# COMPUTACIÓN DE ALTA PERFORMANCE

## Curso 2017

Sergio Nesmachnow (sergion@fing.edu.uy)
Santiago Iturriaga (siturria@fing.edu.uy)
Nestor Rocchetti (nrocchetti@fing.edu.uy)

Centro de Cálculo



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

# TEMA 5
# MECANISMOS DE PROGRAMACION PARALELA EN LENGUAJE C

# CONTENIDO

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

1. Clasificación de los mecanismos de comunicación
2. Creación de procesos
3. Inter-Process Communication (IPC)
   - Pipes
   - Semáforos
   - Cola de mensajes
   - Memoria compartida
   - Señales
4. Sockets
5. Remote Procedure Call (RPC)
6. Middleware de comunicación orientado a mensajes

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

# 6.1: CLASIFICACIÓN DE LOS MECANISMOS DE COMUNICACIÓN

# MECANISMOS DE COMUNICACIÓN: CLASIFICACIÓN

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

- Las comunicaciones y sincronizaciones son necesarias e imprescindibles para lograr la cooperación en sistemas multiproceso y en especial en sistemas distribuidos.
- Las comunicaciones entre procesos pueden clasificarse de diferentes maneras de acuerdo a sus características:
  - sincrónica o asincrónica
  - persistente o transitoria
  - directa o indirecta
  - simétrica o asimétrica

# MECANISMOS DE COMUNICACIÓN: CLASIFICACIÓN

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

- Comunicaciones sincrónicas
  - Modelo de puntos de sincronización (*rendezvous*): el proceso emisor permanece bloqueado esperando a que el proceso receptor invoque la primitiva de recepción (o viceversa).
  - Es no local: requiere de una acción en el proceso remoto.
  - La comunicación funciona como punto de sincronización entre procesos y permite intercambiar datos de forma coordinada (durante el rendezvous).
- Comunicaciones asincrónicas
  - El proceso emisor continúa con su ejecución inmediatamente después de enviar el mensaje al receptor, independientemente de su recepción.
  - Es una operación completamente local.
  - Permite explotar la ejecución simultánea en sistemas distribuidos.
  - Se implementa mediante estructuras de datos que permiten almacenar los mensajes (buffers, colas, etc.).

# MECANISMOS DE COMUNICACIÓN: CLASIFICACIÓN

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

- Comunicaciones persistentes
  - No es necesario que el receptor esté operativo al mismo tiempo que se realiza la comunicación (ej.: correo electrónico).
  - El mensaje se almacena tanto tiempo como sea necesario para poder ser entregado.
  - Requiere de espacios de almacenamiento (colas, buffers, etc.)
- Comunicaciones transitorias
  - Requieren que el receptor esté operativo en el instante en que se lleva a cabo la comunicación.
  - El mensaje se descarta (no será entregado) si el receptor no está operativo.

# MECANISMOS DE COMUNICACIÓN: CLASIFICACIÓN

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

- Comunicaciones directas
  - Se trabaja con primitivas explícitas para enviar y recibir, que indican los identificadores de los procesos que se comunican.
  - Primitiva send(mensaje, D), para enviar un mensaje al proceso D.
    - Siempre se debe especificar el proceso destino.
  - Primitiva receive(mensaje, O), para recibir un mensaje desde el proceso O.
    - La primitiva de recepción siempre debe especificar el proceso orígen y el mensaje.
    - En general, existen modos promiscuos para la primitiva de recepción, que puede esperar a recibir un mensaje de un proceso cualquiera.
- Comunicaciones indirectas
  - La comunicación está desacoplada del receptor y esta basada en una herramienta o instrumento específico que permite anonimizarlo.

# MECANISMOS DE COMUNICACIÓN: CLASIFICACIÓN

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

- Comunicaciones simétricas
  - Todos los procesos tienen las mismas capacidades para enviar o recibir.
  - Es llamada comunicación bidireccional o full-duplex para el caso de dos procesos.
- Comunicaciones asimétricas
  - Un conjunto de procesos distinguidos tienen las capacidades para enviar. El resto de los procesos solo tienen la capacidad de recibir información.
  - Es llamada comunicación unidireccional o half-duplex para el caso de dos procesos.
  - Es un tipo común para sistemas que hospedan servidores en Internet.

# MECANISMOS DE COMUNICACIÓN: CLASIFICACIÓN

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

- Durante el curso haremos énfasis en comunicaciones de tipo:
  - Sincrónicas y asincrónicas
  - Transitorias
  - Directas
  - Simétricas

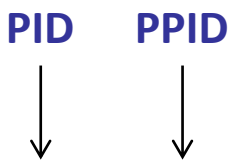
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

# 6.2: CREACION DE PROCESOS

# fork

- La primitiva `fork` crea un proceso hijo del proceso que realiza la invocación.
- Se crea una copia exacta del proceso que la invoca, pero con otro PID (Process IDentifier).
- Valor de retorno: el padre recibe el PID del hijo, y el hijo recibe 0.

```
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>
...
pid_t pid;
...
if ((pid = fork()) == 0) {
   /* proceso hijo */
} else {
   /* proceso padre */
}
...
```




```
user     11700 10875  0 11:04 pts/4    00:00:55 ./proceso_fork
user     11701 11700  0 11:04 pts/4    00:00:02 ./proceso_fork
```

# fork

- Se copia el área de datos, incluyendo archivos abiertos y sus descriptores asociados.
- Bloqueos sobre archivos y señales pendientes no son heredados.
- En Linux se implementa mediante *copy-on-write* de las páginas de memoria.
- El único costo es duplicar las tablas de páginas y crear la estructura del bloque de control de proceso (PCB).
- Puede retornar errores por memoria insuficiente:
  - `EAGAIN`: fork() no puede reservar memoria suficiente para copiar las tablas de páginas del proceso padre y crear la estructura de control del proceso hijo.
  - `ENOMEM`: fork() falló al reservar la memoria necesaria para las estructuras necesarias del núcleo porque la memoria es insuficiente.

# fork - wait

- La primitiva `wait` le notifica a un proceso cuando alguno de sus hijos termina su ejecución y le retorna su valor de finalización
- Si el padre muere antes que el hijo, el hijo queda huérfano
  - Su padre pasa a ser el proceso "init" (PID=1) de Linux
- Si el hijo termina pero el padre no acepta su valor de retorno (usando `wait`), el proceso pasa a estado *zombie*
  - Un proceso en estado *zombie* libera todos sus recursos, salvo porque mantiene una entrada en la tabla de procesos (mantiene su PID)
- `wait` bloquea la ejecución del padre hasta que termina la ejecución de un hijo y retorna el PID y el valor de retorno del hijo que terminó
- El proceso hijo puede devolver un valor de retorno usando la función `exit` de C

# fork - wait

```
1.  main () {
2.       int pid, mypid, status;
3.       if ((pid = fork()) == 0) {
4.          // Proceso hijo
5.          mypid = getpid();
6.          fprintf(stdout,"H: %d\n",mypid);
7.          exit(0);
8.       } else {
9.          // Proceso padre
10.         mypid = getpid();
11.         fprintf(stdout,"P: %d, H: %d\n",mypid,pid);
12.         pid = wait(&status);
13.         fprintf(stdout,"pid wait: %d\n",pid);
14.         exit(0);
15.      }
16. }
```

```
$ ./proceso_fork
H: 14952
P: 14951, H: 14952
pid wait: 14952
```

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

# 6.3: INTER-PROCESS COMMUNICATION en LINUX

# INTER-PROCESS COMMUNICATION

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

- IPC permite la comunicación de información y sincronización entre procesos que ejecutan en un mismo hardware
- Está disponible y es ampliamente usada en los sistemas Unix/Linux
- Las dos implementaciones más aceptadas de IPC son:
  - System V: una de las primeras versiones comerciales de Unix, fue y es un estándar de facto
  - Portable Operating System Interface (POSIX): estándar definido por IEEE

# INTER-PROCESS COMMUNICATION

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

- Se divide en cuatro herramientas:
  1. Pipes: sincronización y comunicación de información
  2. Memoria compartida: comunicación de información
  3. Semáforos: sincronización
  4. Colas de mensajes: sincronización y comunicación de información
  5. Señales: comunicación de información

- POSIX define versiones anónimas y nombradas de estos mecanismos
  - Las versiones anónimas solamente sirven para comunicar procesos emparentados
  - Las versiones nombradas permiten comunicar cualquier tipo de procesos

# PIPES

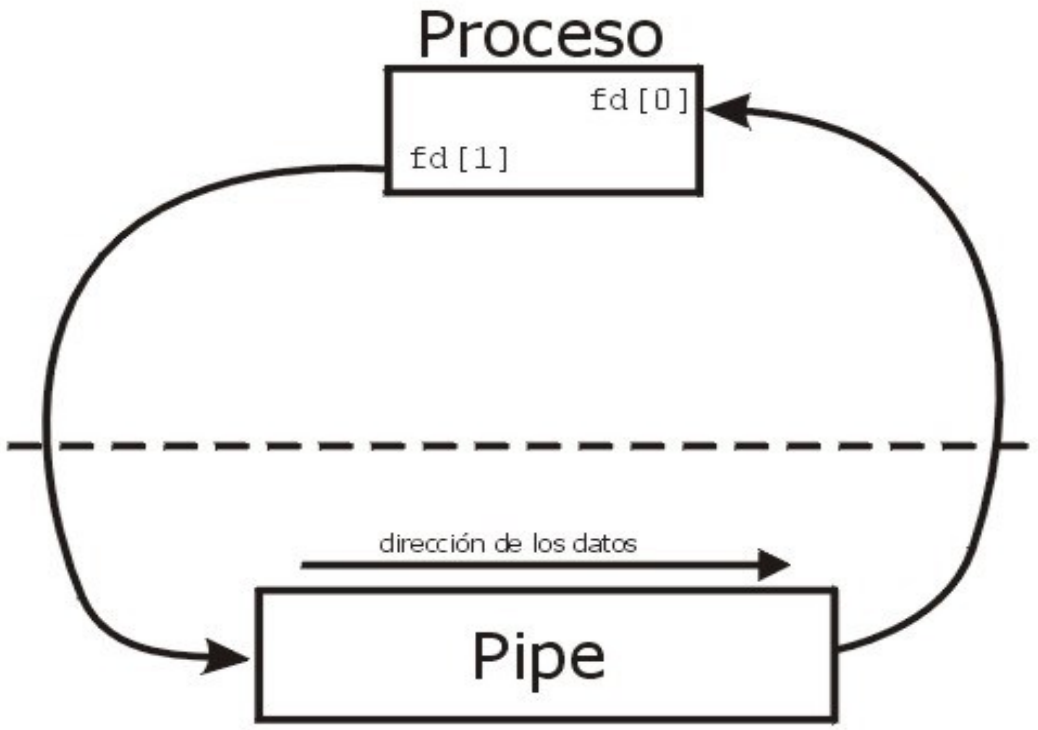
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

- Mecanismo de comunicación y sincronización entre procesos padre e hijo
- Es asimétrico: define pipes unidireccionales (*half-duplex pipe*)
- Es un *file descriptor* lo que permite acceso a través de las operaciones `read()` y `write()`
- La operación `read()` es bloqueante
- Implementado en el núcleo del sistema operativo
- En Linux, la capacidad de los pipes es de 64KB, pero se asegura una escritura atómica solamente para buffers de 4KB o menos

# PIPES

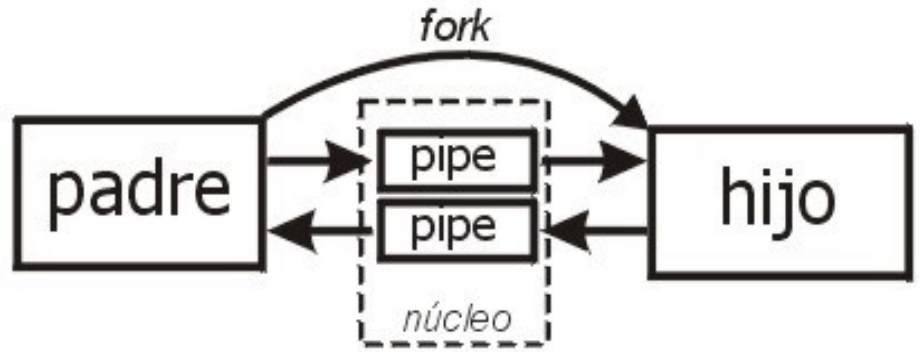
- Es necesario cerrar el file descriptor de la dirección del pipe que no se vaya a utilizar
- Solo existen versiones anónimas de los pipes por lo que es necesario contar con un mecanismo para compartir un pipe entre padre e hijo

```
int main () {
   int fd[2];
   if (pipe(fd)) {
       perror("Error");
       exit(1);
   }
   int pid=fork();
   …
}
```



# PIPES

```
int main () {
int fd1[2], fd2[2], pid;

/* creación del pipe */
if (pipe(fd1) || pipe(fd2)) {
  perror("Error\n") ;
  exit (1) ;
}
if ((pid = fork ()) == 0) {
  /* proceso hijo */
  close (fd1[1]);
  close (fd2[0]);
  procHijo(fd1[0],fd2[1]);
  close (fd1[0]);
  close (fd2[1]);
}
...
```




```
...
else {
  /* proceso padre */
  close (fd1[0]);
  close (fd2[1]);
  procPadre(fd1[1],fd2[0]);
  close (fd1[1]);
  close (fd2[0]);
  waitpid(pid,NULL,0);
 }
...
```

# FIFO (PIPES NOMBRADOS)

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

- Permiten la comunicación entre procesos no emparentados
- Al igual que los pipes son unidireccionales (half-duplex)
- Tienen persistencia a nivel del núcleo
  - El pipe con nombre persiste en el sistema de archivos para uso posterior
- Existe en el sistema de archivos como un archivo especial del VFS
  - El comando/función `mkfifo` permite crear un FIFO
  - El comando `ls -l` identifica el FIFO con el carácter descriptor `p`
  - El comando/función `unlink` permite eliminar un FIFO

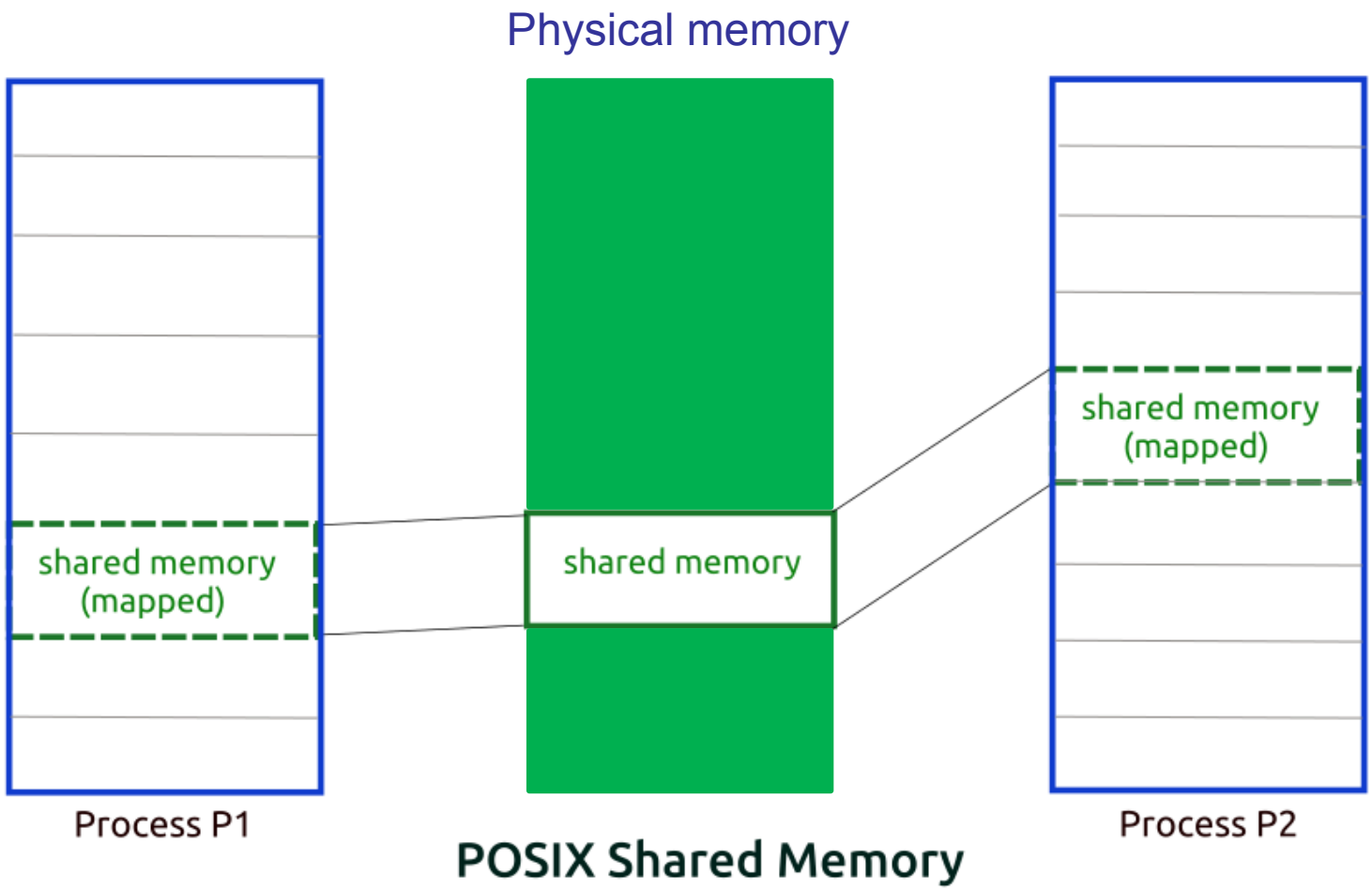
```
$ mkfifo MIFIFO
$ ls –l MIFIFO
prw-r--r-- ...  MIFIFO
```

# MEMORIA COMPARTIDA

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

- La forma mas eficiente de comunicar dos procesos en la misma máquina
  - El proceso accede a través de direccionamiento directo y no a través del núcleo del sistema
- Requiere sincronización explícita para acceder al recurso compartido
- POSIX solamente define memoria compartida nombrada con persistencia a nivel de núcleo
- Implementación usando mapeo de archivos
  - Un espacio de memoria en el núcleo del sistema es compartido por todos los procesos que quieran acceder y posean permisos
  - En Linux: disponibles en `/dev/shm`

# MEMORIA COMPARTIDA



# MEMORIA COMPARTIDA

- `shm_open(const char * name, …)`
  - Obtiene un descriptor a un segmento de memoria compartida
- `mmap(void *, size_t len, int, int  fd, int, off_t)`
  - Mapea un archivo (a través del descriptor `fd`) al espacio de direccionamiento de memoria del proceso
- `shm_unlink(const char *name)`
  - Destruye un espacio de memoria compartida

```
void* ptr;
int fd;

fd = shm_open(pathname, flags, FILE_MODE);
ptr = mmap(NULL,length,modo,MAP_SHARED,fd,0);
```

# MEMORIA COMPARTIDA

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

```
#include <sys/stat.h>
#include <fcntl.h>
#include <sys/mman.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>

int main(int argc, char *argv[])
{
   int fd = shm_open("/shmem-ej", O_CREAT, 0777);
   ftruncate(fd, 1024);

   void* addr = mmap(NULL, 1024, PROT_READ |
   PROT_WRITE, MAP_SHARED, fd, 0);

   char* msg = "hola mundo!";
   memcpy(addr, msg, strlen(msg));

   exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

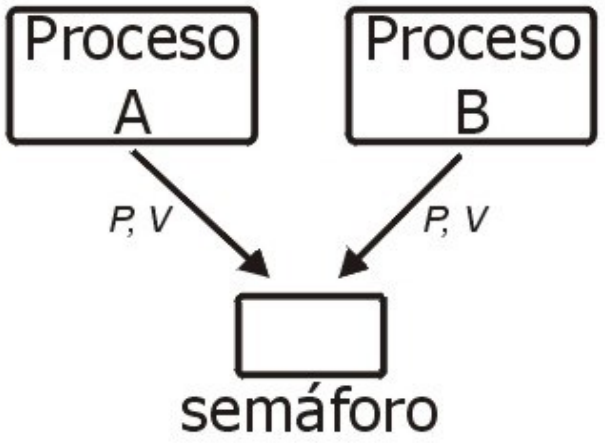
# MEMORIA COMPARTIDA

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

```
#include <sys/stat.h>
#include <fcntl.h>
#include <sys/mman.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>

int main(int argc, char *argv[])
{
    int fd = shm_open("/shmem-ej", O_RDONLY, 0);

    void* addr = mmap(NULL, 1024, PROT_READ,
    MAP_SHARED, fd, 0);

    printf("%s\n", addr);

    shm_unlink("/shmem-ej");
    exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

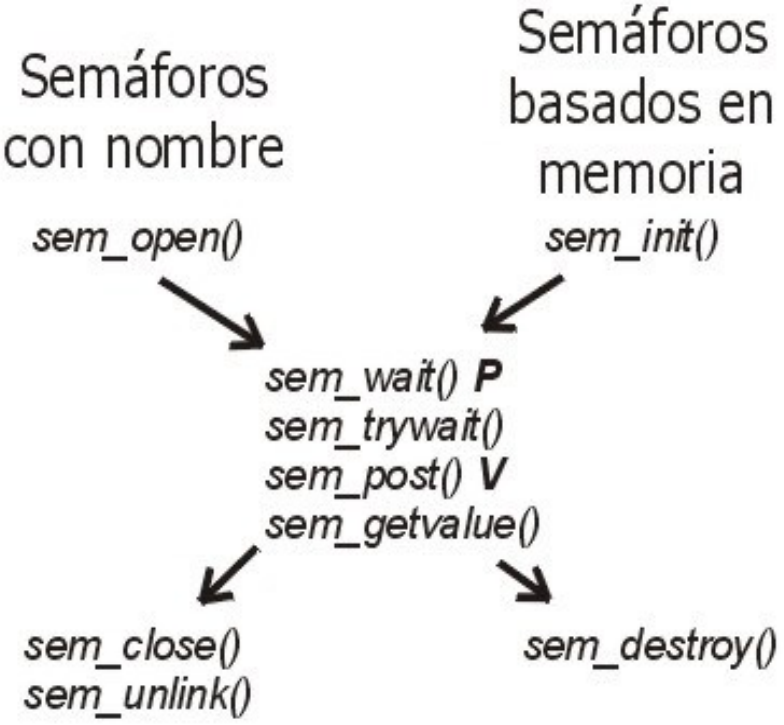
# SEMÁFOROS

- Son una herramienta de sincronización
- Tipos:
  - Binarios: toman valores entre 0 y 1
  - No binarios: toman valores enteros
- Operaciones:
  - P: Proberen (“test”)
  - V: Verhogen (“incrementar”)
- La operación P decrementa el valor del semáforo
  - Si el valor del semáforo es 0, entonces P bloquea al proceso
- La operación V incrementa el valor del semáforo



# SEMÁFOROS

- POSIX provee semáforos no binarios tanto anónimos como nombrados
- Semáforos anónimos
  - Implementados a través de memoria compartida
- Semáforos nombrados
  - A través del sistema de archivos. En Linux: disponible en `/dev/shm`
- Persistencia a nivel de núcleo
- Uso entre procesos emparentados y no emparentados
- POSIX no define un orden de espera para los procesos



# SEMÁFOROS ANÓNIMOS

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

## Semáforos basados en memoria compartida:

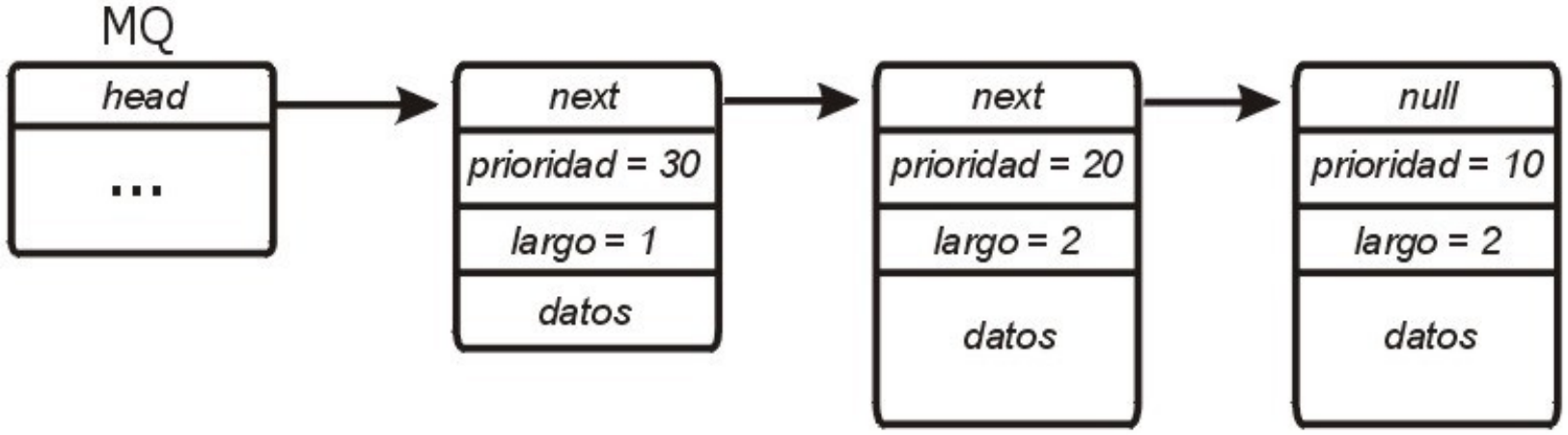
```
1. int main(int argc, char *argv[])
2. {
3.     int fd = shm_open("/sem-ej", O_CREAT, 0);
4.     ftruncate(fd, sizeof(sem_t));

5.     sem_t* s = mmap(NULL, sizeof(sem_t),
6.                 PROT_READ | PROT_WRITE,
7.                 MAP_SHARED, fd, 0);

8.     sem_init(s,1,0);
9.     sem_wait(s);
10.    sem_destroy(s);
11.    shm_unlink("/sem-ej");
12.
13.    exit(EXIT_SUCCESS);
14.}
```

# SEMÁFOROS ANÓNIMOS (2)

```
1. int main(int argc, char *argv[])
2. {
3.     int fd = shm_open("/sem-ej", O_RDONLY, 0);

4.     sem_t* s = mmap(NULL, sizeof(sem_t),
5.                 PROT_READ | PROT_WRITE,
6.                 MAP_SHARED, fd, 0);

7.     sem_post(s);

8.     exit(EXIT_SUCCESS);
9. }
```

# COLA DE MENSAJES

- Son una herramienta de sincronización y de envío de información
- Los procesos se intercambian información a través del envío de mensajes a diferentes colas
- Manejan prioridades de envío y recepción
- Implementadas a través de un archivo en el VFS con persistencia a nivel de núcleo
- Permite la generación de una señal o el inicio de un hilo de ejecución cuando un mensaje es recibido en la cola



# COLA DE MENSAJES

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

- Operaciones principales:
  - `mq_open(const char * name, int oflag, …)`
    - Crea o abre una cola de mensajes
  - `mq_send(mqd_t mqdes,const char *ptr,size_t len, unsigned int prio)`
    - Envía un mensaje a la cola con la prioridad prio
  - `mq_receive(mqd_t mqdes, char * ptr, size_t len, unsigned int * prio)`
    - Recibe el mensaje de mayor prioridad y que hace más tiempo que está en la cola (operación bloqueante)
  - `mq_close(mqd_t mqdes)`
    - Cierra el acceso a la cola de mensajes para el proceso
  - `mq_unlink(const char * name)`
    - Elimina una cola de mensajes

# COLA DE MENSAJES

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

```
#include <mqueue.h>
#include <sys/stat.h>
#include <fcntl.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>

int main(int argc, char *argv[]){
    mqd_t mqd;
    mqd = mq_open("/mq-ej", O_CREAT, 0777, NULL);

    char* msg = "hola mundo!";
    mq_send(mqd, msg, strlen(msg), 1);

    exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

# COLA DE MENSAJES

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

```
#include <mqueue.h>
#include <sys/stat.h>
#include <fcntl.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>

int main(int argc, char *argv[])
{
    mqd_t mqd = mq_open("/mq-ej", O_RDWR, 0777, NULL);

    struct mq_attr attr;
    mq_getattr(mqd, &attr);
    void* buffer = malloc(attr.mq_msgsize);

    int prio;
    int numRead = mq_receive(mqd, buffer,
                             attr.mq_msgsize, &prio);

    exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

# SEÑALES

- Interrupciones generadas a través del software que permiten generar eventos en los procesos
- Sirven para la comunicación entre dos procesos y entre el núcleo del sistema operativo y un proceso
- Un proceso puede enviarle una señal a otro proceso con la función

```
int kill(pid_t pid, int sig)
```

- Cuando un proceso recibe una señal ocurre una acción por defecto, a menos que el proceso defina una función o procedimiento (*handler*) para atender la señal
- Cuando llega una señal al proceso interrumpido, los registros son salvados, y el handler de la señal es ejecutado
  - El proceso puede ser interrumpido en cualquier momento, las estructuras de datos podrían estar inconsistentes

# SEÑALES

- Las tres acciones más comunes en un handler son:
  - Establecer el valor de una variable booleana (bandera) y retornar
  - Reiniciar el proceso en algún punto conveniente
  - Liberar recursos y terminar el proceso
- Sin embargo, pueden definirse acciones específicas mas complejas para atender la interrupción correspondiente

# SEÑALES

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

- Cada proceso tiene una mascara (bitmask) que permite bloquear señales
- Mientras se ejecuta el handler de una señal, esa señal en particular se mantiene bloqueada
- Cuando una señal se encuentra bloqueada, esta no es despachada y permanece pendiente (aún cuando su acción por defecto sea ignorarla)
- La función `sigprocmask()` cambia la lista de señales bloqueadas
- La función `sigpending()` muestra las señales pendientes
- La función `sugsuspend()` permite suspender el proceso actual hasta la llegada una señal especifica

# SEÑALES

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

| Señal | Acción | Descripción |
|---|---|---|
| SIGINT | Term | Interrumpido desde el teclado (Ctrl+C) |
| SIGILL | Core | Instrucción ilegal |
| SIGABRT | Core | Abortar proceso |
| SIGFPE | Core | Error de punto flotante |
| SIGKILL* | Term | Matar proceso |
| SIGSEGV | Core | Referencia inválida a memoria |
| SIGTERM | Term | Terminar proceso |
| SIGUSR1 | Term | Reservada para el usuario |
| SIGUSR2 | Term | Reservada para el usuario |
| SIGCHLD | Ign | Hijo finalizó |
| SIGCONT | Cont | Continuar proceso |
| SIGSTOP* | Stop | Detener proceso |

- Las señales SIGKILL y SIGSTOP no pueden ser manejadas, bloqueadas o ignoradas

# SEÑALES

- El programador crea *handlers* llamando a la función `signal`, pasando como parámetro el numero de señal y un puntero a la función que la va a atender

```
#include <stdio.h>
void sigproc(void) {
   ...
}
void quitproc(void) {
  ...
}

main() {
   signal(SIGINT, sigproc);
   signal(SIGQUIT, quitproc);
   for(;;); /* infinite loop */
}
```

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

# 6.4: SOCKETS

# SOCKETS

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

- Mecanismo de comunicación en el modelo cliente/servidor
- Un proceso servidor “escucha” mensajes que llegan al socket y un proceso cliente es quién los envía
- Se establece luego una comunicación full-duplex
- Operaciones básicas con sockets: creación, apertura, lectura, escritura y cierre
- Dos dominios para los sockets:
  - Internet Domain Sockets: permiten la comunicación entre procesos a través de una interfaz de red (`AF_INET` o `AF_INET6`)
  - Unix Domain Sockets: permiten comunicar dos procesos en el mismo equipo (`AF_UNIX`)

# SOCKETS

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

- Dos tipos de sockets más usados:
- Datagram:
  - No usa conexión, mensajes empaquetados (SOCK_DGRAM), protocolo UDP (no hay garantía de arribo, no se garantiza orden correcto).
  - Aplicaciones donde entregar la información no es muy crítico, y si es muy relevante alcanzar la eficiencia: e.g., streaming de video, VoIP.
- Stream:
  - Orientado a conexión, comunicación secuencial con ACKs, flujo de datos (SOCK_STREAM), protocolo TCP (libre de errores, garantiza ordenación correcta).
  - Aplicaciones donde es muy importante información: e.g., transferencia de archivos.

# ESQUEMA de DATAGRAM SOCKETS - CLIENTE

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

```
int main(int argc, char**argv){
   int sockfd, n;
   struct sockaddr_in servaddr;
   char sendline[1000]; char recvline[1000];

   sockfd = socket(AF_INET,SOCK_STREAM,0);

   bzero(&servaddr,sizeof(servaddr));
   servaddr.sin_family = AF_INET;
   servaddr.sin_addr.s_addr = inet_addr("127.0.0.1");
   servaddr.sin_port = htons(32000);

   connect(sockfd,(struct sockaddr *)&servaddr, sizeof(servaddr));

   sendto(sockfd,sendline,1000,0,(struct sockaddr *)&servaddr,
          sizeof(servaddr));
   n = recvfrom(sockfd,recvline,1000,0,NULL,NULL);
}
```

# ESQUEMA de STREAM SOCKETS - SERVIDOR

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

```
int main(int argc, char**argv)
{
   int connfd, n;
   struct sockaddr_in servaddr,cliaddr;
   socklen_t clilen;
   char mesg[1000];

   int fd = socket(AF_INET,SOCK_STREAM,0);

   bzero(&servaddr,sizeof(servaddr));
   servaddr.sin_family = AF_INET;
   servaddr.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY);
   servaddr.sin_port = htons(32000);

   bind(fd,(struct sockaddr *)&servaddr,sizeof(servaddr));
   listen(fd,1024);

/* continúa en slide 40 ... */
```

# ESQUEMA de STREAM SOCKETS - SERVIDOR

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

```
    for(;;)
    {
        clilen = sizeof(cliaddr);
        connfd = accept(fd,(struct sockaddr*)&cliaddr,&clilen);

        n = recvfrom(connfd,mesg,1000,0,
                     (struct sockaddr*)&cliaddr,&clilen);
        sendto(connfd,mesg,n,0,
               (struct sockaddr*)&cliaddr,clilen);

        close(connfd);
    }
}
```

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

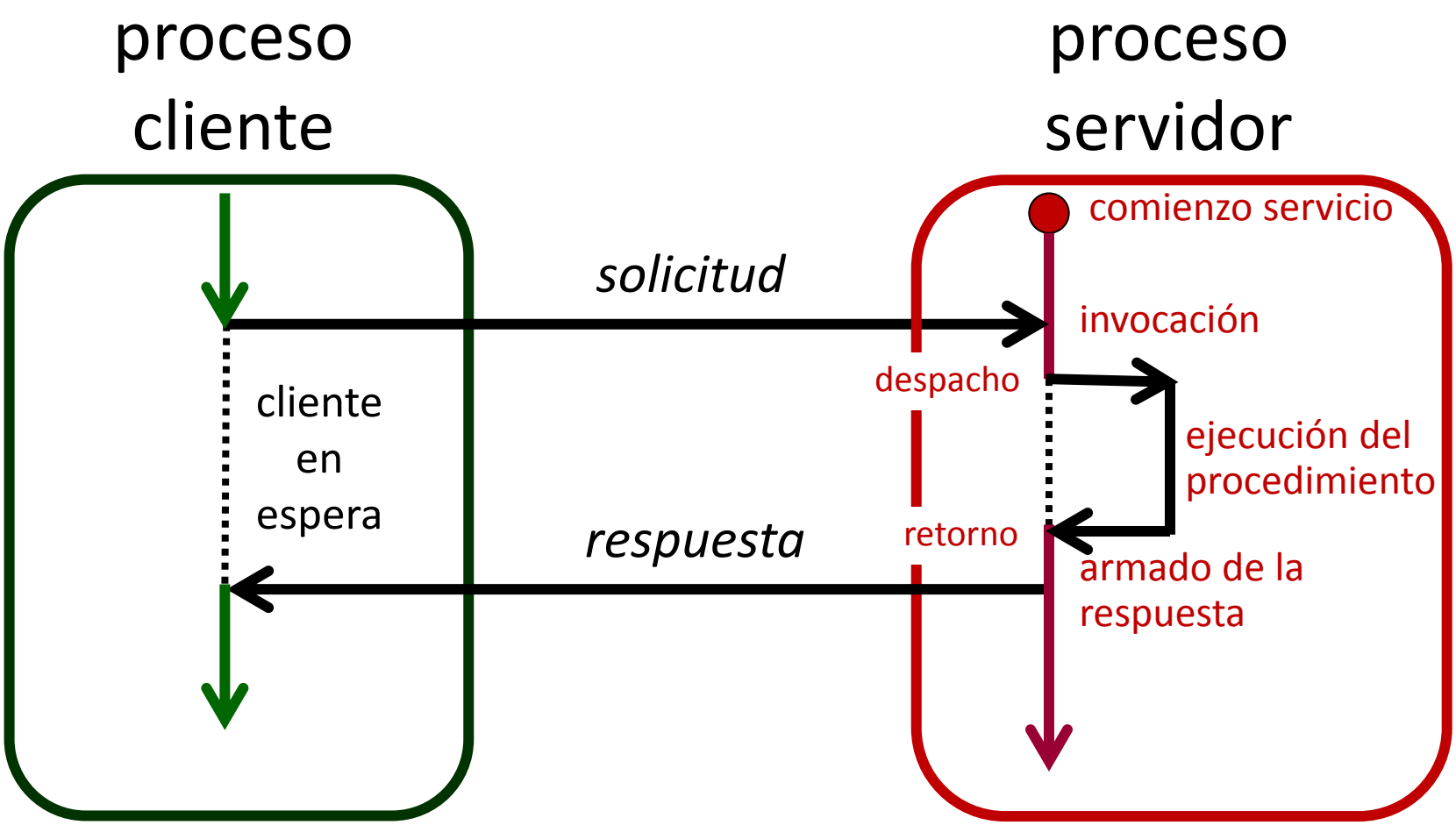
# 6.5: REMOTE PROCEDURE CALL

# REMOTE PROCEDURE CALL

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

- Es una herramienta que permite la invocación a una función o procedimiento que se encuentra en un proceso remoto.
- Los procedimientos son declarados en un proceso servidor y luego son accedidos por clientes que ejecutan en equipos remotos o locales.
- El modelo es conceptualmente simple y permite a los desarrolladores de aplicaciones *evitar los detalles de la programación de las comunicaciones* a través de la red.
- Desde el punto de vista de la aplicación invocante (y por tanto, para el programador) la llamada a una función remota es muy similar (casi idéntica) a la invocación a una función definida localmente.
- El modelo provee transparencia respecto al entorno de ejecución de una aplicación distribuida.

# REMOTE PROCEDURE CALL




Esquema de invocación a un procedimiento remoto

# REMOTE PROCEDURE CALL

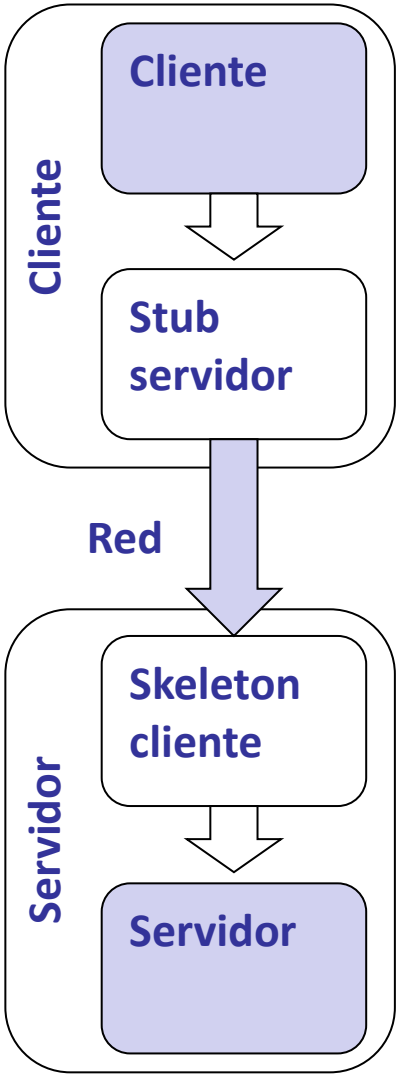
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

- Implementaciones de ejemplo:
  - Open Network Computing (ONC)
  - Apache Thrift
  - Apache Avro
- Permiten integrar diferentes lenguajes y representaciones de datos.
  - Incluyendo C/C++, Java, .NET, Python, y otros.

- La primera implementación popular de RPC fue desarrollada por SUN para sus sistemas UNIX y luego se transformó en un estándar: ONC RPC.

# REMOTE PROCEDURE CALL

- Idea clave: uso de ”representantes” del cliente y del servidor.
- Representante del servidor en la máquina cliente (*stub*)
  - Juega el rol del servidor en la máquina cliente.
- Representante del cliente en la máquina servidor (*skeleton*)
  - Juega el rol del cliente en la máquina servidor.
- Proporcionan transparencia en la llamada remota.
- Son generados automáticamente en base a una *interfaz* definida para el procedimiento remoto.
  - El programador sólo debe programar el código del procedimiento remoto (servidor) y el código que realiza la invocación remota (cliente).



# RPC: COMPONENTES

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

- Stub (representante del servidor → recibe la llamada del cliente)
  - Proporciona transparencia en el lado del cliente.
  - Posee una interfaz idéntica al del procedimiento remoto.
  - Cada procedimiento remoto debe tener su propio stub.
- El cliente realiza una llamada local al procedimiento del stub como si fuera el servidor real
- Tareas realizadas por el stub:
  - Localizar al servidor que implemente el procedimiento remoto usando un servicio de *binding.*
  - Empaquetar los parámetros de entrada (aplanado, *marshalling*) en un formato común para cliente y servidor.
  - Enviar el mensaje al servidor.
  - Esperar la recepción del mensaje de respuesta.
  - Extraer resultados (desaplanado, *unmarshalling*) y retornarlos a la función que hizo la llamada.

# RPC: COMPONENTES

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

- Skeleton (representante del cliente → realiza la llamada al servidor)
  - Proporciona transparencia en el lado del servidor.
  - Conoce la interfaz ofrecida por el procedimiento remoto.
  - Cada procedimiento remoto debe tener su propio skeleton.
- Realiza llamadas locales al servidor como si fuera el cliente real.
- Es responsable de la *invocación real* al procedimiento remoto.
- Tareas realizadas por el skeleton:
  - Registrar el procedimiento en el servicio de binding.
  - Ejecutar un bucle de espera de mensajes y recibir peticiones.
  - Desempaquetar el mensaje (desaplanado, *unmarshalling*).
  - Determinar qué procedimiento concreto invocar, y luego invocarlo con los argumentos recibidos y recuperar el resultado.
  - Empaquetar el valor devuelto (aplanado, *marshalling*) en un mensaje.
  - Enviar el mensaje al stub del cliente.

# RPC: SERVICIOS

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

- Servicio de binding
  - Responsable de la transparencia de localización.
  - Gestiona la asociación entre el nombre (y versión) del procedimiento remoto con su localización en la máquina servidor (dirección, puertos, skeleton, etc).
  - Realiza la búsqueda del skeleton de la implementación concreta del procedimiento remoto invocado por un cliente.
  - Selecciona el par (skeleton+servidor) que atenderá a cada invocación remota.
  - Ejemplos: portmapper (en ONC-RPC), rmiregistry (en Java-RMI), UDDI (en servicios web).

# RPC: SERVICIOS

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

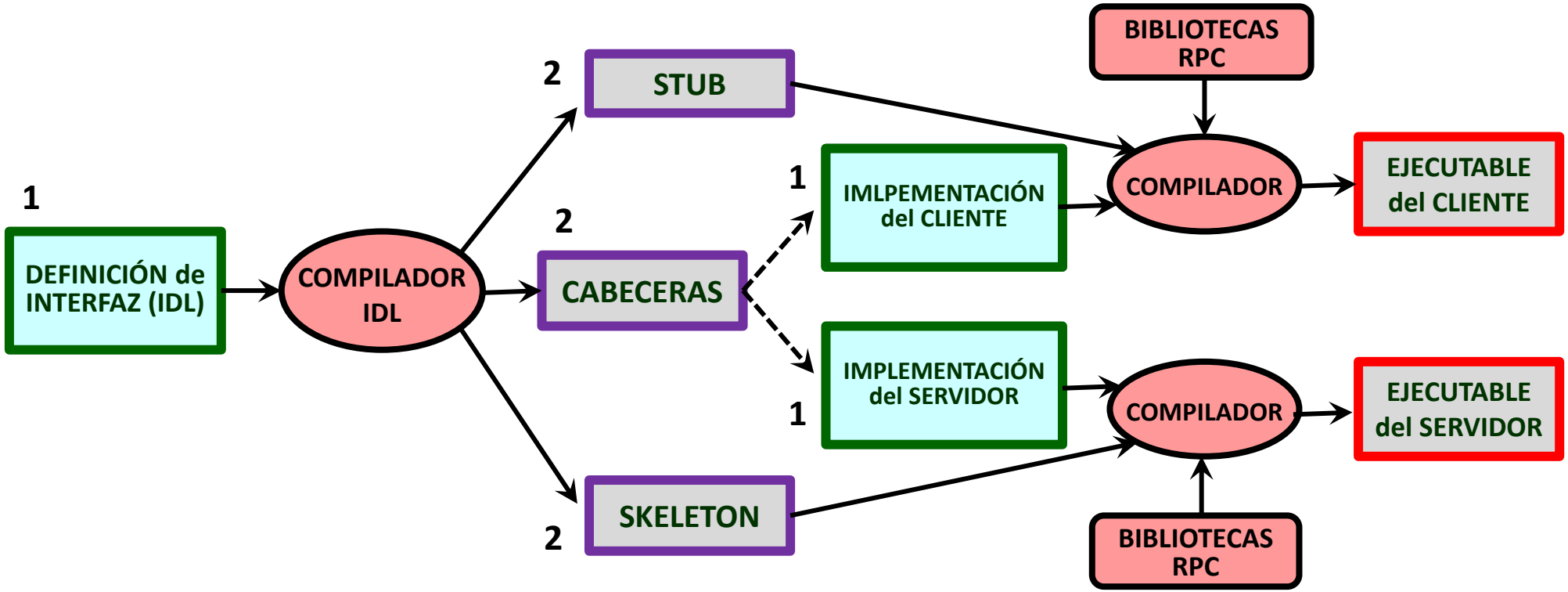
- Compilador de interfaces
- A partir de la descripción de la interfaz del procedimiento remoto, genera de forma automática el código del stub y del skeleton.
  - stub+skeleton solo dependen de la interfaz del procedimiento remoto.
- Dependiendo del entorno RPC, puede generar otros códigos adicionales que sean necesarios.
- La interfaz del procedimiento remoto contiene los datos necesarios para generar el par (stub+skeleton):
  - especifica la interfaz ofrecida por el procedimiento (parámetros de entrada, valor devuelto como resultado).
  - especifica cómo se realizará el aplanado/desaplanado.
  - opcionalmente puede aportar información que se usará para localizar el procedimiento remoto (e.g., número de versión).

# RPC: INTERFACES

- La interfaz del procedimiento remoto contiene los datos necesarios para generar el par (stub+skeleton).
- Existen dos enfoques para su definición:
  1. Puede estar definida en el mismo lenguaje de programación que implementa el servicio.
  2. Puede estar definida mediante un lenguaje de definición de interfaces independiente del lenguaje de programación (IDL: *interface definition language*).
     - Un compilador IDL lleva a cabo la traducción al lenguaje de implementación correspondiente.
     - Ejemplos: XDR usado en ONC-RPC, Corba-IDL en CORBA, especificaciones WSDL en servicios web.

# RPC: GENERACIÓN de CÓDIGO

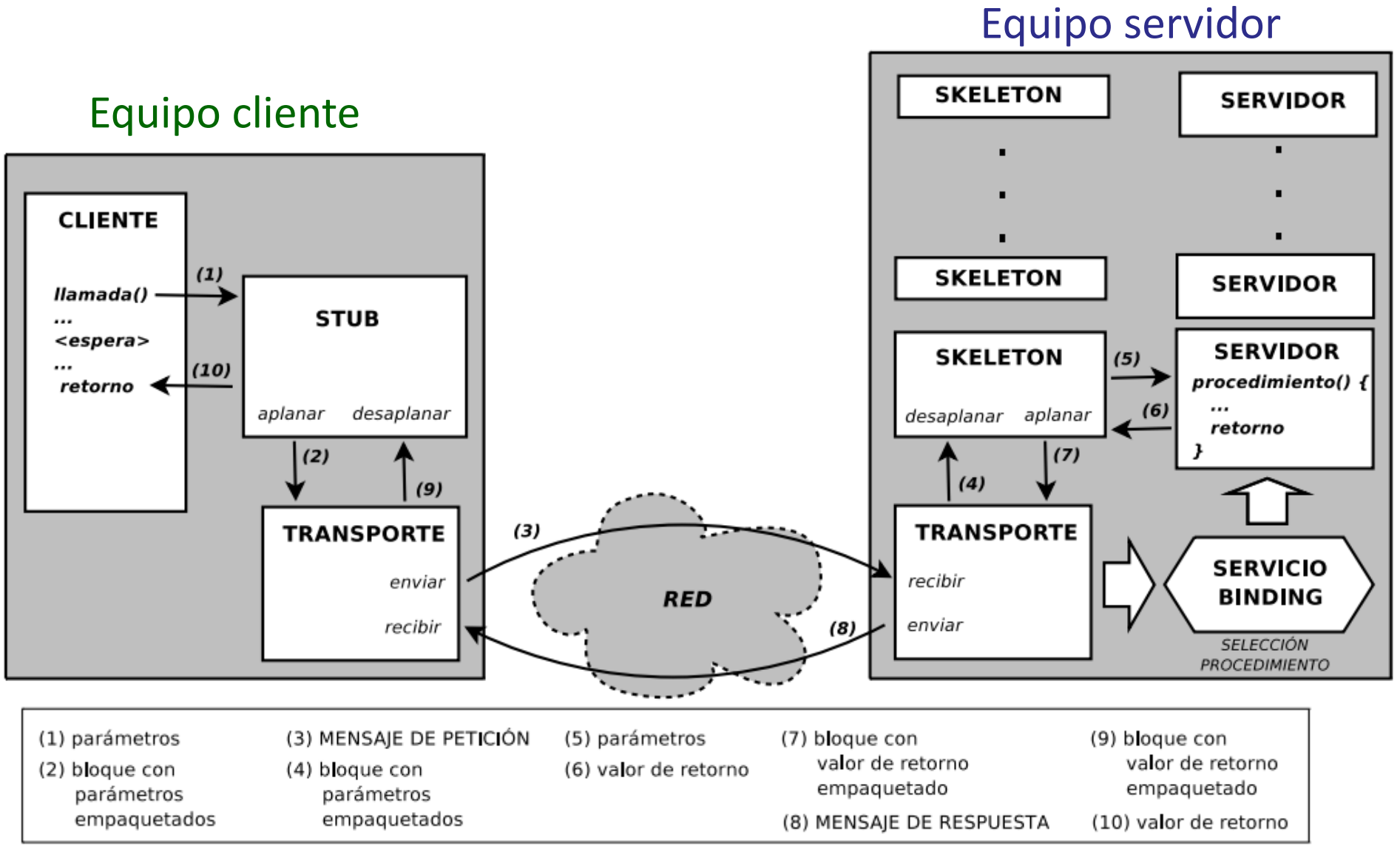
- Esquema de componentes para la generación de código RPC




REFERENCIAS

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | código del usuario | 2 | código autogenerado | 3 | utilitarios | 4 | ejecutables |

# RPC: FUNCIONAMIENTO



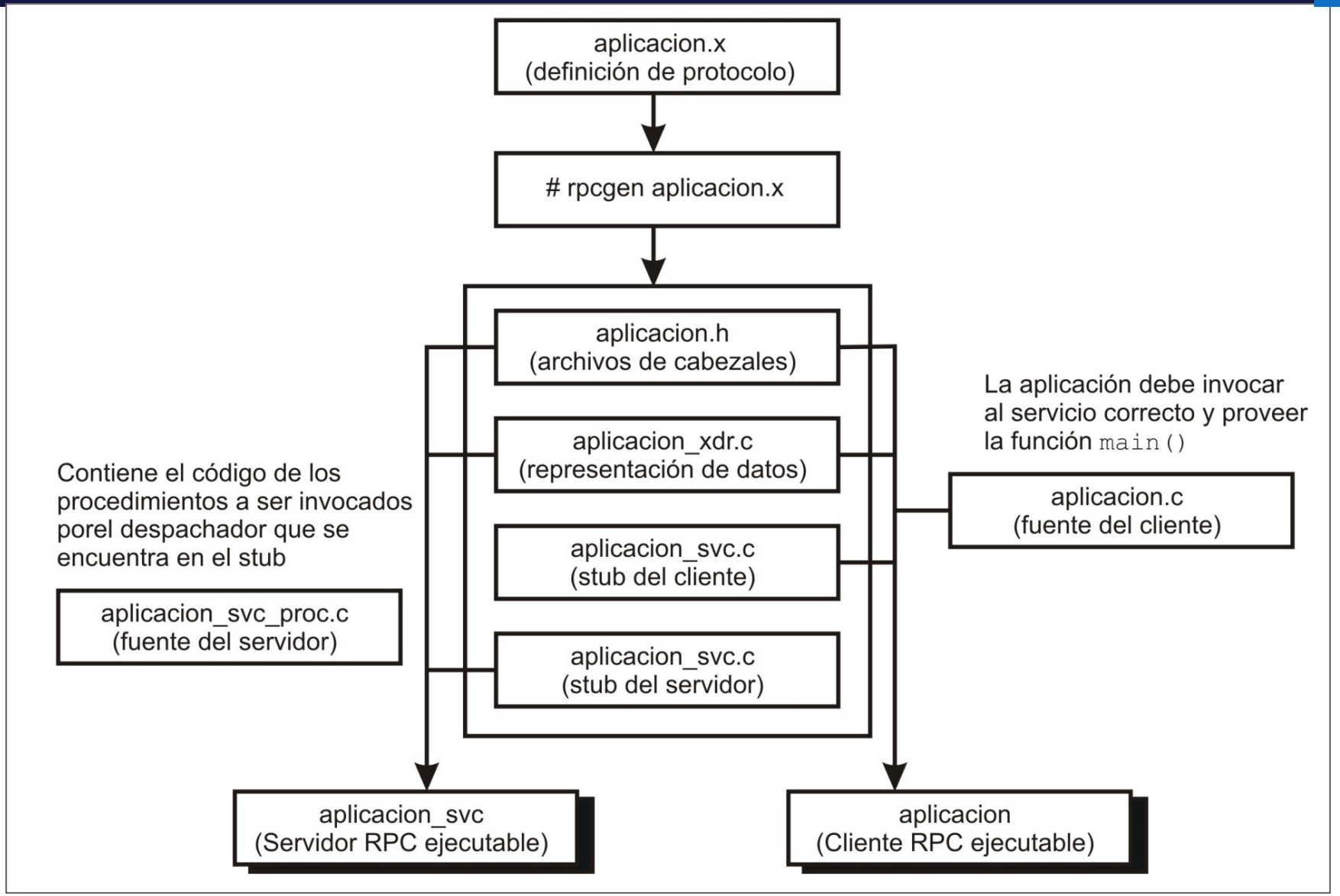

(1) parámetros
(2) bloque con parámetros empaquetados
(3) MENSAJE DE PETICIÓN
(4) bloque con parámetros empaquetados
(5) parámetros
(6) valor de retorno
(7) bloque con valor de retorno empaquetado
(8) MENSAJE DE RESPUESTA
(9) bloque con valor de retorno empaquetado
(10) valor de retorno

# CASO DE ESTUDIO: ONC RPC

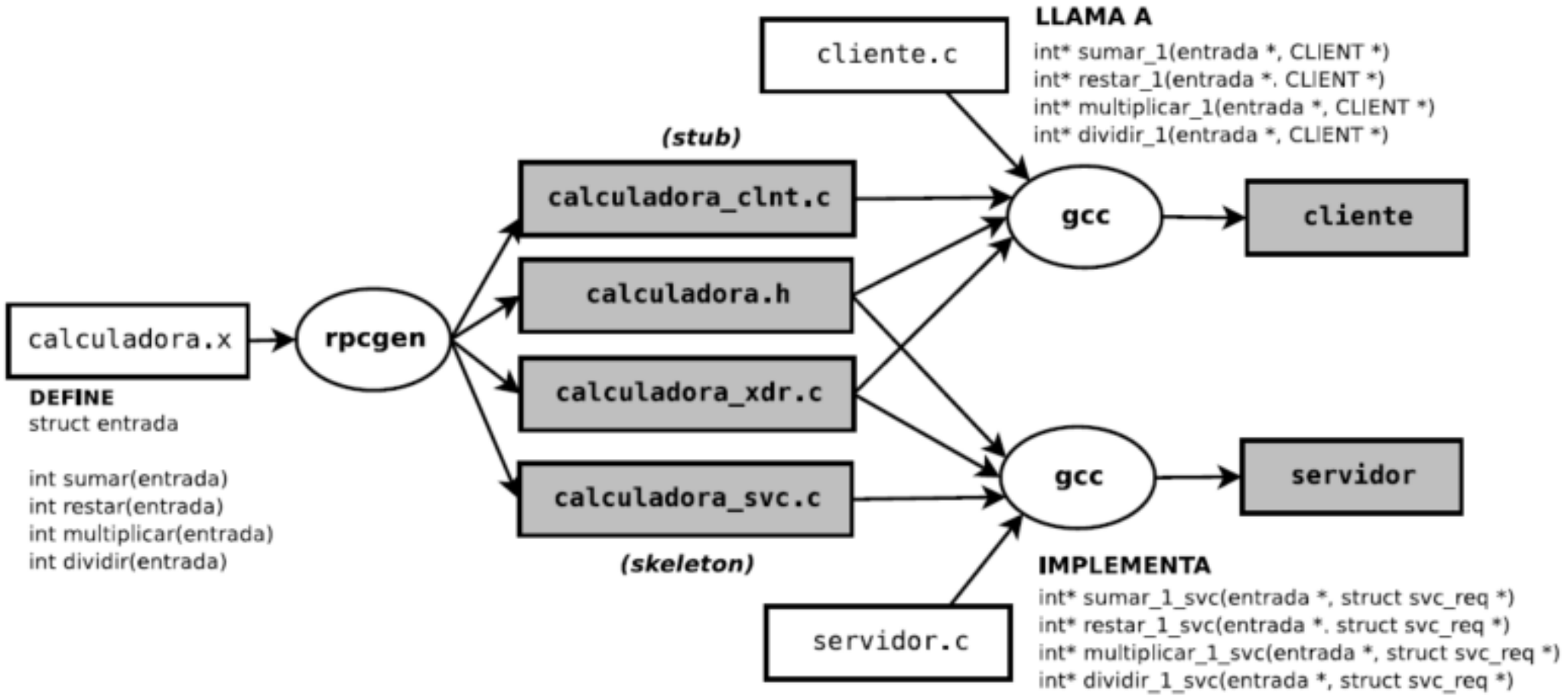
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

- Se debe especificar la interfaz expuesta por el servidor mediante un lenguaje de descripción (Interface Description Language, IDL).
- El comando `rpcgen` (compilador de IDL) genera el código de los stubs para el cliente y de los skeletons para el servidor.
- Los stubs/skeletons se encargan de encapsular las tareas de comunicación a bajo nivel:
  - Transformación de datos (al formato eXternal Data Representation, XDR)
  - Invocación a procedimiento remoto (usando sockets)
- El cliente debe compilar utilizando los stubs del cliente generados por el comando `rpcgen`.
- El servidor debe compilar utilizando los skeletons del servidor generados por el comando `rpcgen`.

# CASO DE ESTUDIO: ONC RPC



# ONC RPC: FUNCIONAMIENTO



# GESTIÓN DE SERVICIOS: PORTMAPPER

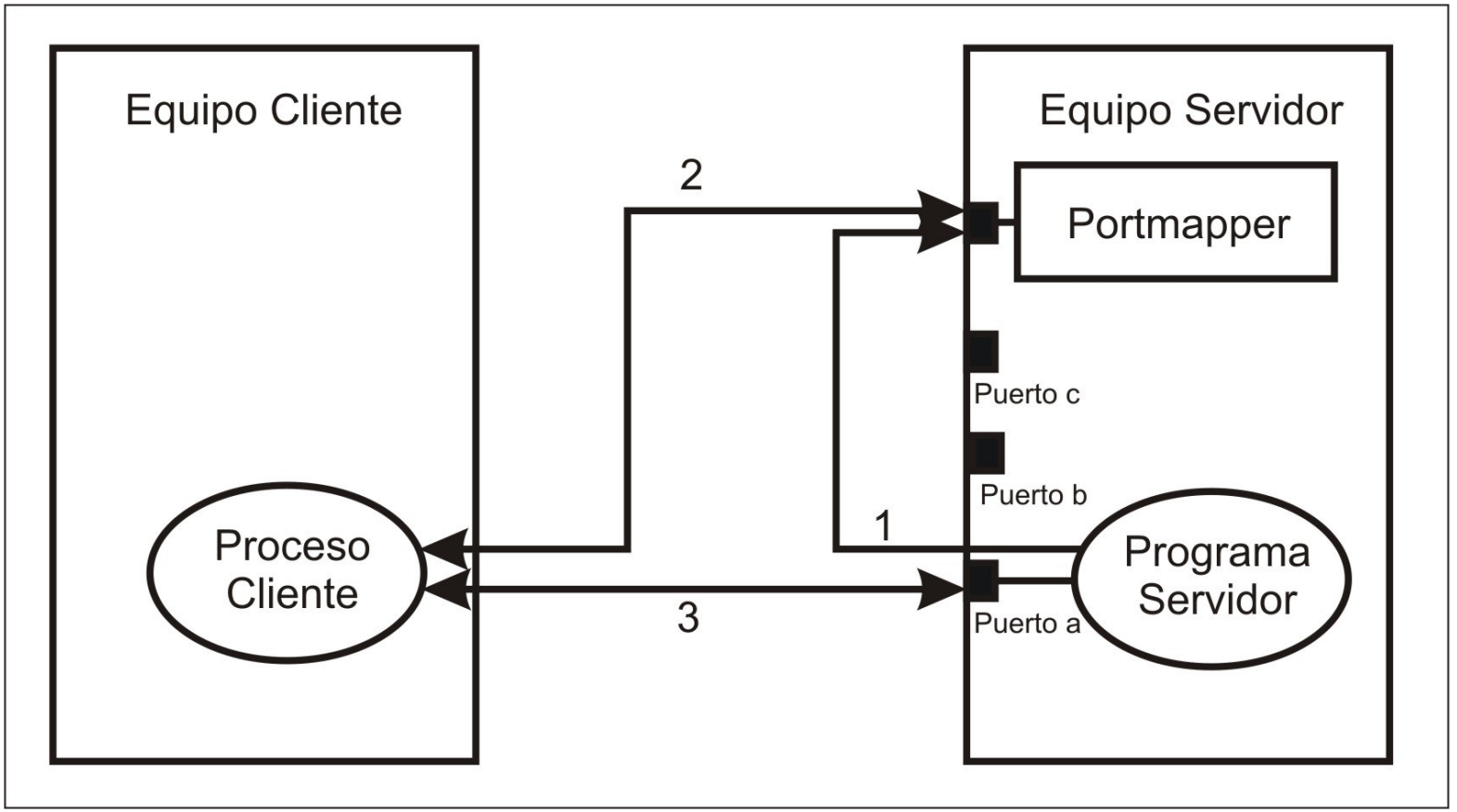
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

- Portmapper: proceso que identifica y localiza procedimientos remotos ofrecidos por un servidor
- Es responsable de las tareas de registro y binding
- Inicialmente, cada servidor registra en el portmapper los procedimientos remotos que exporta.
- `rpcbind` realiza el mapeo (binding) de servicios a puertos.
- El portmapper queda a la escucha (en el puerto 111) y redirecciona las peticiones de acceso a procedimientos remotos hacia sus respectivos puertos locales de escucha.

- Los clientes verifican cada dirección a través del portmapper y luego acceden al servicio.

# GESTIÓN DE SERVICIOS: PORTMAPPER

1. Registro y binding de procedimientos (por parte del servidor)
2. Consulta de servicios y obtención de puertos (por parte del cliente)
3. Acceso a los procedimientos remotos



# RPC: EJEMPLO

- Ejemplo simple de aplicación RPC: servicio para calcular perímetro y área de un cuadrado
  1. Definir el protocolo (XDR)
     - Archivo xdr.x en el cual se definen los métodos que ofrece el servidor.

```
/* Programa perímetro/área del cuadrado */
/* cuadro.x */

program CUADRADO_PROG {
   version CUADRADO_VERS{
       int PERIMETRO(int) = 1;
       double AREA(int) = 2;
   } = 1;
} = 0x31111111;
```

versión del servidor

procedimiento remoto #1

procedimiento remoto #2

program number, de acuerdo a una especificación del protocolo (entre 20000000 y 3FFFFFFF, definidos por el usuario)

# RPC: perímetro y área de un cuadrado

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

- Implementación, compilación y ejecución:
  2. Generar stubs: `rpcgen xdr.x`
     - Genera varios archivos:
       - xdr_clnt.c: código del stub del cliente. Funciones C a llamar desde las aplicaciones clientes para realizar la llamada remota (la comunicación es transparente).
       - xdr_svc.c: código del skeleton del servidor. Incluye un procedimiento main() que registra el procedimiento remoto en el port mapper. Realiza las llamadas ”reales” a las implementaciones de los procedimientos remotos.
       - xdr_xdr.c: código para aplanar/desaplanar (marshalling) los tipos XDR definidos. Sólo se genera si se definen tipos de datos complejos.
       - xdr.h: define tipos, constantes, funciones generales, etc. a ser incluido en cliente y servidor.

# RPC: perímetro y área de un cuadrado

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

- Implementación, compilación y ejecución:
  1. Generar stubs: `rpcgen xdr.x`
     - Opciones de rpcgen
     - `rpcgen -N`: permite procedimientos con dos o más parámetros.
     - `rpcgen -Ss`: genera una implementación vacía de los procedimientos remotos (útil como punto de partida para escribir el servidor).
     - `rpcgen -Sc`: genera código para un cliente por defecto (útil como punto de partida para escribir los clientes).
     - `rpcgen –C –a`: genera código para todos los archivos.

# RPC: perímetro y área de un cuadrado

- Diseñar el servidor
  - Implementa las funciones que ofrece el servicio.
  - Su versión local sería:

```
#include "cuad_local.h"
int perimetro(int a){
  int res;
  res = 4*a;
  return(res);
}

double area(int a){
  double res;
  res = a*a;
  return(res);
}
```

```
/* Archivo cuad_local.h */
int perimetro(int a);
double area(int a);
```

# RPC: perímetro y área de un cuadrado

- Diseñar el cliente
  - Invoca los procedimientos que ofrece el servidor.
  - Su versión local sería:

```
#include <stdio.h>
#include "cuad_local.h"
main(int argc, char *argv[]){
   int a, per;
   double sup;
   if (argc !=2 ) {
     fprintf(stderr,"Error, uso: %s a \n",argv[0]);
     exit(1);
   }
   a = atoi(argv[1]);
   per = perimetro(a);
   sup = area(a);
   printf("El perímetro del cuadrado es %d \n",per);
   printf("El área del cuadrado es %d \n",sup);
}
```

# RPC: USANDO los ARCHIVOS GENERADOS

- Implementar el servidor
- Servidor generado automáticamente por rcpgen

```
#include "cuadro.h"

int *perimetro_1_svc(int *argp, struct svc_req *rqstp){
   static int  result;
   result = 4* (*argp);
   return &result;
}

double *area_1_svc(int *argp, struct svc_req *rqstp){
   static double  result;
   result = (*argp) * (*argp);
   return &result;
}
```

incorporar definición de funciones

# RPC: USANDO los ARCHIVOS GENERADOS

- Implementar el cliente
- Cliente generado automáticamente por rpcgen

```
#include "cuadro.h"
int cuadrado_prog_1(char *host, int lado){
  CLIENT *clnt;
  char *host;
  int a, int *per;
  double *sup;
  perimetro_1_arg = lado;
  area_1_arg = lado;
  if (argc !=3 ) {
     fprintf(stderr,"Error, uso: %s host a \n",argv[0]);
     exit(1);
  }
  a = atoi(argv[1]);
  clnt = clnt_create (host,CUADRO_PROG,CUADRO_VERS,"udp");
    if (clnt == NULL) {
       clnt_pcreateerror (host);
       exit (1);
    }
```

Incluir parámetro

Incluir parámetro

establecer la conexión remota (no hay que incluirlo, lo genera rpcgen)

# RPC: ARCHIVOS GENERADOS

- Implementar el cliente
- Cliente generado automáticamente por rpcgen (continuación)

```
per = perimetro_1(&a, clnt);
if (per == (int *) NULL) {
  clnt_perror (clnt, "call failed");
}

sup = area_1(&a, clnt);
if (sup == (double *) NULL) {
  clnt_perror (clnt, "call failed");
}

printf("El perímetro del cuadrado es %d \n",*per);
printf("El área del cuadrado es %d \n",*sup);

clnt_destroy(clnt);
}
```

invocar procedimientos remotos

cerrar la conexión

# RPC: ARCHIVOS GENERADOS

- Implementar el cliente
- Cliente generado automáticamente por rpcgen (continuación)

```
int
main (int argc, char *argv[])
{
        char *host;
        int par;

        if (argc < 2) {
                printf ("usage: %s server_host lado\n", argv[0]);
                exit (1);
        }
        host = argv[1];
        par = atoi(argv[2]);
        cuadrado_prog_1(host,par);
exit (0);
```

determinar parámetros y usarlos para invocar el procedimiento

# RPC: perímetro y área de un cuadrado

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

- Implementación, compilación y ejecución:

  1. Definir protocolo
  2. Generar stubs
  3. Definir cliente y servidor
  4. Compilar cliente y servidor:

  - `gcc servidor.c xdr_svc.c [xdr_xdr.c] -o servidor –lnsl`
  - `gcc cliente.c xdr_clnt.c [xdr_xdr.c] -o cliente -lnsl`

# OTROS MECANISMOS de RPC

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

- Invocación a procedimientos remotos
  - Java Remote Procedure Interface (RMI)
  - Windows Communication Foundation (WCF), .NET Remoting
- Web services
  - Simple Object Access Protocol (SOAP)
- Middleware
  - CORBA
  - J2EE
  - COM/DCOM

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

# 6.6: MIDDLEWARE DE COMUNICACIÓN ORIENTADO A MENSAJES

# COLAS DE MENSAJES DISTRIBUIDAS

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

- En un middleware orientado a mensajes, además de emisor y receptor aparece un tercer componente de la conexión encargado de las tareas de almacenamiento de mensajes.
- El mecanismo de almacenamiento permite al emisor y/o al receptor estar inactivos sin que se pierdan mensajes.
- El modelo permite las comunicaciones persistentes y asincrónicas.
- Los tiempos de transferencia se incrementan notoriamente.
- Habitualmente implementado mediante colas de mensajes.
  - La idea básica consiste en insertar (put) o quitar (take/get) mensajes en una cola ordenada (first-in-first-out, FIFO).
  - Al emisor sólo se le puede garantizar que el mensaje ha sido insertado correctamente en la cola. No existen garantías de cuándo será leído dicho mensaje.
  - No está ligado a ningún tipo específico de modelo de red.

# COLAS DE MENSAJES DISTRIBUIDAS

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

- API básica de un sistema de colas de mensajes:
  - **put**: añadir un mensaje a una cola de mensajes.
  - **get**: primitiva bloqueante; el proceso invocante se bloquea mientras la cola de mensajes esté vacía, y a su retorno quita el primer elemento.
  - **poll**: primitiva no bloqueante; verifica si hay mensaje en la cola de mensajes, y en tal caso quita el primero. Nunca se bloquea.
  - **notify**: instala en la cola de mensajes un mecanismo que notificará cuando un nuevo mensaje se inserte en la cola.

- Algunas implementaciones de este tipo son:
  - RabbitMQ, Microsoft Message Queue (MSMQ), Java Message Service (JMS), etc.

# RESUMEN

| Método | Reseña |
|---|---|
| Pipe y FIFO | Half-duplex stream de bytes |
| Semáforo | Estructura simple de sincronización |
| Memoria compartida | Múltiples procesos comparten el mismo segmento de memoria |
| Cola de mensajes | Full-duplex stream de paquetes |
| Señales | Mensajes de sistema entre procesos |
| Socket | Full-duplex stream de paquetes mediante interfaz de red |
| RPC | Invocación transparente de métodos remotos |
| Colas de mensajes distribuidas | Comunicación totalmente desacoplada |

# REFERENCIAS




- UNIX Network Programing, 2nd Edition, Richard Stevens

- UNIX System Calls and Subroutines using http://www.cm.cf.ac.uk/Dave/C/CE.html

- The Linux Programming Interface, Michael Kerrisk http://man7.org/tlpi/