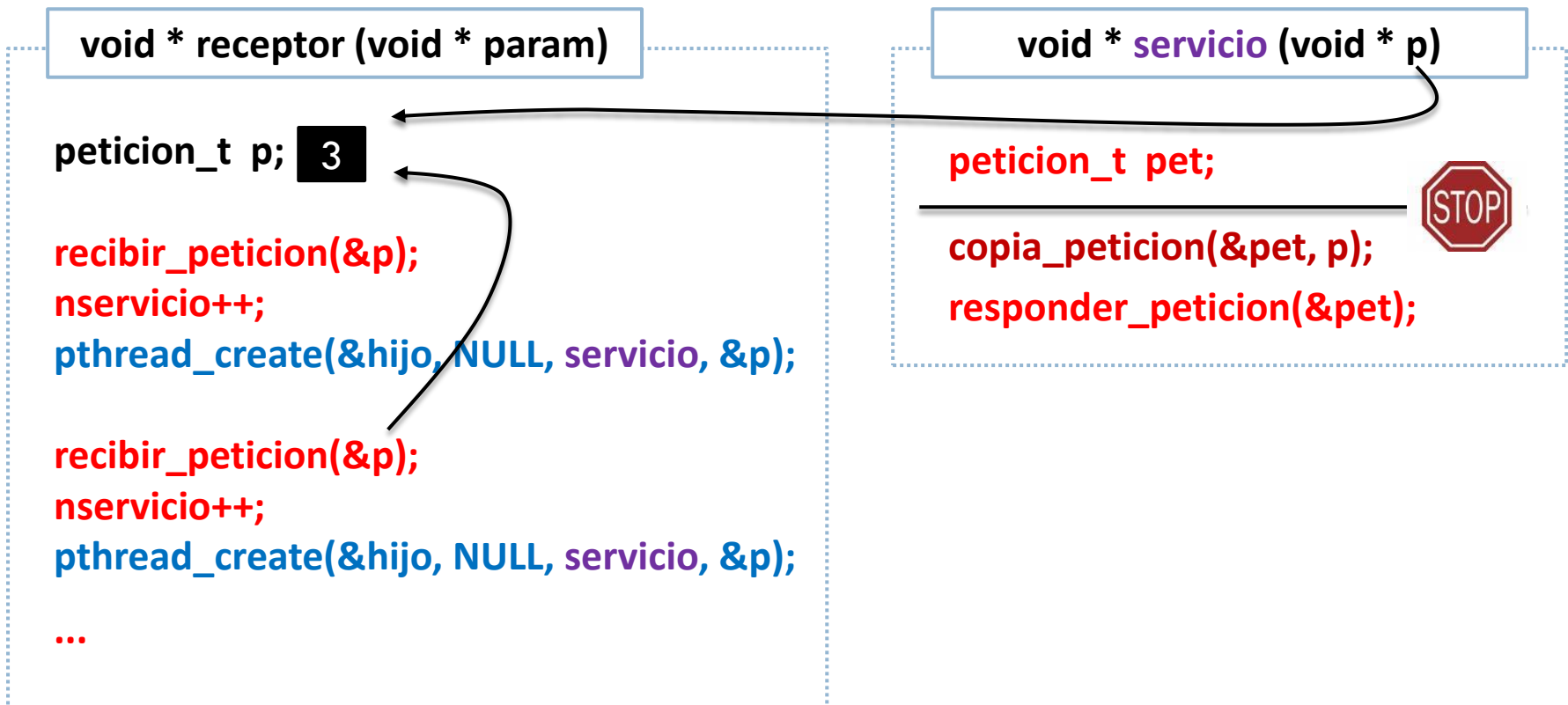


Reflexión

45

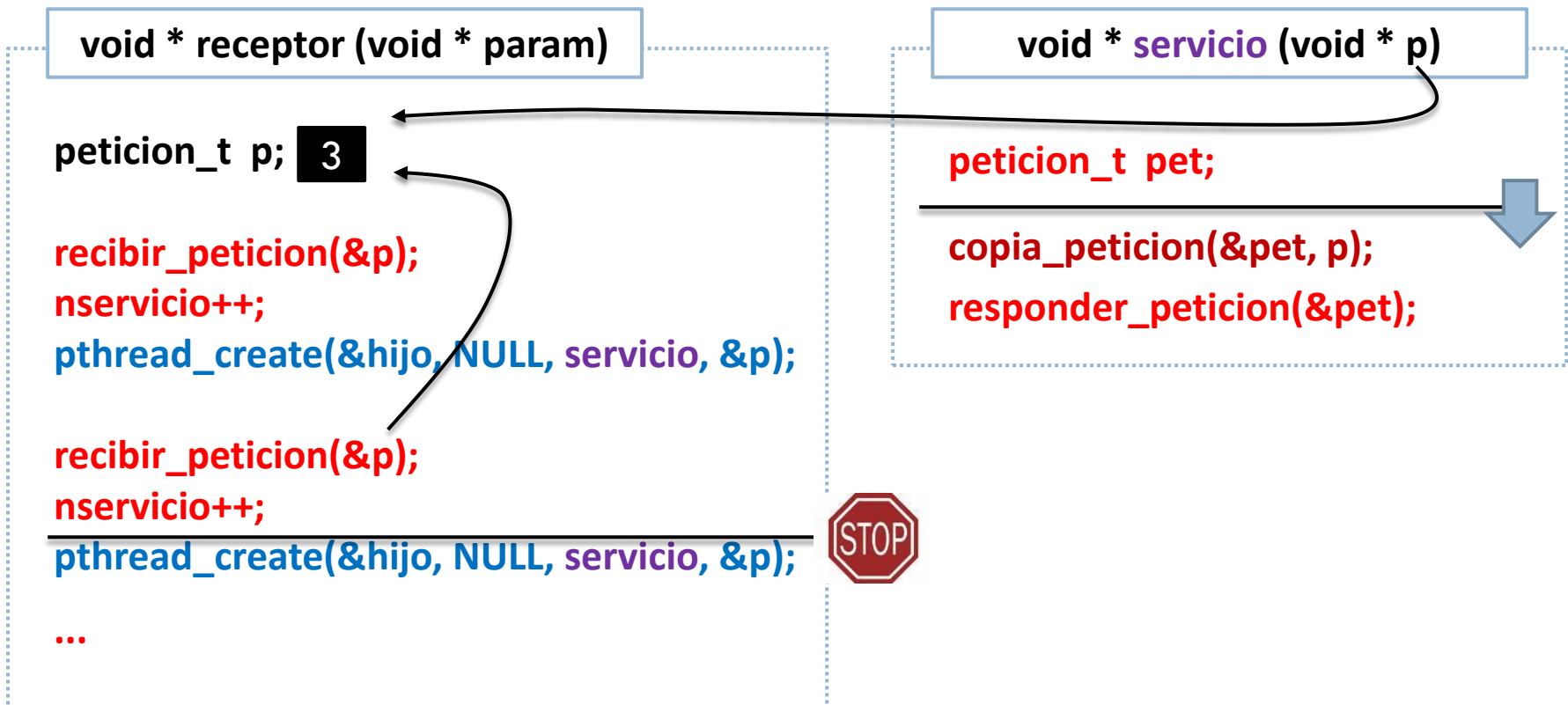
Alejandro Calderón Mateos 

□ ¿Puede darse una condición de carrera?



Reflexión

□ ¿Puede darse una condición de carrera?



Contenidos

- Introducción (definiciones):
 - ▣ Procesos concurrentes.
 - ▣ Concurrencia, comunicación y sincronización
 - ▣ Sección crítica y condiciones de carrera
 - ▣ Exclusión mutua y sección crítica.
- Mecanismos de sincronización (I):
 - ▣ Primitivas básicas iniciales
 - ▣ Semáforos.
- Problemas clásicos de concurrencia (I):
 - ▣ Productor-consumidor
 - ▣ Lectores-escriptores
- Mecanismos de sincronización de threads (II)
 - ▣ Semáforos
 - Llamadas al sistema para semáforos.
 - Problemas clásicos de concurrencia.
 - ▣ Mutex y variables condición
 - Llamadas al sistema para mutex.
 - Problemas clásicos de concurrencia.
- **Desarrollo de servidores concurrentes**
 - ▣ **Servidores de peticiones.**
 - ▣ **Solución basada en procesos.**
 - ▣ **Solución basada en hilos bajo demanda.**
 - ▣ **Solución basada en pool de hilos.**

Pool de threads

- Un *pool* de hilos es un conjunto de hilos que se tiene creados desde el principio para ejecutar un servicio:
 - ▣ Cada vez que llega una petición se pone en una cola de peticiones pendientes.
 - ▣ Todos los hilos esperan a que haya alguna petición en la cola y la retiran para procesarla.

Implementación: main (1 / 3)

49

Alejandro Calderón Mateos



```
#include "peticion.h"
#include <stdio.h>
#include <time.h>
#include <pthread.h>
#include <semaphore.h>

#define MAX_BUFFER 128
peticion_t buffer[MAX_BUFFER];
int n_elementos;
int pos_servicio = 0;
pthread_mutex_t mutex;
pthread_cond_t no_lleno;
pthread_cond_t no_vacio;
pthread_mutex_t mfin;
int fin=0;

int main()
{
    time_t t1, t2;
    double dif;
    pthread_t thr;
    pthread_t thr1(MAX_SERVICIO);
    const int MAX_SERVICIO = 5; int i;
    t1 = time(NULL);

    pthread_mutex_init(&mutex, NULL);
    pthread_cond_init(&no_lleno, NULL);
    pthread_cond_init(&no_vacio, NULL);
    pthread_mutex_init(&mfin, NULL);

    pthread_create(&thr, NULL, receptor, NULL);
    for (i=0; i<MAX_SERVICIO; i++) {
        pthread_create(&thr1[i], NULL, servicio, NULL);
    }

    pthread_join(thr, NULL);
    for (i=0; i<MAX_SERVICIO; i++) {
        pthread_join(thr1[i], NULL);
    }

    pthread_mutex_destroy(&mutex);
    pthread_cond_destroy(&no_lleno);
    pthread_cond_destroy(&no_vacio);
    pthread_mutex_destroy(&mfin);

    t2 = time(NULL);
    dif = difftime(t2, t1);
    printf("Tiempo: %f\n", dif);

    return 0;
}

void * receptor ( void * param )
{
    const int MAX_PETICIONES = 5;
    peticion_t p;
    int i, pdesa;
    for (i=0; i<MAX_PETICIONES; i++) {
        recibir_peticon(ap);
        pthread_mutex_lock(&mutex);
        while (n_elementos == MAX_BUFFER)
            pthread_cond_wait(&no_lleno, &mutex);
        buffer[pos] = p;
        pos = (pos+1) % MAX_BUFFER;
        n_elementos++;
        pthread_cond_signal(&no_vacio);
        pthread_mutex_unlock(&mutex);

        printf(stderr, "Finalizando receptor\n");
        pthread_mutex_lock(&mfin);
        if (i==0)
            pthread_cond_wait(&no_vacio, &mutex);
        pthread_mutex_unlock(&mfin);
        pthread_cond_broadcast(&no_vacio);
        pthread_mutex_unlock(&mutex);

        printf(stderr, "Finalizado receptor\n");
        pthread_exit(0);
        return NULL;
    }
}

void * servicio (void * param)
{
    peticion_t p;
    for (i=0; i<MAX_SERVICIO; i++) {
        pthread_mutex_lock(&mutex);
        while (n_elementos == 0) {
            pthread_cond_wait(&no_vacio, &mutex);
            if (i==0)
                pthread_cond_wait(&no_vacio, &mutex);
            pthread_mutex_unlock(&mutex);
        }
        p = buffer[pos_servicio];
        pos_servicio = (pos_servicio + 1) % MAX_BUFFER;
        n_elementos--;
        pthread_cond_signal(&no_lleno);
        pthread_mutex_unlock(&mutex);
        responder_peticon(ap);
    }

    pthread_exit(0);
    return NULL;
}
```

```
#include "peticion.h"
#include <stdio.h>
#include <time.h>
#include <pthread.h>
#include <semaphore.h>
```

```
#define MAX_BUFFER 128
peticion_t buffer[MAX_BUFFER];
```

```
int n_elementos;
int pos_servicio = 0;
pthread_mutex_t mutex;
pthread_cond_t no_lleno;
pthread_cond_t no_vacio;
```

```
pthread_mutex_t mfin;
int fin=0;
```

```
void * receptor (void * param) ;
void * servicio (void * param) ;
```

Implementación: main (2/3)

50

Alejandro Calderón Mateos



```
#include "petition.h"
#include <stdio.h>
#include <time.h>
#include <pthread.h>
#include <semaphore.h>

#define MAX_BUFFER 128
#define MAX_SERVICIO 5
#define MAX_PETICIONES 5

int p_elementos;
int pos_servicio = 0;
pthread_mutex_t mutex;
pthread_cond_t no_lleno;
pthread_cond_t no_vacio;
pthread_mutex_t mfin;
int rfin;

int main()
{
    time_t t1, t2;
    double dif;
    pthread_t thr;
    pthread_t ths[MAX_SERVICIO];
    const int MAX_SERVICIO = 5; int i;

    t1 = time(NULL);

    pthread_mutex_init(&mutex, NULL);
    pthread_cond_init(&no_lleno, NULL);
    pthread_cond_init(&no_vacio, NULL);
    pthread_mutex_init(&mfin, NULL);

    pthread_create(&thr, NULL, receptor, NULL);
    for (i=0; i<MAX_SERVICIO; i++)
        pthread_create(&ths[i], NULL, servicio, NULL);

    pthread_join(thr, NULL);
    for (i=0; i<MAX_SERVICIO; i++) {
        pthread_join(ths[i], NULL);
    }

    pthread_mutex_destroy(&mutex);
    pthread_cond_destroy(&no_lleno);
    pthread_cond_destroy(&no_vacio);
    pthread_mutex_destroy(&mfin);

    t2 = time(NULL);
    dif = difftime(t2, t1);
    printf("Tiempo: %lf\n", dif);

    return 0;
}

void * receptor ( void * param )
{
    const int MAX_PETICIONES = 5;
    petition_t p;
    int i, pos;

    for (i=0; i<MAX_PETICIONES; i++)
    {
        recibir_petition(&p);
        pthread_mutex_lock(&mutex);
        while (!p.elementos == MAX_BUFFER)
            pthread_cond_wait(&no_lleno, &mutex);
        pos = (pos+1) % MAX_BUFFER;
        p.elementos++;
        pthread_cond_signal(&no_vacio);
        pthread_mutex_unlock(&mutex);

        printf(stderr, "Finalizando receptor\n");
        pthread_mutex_lock(&mfin);
        rfin++;
        pthread_mutex_unlock(&mfin);
        pthread_mutex_lock(&mutex);
        pthread_cond_broadcast(&no_vacio);
        pthread_mutex_unlock(&mutex);

        printf(stderr, "Finalizado receptor\n");
        pthread_exit(0);
        return NULL;
    }
}

/* receptor */
void * servicio (void * param)
{
    petition_t p;

    for (i=0; i<MAX_PETICIONES; i++)
    {
        pthread_mutex_lock(&mutex);
        while (!p.elementos == 0) {
            if (i==0)
                printf(stderr, "Finalizando servicio\n");
            pthread_mutex_unlock(&mutex);
            pthread_exit(0);
        }
        pthread_cond_wait(&no_vacio, &mutex);
        // While
        printf(stderr, "Sirviendo posicion %d\n",
            pos_servicio);
        p = buffer[pos_servicio];
        pos_servicio = (pos_servicio + 1) % MAX_BUFFER;
        p.elementos--;
        pthread_cond_signal(&no_lleno);
        pthread_mutex_unlock(&mutex);
        responder_petition(&p);
    }

    pthread_exit(0);
    return NULL;
}
```

```
int main()
```

```
{
```

```
    time_t t1, t2;
```

```
    double dif;
```

```
    pthread_t thr;
```

```
    pthread_t ths[MAX_SERVICIO];
```

```
    const int MAX_SERVICIO = 5; int i;
```

```
    t1 = time(NULL);
```

```
    pthread_mutex_init(&mutex, NULL);
```

```
    pthread_cond_init(&no_lleno, NULL);
```

```
    pthread_cond_init(&no_vacio, NULL);
```

```
    pthread_mutex_init(&mfin, NULL);
```

```
    pthread_create(&thr, NULL, receptor, NULL);
```

```
    for (i=0; i<MAX_SERVICIO; i++) {
```

```
        pthread_create(&ths[i], NULL, servicio, NULL);
```

```
    }
```

Implementación: main (3/3)

51

Alejandro Calderón Mateos



```
#include "peticion.h"
#include <stdio.h>
#include <time.h>
#include <pthread.h>
#include <semaphore.h>

#define MAX_BUFFER 128
#define MAX_SERVICIO 5
#define MAX_PETICIONES 5
#define MAX_SERVICIO 5

int p_elementos;
int pos_servicio = 0;
pthread_mutex_t mutex;
pthread_cond_t no_lleno;
pthread_cond_t no_vacio;
pthread_mutex_t mfin;
int t1=0;

int main()
{
    time_t t1, t2;
    double dif;
    pthread_t thr;
    pthread_t ths[MAX_SERVICIO];
    const int MAX_SERVICIO = 5; int i;

    t1 = time(NULL);

    pthread_mutex_init(&mutex, NULL);
    pthread_cond_init(&no_lleno, NULL);
    pthread_cond_init(&no_vacio, NULL);
    pthread_mutex_init(&mfin, NULL);

    pthread_create(&thr, NULL, receptor, NULL);
    for (i=0; i<MAX_SERVICIO; i++)
        pthread_create(&ths[i], NULL, servicio, NULL);

    pthread_join(thr, NULL);
    for (i=0; i<MAX_SERVICIO; i++) {
        pthread_join(ths[i], NULL);
    }

    pthread_mutex_destroy(&mutex);
    pthread_cond_destroy(&no_lleno);
    pthread_cond_destroy(&no_vacio);
    pthread_mutex_destroy(&mfin);

    t2 = time(NULL);
    dif = difftime(t2, t1);
    printf("Tiempo: %lf\n", dif);

    return 0;
}

void * receptor ( void * param )
{
    const int MAX_PETICIONES = 5;
    peticion_t p;
    int i, pdes;

    for (i=0; i<MAX_PETICIONES; i++)
    {
        recibir_peticon(ap);
        pthread_mutex_lock(&mutex);
        while (p_elementos == MAX_BUFFER)
            pthread_cond_wait(&no_lleno, &mutex);
        buffer[pos] = p;
        pos = (pos+1) % MAX_BUFFER;
        p_elementos++;
        pthread_cond_signal(&no_vacio);
        pthread_mutex_unlock(&mutex);

        printf(stderr, "Finalizando receptor\n");
        pthread_mutex_lock(&mfin);
        time();
        pthread_mutex_unlock(&mfin);
        pthread_mutex_lock(&mutex);
        pthread_cond_broadcast(&no_vacio);
        pthread_mutex_unlock(&mutex);

        printf(stderr, "Finalizado receptor\n");
        pthread_exit(0);
        return NULL;
    }
}

void * servicio (void * param)
{
    peticion_t p;

    for (i=0; i<MAX_SERVICIO; i++)
    {
        pthread_mutex_lock(&mutex);
        while (p_elementos == 0) {
            if (i==0)
                printf(stderr, "Finalizando servicio\n");
            pthread_mutex_unlock(&mutex);
            pthread_exit(0);
        }
        pthread_cond_wait(&no_vacio, &mutex);
        // While
        printf(stderr, "Sirviendo posicion %d\n",
            pos_servicio);
        p = buffer[pos_servicio];
        pos_servicio = (pos_servicio + 1) % MAX_BUFFER;
        p_elementos--;
        pthread_cond_signal(&no_lleno);
        pthread_mutex_unlock(&mutex);
        responder_peticon(ap);
    }

    pthread_exit(0);
    return NULL;
}
```

```
pthread_join(thr, NULL);
for (i=0; i<MAX_SERVICIO; i++) {
    pthread_join(ths[i], NULL);
}
```

```
pthread_mutex_destroy(&mutex);
pthread_cond_destroy(&no_lleno);
pthread_cond_destroy(&no_vacio);
pthread_mutex_destroy(&mfin);
```

```
t2 = time(NULL);
```

```
dif = difftime(t2, t1);
printf("Tiempo: %lf\n", dif);
```

```
return 0;
```

```
}
```

52

```

void * receptor ( void * param )
{
    const int MAX_PETICIONES = 5;
    petition_t p;
    int i, pos=0;

    for (i=0;i<MAX_PETICIONES;i++)
        recibir_peticion(&p);

        pthread_mutex_lock(&mutex);
        while (n_elementos == MAX_BUFFER)
            pthread_cond_wait(&n_lleeno, &mutex);

        buffer[pos] = p;
        pos = (pos+1) % MAX_BUFFER;
        n_elementos++;
        pthread_cond_signal(&n_vacio);
        pthread_mutex_unlock(&mutex);
    }

    fprintf(stderr, "Finalizando receptor\n");
    pthread_mutex_lock(&fin);
    fin=1;
    pthread_mutex_unlock(&fin);

    pthread_mutex_lock(&fin);
    pthread_mutex_unlock(&fin);
    pthread_cond_broadcast(&n_vacio);
    pthread_mutex_unlock(&fin);

    fprintf(stderr, "Finalizado receptor\n");
    pthread_exit(0);
    return NULL;
}

/* receptor */

void * servicio (void * param)
{
    petition_t p;

    for (i=0; i<MAX_PETICIONES; i++)
    {
        pthread_mutex_lock(&mutex);
        while (i!=n_elementos || i!=0)
        {
            pthread_cond_wait("Finalizando servicio");
        }
        pthread_mutex_unlock(&mutex);
        pthread_cond_wait(&n_vacio, &mutex);
    }
    // } while

    fprintf(stderr, "Servirando posicion %d\n",
        p.servicio);
    p = buffer[pos.servicio];
    p.servicio = (pos.servicio + 1) % MAX_BUFFER;
    n_elementos--;
    pthread_cond_signal(&n_lleeno);
    pthread_mutex_unlock(&mutex);
    responder_peticion(&p);
}

pthread_exit(0);
return NULL;
}

```

```

    }
    fprintf(stderr, "Finalizando receptor\n");
    pthread_mutex_lock(&mfin);
    fin=1;
    pthread_mutex_unlock(&mfin);
    pthread_mutex_lock(&mutex);
    pthread_cond_broadcast(&no_vacio);
    pthread_mutex_unlock(&mutex);
    fprintf(stderr, "Finalizado receptor\n");
    pthread_exit(0);
    return NULL;
}

```

Implementación: servicio

53

Alejandro Calderón Mateos



```
#include "peticion.h"
#include <stdio.h>
#include <time.h>
#include <pthread.h>
#include <semaphore.h>

#define MAX_BUFFER 128
#define MAX_SERVICIO 5
#define MAX_PETICIONES 5

peticion_t *buffer[MAX_BUFFER];
int n_elementos = 0;
pthread_mutex_t mutex;
pthread_cond_t no_lleno;
pthread_cond_t no_vacio;

pthread_mutex_t mfin;
int rfin;

int main()
{
    time_t t1, t2;
    double dif;
    pthread_t thr;
    pthread_t thr1[MAX_SERVICIO];
    const int MAX_SERVICIO = 5; int i;

    t1 = time(NULL);

    pthread_mutex_init(&mutex, NULL);
    pthread_cond_init(&no_lleno, NULL);
    pthread_cond_init(&no_vacio, NULL);
    pthread_mutex_init(&mfin, NULL);

    pthread_create(&thr, NULL, receptor, NULL);
    for (i=0; i<MAX_SERVICIO; i++) {
        pthread_create(&thr1[i], NULL, servicio, NULL);
    }

    pthread_join(thr, NULL);
    for (i=0; i<MAX_SERVICIO; i++) {
        pthread_join(thr1[i], NULL);
    }

    pthread_mutex_destroy(&mutex);
    pthread_cond_destroy(&no_lleno);
    pthread_cond_destroy(&no_vacio);
    pthread_mutex_destroy(&mfin);

    t2 = time(NULL);
    dif = difftime(t2, t1);
    printf("Tiempo: %f\n", dif);

    return 0;
}

void * receptor ( void * param )
{
    const int MAX_PETICIONES = 5;
    peticion_t p;
    int i, pos;

    for (i=0; i<MAX_PETICIONES; i++) {
        recibir_peticon(&p);
        pthread_mutex_lock(&mutex);
        while (n_elementos == MAX_BUFFER)
            pthread_cond_wait(&no_lleno, &mutex);
        buffer[pos] = p;
        pos = (pos+1) % MAX_BUFFER;
        n_elementos++;
        pthread_cond_signal(&no_vacio);
        pthread_mutex_unlock(&mutex);

        printf(stderr, "Finalizando receptor\n");
        pthread_mutex_lock(&mfin);
        pthread_exit(0);
    }
}

void * servicio (void * param)
{
    peticion_t p;

    for (;;)
    {
        pthread_mutex_lock(&mutex);
        while (n_elementos == 0) {
            if (rfin==1) {
                printf(stderr, "Finalizando servicio\n");
                pthread_exit(0);
            }
            pthread_cond_wait(&no_vacio, &mutex);
        } // while
        printf(stderr, "Sirviendo posicion %d\n", pos_servicio);
        p = buffer[pos_servicio];
        pos_servicio = (pos_servicio + 1) % MAX_BUFFER;
        n_elementos--;
        pthread_cond_signal(&no_lleno);
        pthread_mutex_unlock(&mutex);
        responder_peticon(&p);
    }

    pthread_exit(0);
    return NULL;
}
```

```
void * servicio (void * param)
{
    peticion_t p;

    for (;;)
    {
        pthread_mutex_lock(&mutex);
        while (n_elementos == 0)
        {
            if (rfin==1) {
                fprintf(stderr, "Finalizando servicio\n");
                pthread_mutex_unlock(&mutex);
                pthread_exit(0);
            }
            pthread_cond_wait(&no_vacio, &mutex);
        } // while
        printf(stderr, "Sirviendo pos. %d\n", pos_servicio);
        p = buffer[pos_servicio];
        pos_servicio = (pos_servicio + 1) % MAX_BUFFER;
        n_elementos--;
        pthread_cond_signal(&no_lleno);
        pthread_mutex_unlock(&mutex);
        responder_peticon(&p);
    }

    pthread_exit(0);
    return NULL;
}
```

Comparación

Normal	Procesos	Hilo x petición	<i>Pool</i> de hilos
62 seg.	24 seg.	20 seg.	¿ ?

SISTEMAS OPERATIVOS: COMUNICACIÓN Y SINCRONIZACIÓN ENTRE PROCESOS



Desarrollo de servidores concurrentes