uc3m | Universidad Carlos III de Madrid
Departamento de Ingeniería Telemática

INTRODUCCIÓN A LA PROGRAMACIÓN CON SOCKETS

Celeste Campo (celeste@it.uc3m.es)
Carlos García Rubio (cgr@it.uc3m.es)

ÍNDICE

BIBLIOGRAFÍA

- Básica:
  - M.J. Donahoo, K.L. Calvert (2009). *TCP/IP Sockets in C. Practical Guide for Programmers*. 2nd Edition. Morgan Kaufmann Publishers.
  - W. Richard Stevens; Bill Fenner & Andrew M. Rudoff (2003). *Unix Network Programming, Volume 1: The Sockets Networking API*. 3rd Edition. Addison-Wesley Professional.
  - Capítulo 21 de D. E. Comer (2014). *Internetworking with TCP/IP vol I*, 6 Ed Pearson.
  - Beej's Guide to Network Programming (http://beej.us/guide/bgnet/pdf/bgnet_A4_2.pdf).
- Complementaria:
  - http://www.gnu.org/software/libc/manual/html_node/Sockets.html

Introducción

- TCP/IP no define el interfaz con los programas de aplicación (API).
  - Depende mucho del sistema operativo.
- El interfaz *socket*, de BSD UNIX, se ha convertido en el estándar "de facto".
  - A principios de los 80s, ARPA funda un grupo en la Universidad de California en Berkeley para integrar TCP/IP en el sistema operativo UNIX.
  - El sistema que desarrollaron se conoce como Berkeley UNIX o BSD UNIX.
  - Como parte del proyecto, se define un API C para que las aplicaciones puedan usar TCP/IP para comunicarse: interfaz *socket*.
    - Comunicación entre procesos (IPC).
    - Aparece a partir de la versión 4.1 de BSD
    - Se basa en las llamadas de E/S de UNIX.
- En el interfaz *socket* se basan los APIs de otros sistemas operativos (como el *Windows sockets*) y lenguajes de programación (java, Python…)

Llamadas al sistema en UNIX

- UNIX: sistema operativo de tiempo compartido desarrollado a principios de los 70s.
- Orientado a procesos:
  - Cada proceso se ejecuta con un privilegio.
- Las aplicaciones interactúan con el sistema operativo mediante llamadas al sistema ("*system calls*"):
  - Cada vez que una aplicación necesita acceder a un servicio del sistema operativo, lo hace a través de una llamada al sistema.
    - Por ejemplo, las operaciones de E/S.
  - La llamada se ejecuta con privilegios del sistema operativo.
- Para el programador, una llamada al sistema funciona como una llamada a una función:
  - Se le pasan unos argumentos.
  - Realiza una acción.
  - Devuelve resultados.

Entrada/Salida

- Llamadas al sistema para E/S:
  - **`open()`**
    - Prepara el dispositivo o el fichero para hacer la entrada o la salida.
    - Devuelve un entero (*descriptor de fichero*) que se usará en el resto de las llamadas para hacer referencia a ese dispositivo.

```
int desc;
desc = open("filename", O_RWDR, 0);
```

  - **`read()`**
    - Lee datos del dispositivo o fichero.

```
read(desc,buffer,128)
```

  - **`write()`**
    - Escribe datos en el dispositivo o fichero.

```
write(desc,buffer,128)
```

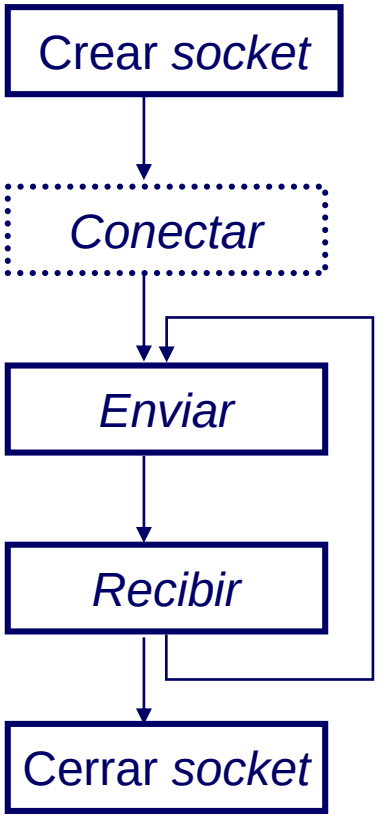
  - **`close()`**
    - Termina el uso de ese dispositivo.

```
close(desc)
```

  - Otras llamadas:
    - **`create()`**: crea un fichero.
    - **`lseek()`**: permite moverse ("saltar") por un fichero sin tener que leer ni escribir.
    - **`ioctl()`**: para control del dispositivo (tamaño de buffer, tabla de caracteres, etc.).

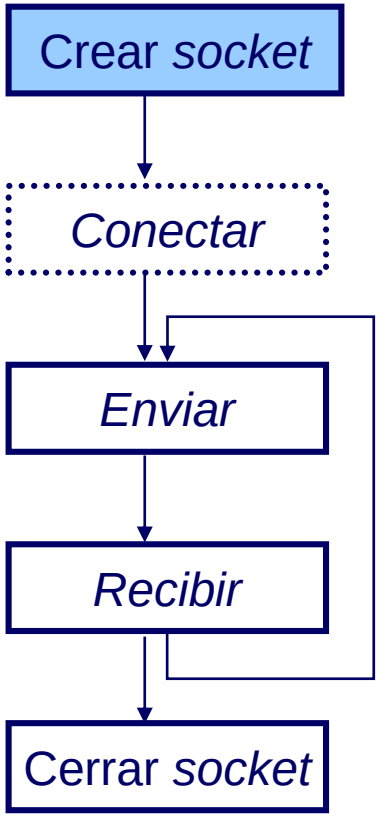
Comunicación entre procesos (IPC)

- Sigue una estructura parecida a la Entrada/Salida:



Crear el socket

- Se hace con la llamada `socket()`.



Crear el *socket*: `socket()`

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>

int socket (int domain, int type, int protocol)
```

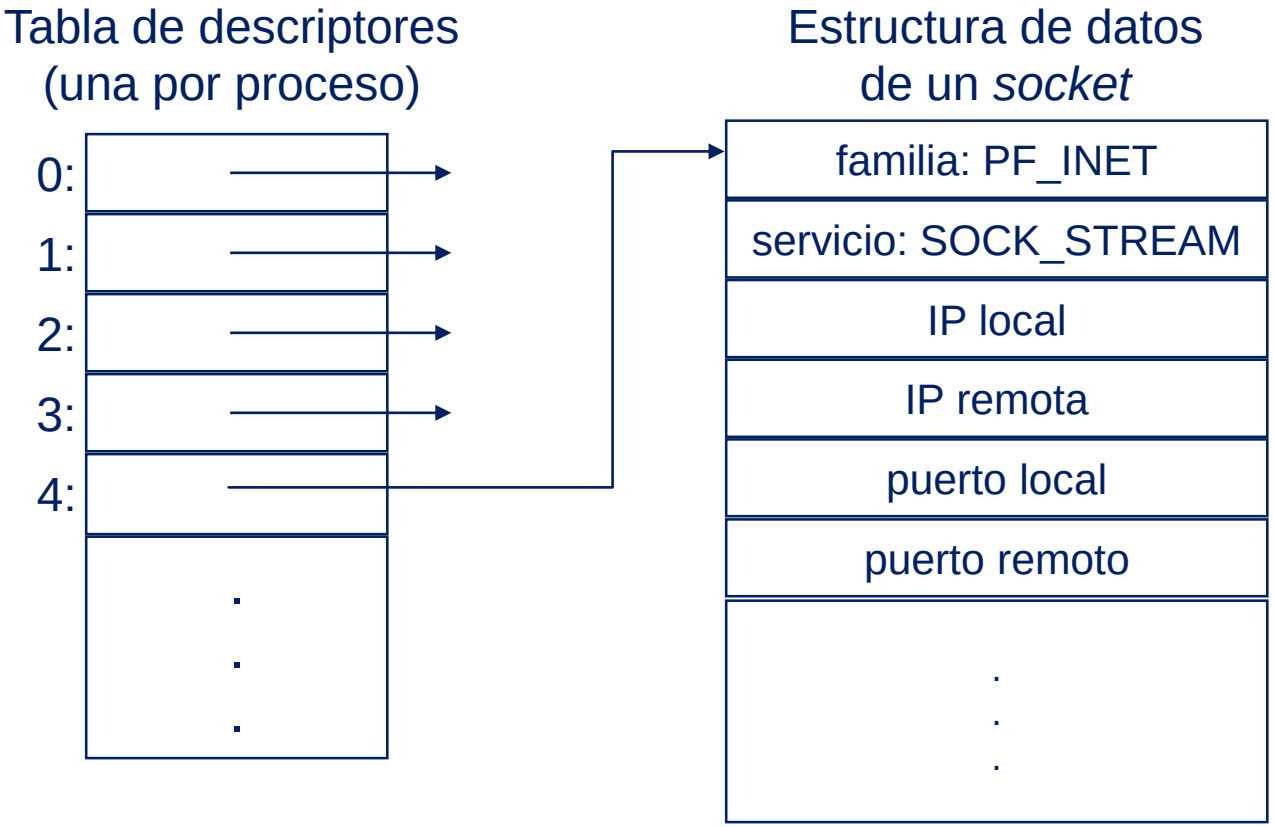
- **`domain`**: dominio de aplicación que representa a una familia de protocolos.
  - **`PF_INET`**: DARPA Internet (TCP/IP). Comunicaciones sobre IPv4.
  - **`PF_INET6`**: IPv6. Comunicaciones sobre IPv6.
  - **`PF_UNIX`**: Sistema de ficheros UNIX (pipe).
  - **`PF_PACKET`**: Packet sockets (Linux).
- **`type`**: tipo de comunicación.
  - **`SOCK_STREAM`**: fiable y ordenada.
  - **`SOCK_DGRAM`**: no fiable y desordenada, conservando los límites de los paquetes.
  - **`SOCK_RAW`**: acceso directo a los protocolos de bajo nivel.
- **`protocol`**: protocolo.
  - Para especificar un protocolo concreto cuando varios pueden dar ese servicio.
  - Si se da el valor 0, el sistema elige un protocolo adecuado según el tipo.
  - **`getprotocolbyname()`** devuelve el número de protocolo a partir del nombre del protocolo mirando en el fichero /etc/protocols
- Resultado:
  - Descriptor del socket que se reutilizará en las siguientes llamadas.
  - **`"-1"`** si se ha producido un error.

Crear el *socket*: clasificación

Llamada	Tipo	Acceso a:
`socket(PF_INET, SOCK_STREAM, IPPROTO_TCP)`	TCP socket	TCP
`socket(PF_INET, SOCK_DGRAM, IPPROTO_UDP)`	UDP socket	UDP
`socket(PF_INET, SOCK_RAW, IPPROTO_ICMP)`	Raw socket	IP
`socket(PF_PACKET, SOCK_RAW, ETH_P_ALL)`	Packet socket (Raw socket)	Ethernet (Linux only)

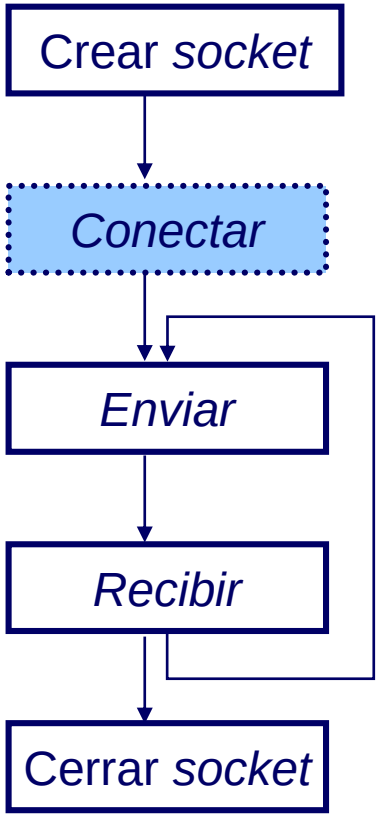
Estructura de datos por *socket*

- Al realizar la llamada a `socket()`, el sistema operativo lo que crea es una estructura de datos para mantener la información asociada a esa comunicación.



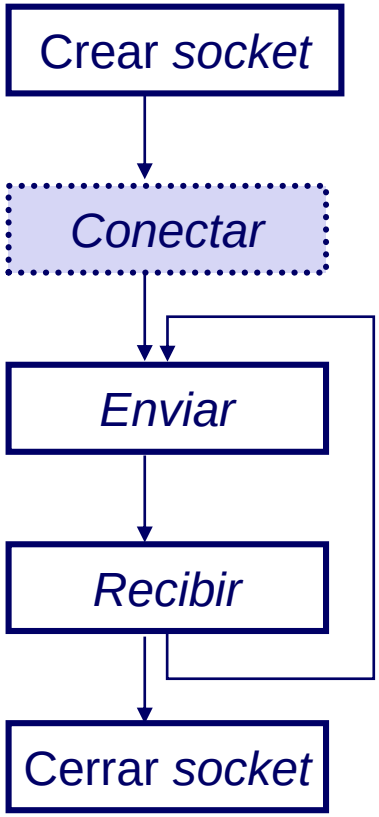
Conectar el socket

- Consiste en indicar las IP y puertos que se va a usar en la comunicación.
- Este paso difiere según sea un cliente o servidor y *stream* o *dgram*:
  - Servidor *stream*:
    - `bind()`
    - `listen()`
    - `accept()`
  - Cliente *stream*:
    - `bind()` (opcional)
    - `connect()`
  - Servidor *dgram*:
    - `bind()`
  - Cliente *dgram*:
    - No es necesario hacer nada (opcionalmente se puede hacer `bind()` y `connect()`)



Conectar el socket

- `bind()`
  - Se suele usar sólo en servidor (*stream* o *dgram*), aunque también se puede usar en el cliente.
    - Si no se hace se asignan valores por defecto.
  - Asigna al socket la dirección IP y puerto locales
- `listen()`
  - Se usa en servidor *stream.*
  - Indica que el socket se va a quedar a la escucha esperando que un cliente se conecte.
- `accept()`
  - Se usa en servidor *stream.*
  - Cuando un cliente se conecta, nos devuelve un nuevo socket por el que nos comunicaremos con él.
- `connect()`
  - Se usa en cliente *stream.*
  - Establece conexión con la IP y puerto remoto indicados.
  - También se puede usar opcionalmente en los clientes *dgram*.
    - No se establece conexión. Simplemente toma nota de la IP y puerto del otro extremo.



Especificar dirección local: `bind()`

- Inicialmente el *socket* se crea sin dirección origen ni destino:
  - En TCP/IP esto significa que no han sido asignados: dirección IP local, puerto local, dirección IP destino, puerto destino.

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>

int bind(int sockfd, struct sockaddr *my_addr, int addrlen);
```

- **`sockfd`**: descriptor del socket.
- **`my_addr`**: es un puntero a una estructura **`sockaddr`**.
- **`addrlen`**: longitud de la estructura anterior.
- Resultado:
  - "**`-1`**" si se ha producido un error.

Estructura sockaddr

```
struct sockaddr {
  sa_family_t    short sa_family;  // unsigned integer
  char           sa_data[14];
};
```

- Mantiene información sobre direcciones de sockets.
- Campos:
  - **sa_family**: familia de direcciones (admite varios valores, como por ejemplo **AF_INET**, **AF_INET6)**.
  - **sa_data**: dirección y número de puerto para el socket.

AF_ versus PF_

- En la llamada *sockets*, al hablar de familias de protocolos hemos visto unas constantes que empiezan por `PF_`.
  - **`PF_INET`**, **`PF_INET6`**, **`PF_UNIX`**, **`PF_PACKET`**…
- Al hablar de familias de direcciones aparecen constantes que empiezan por `AF_`.
  - **`AF_INET`**, **`AF_INET6`**…
- Ambas constantes están definidas en `<sys/socket.h>` y en realidad apuntan al mismo valor.

```
/* Supported address families. */
...
#define AF_INET   2
...
#define AF_INET6 10
...
/* Protocol families, same as address families. */
...
#define PF_INET   AF_INET
...
#define PF_INET6 AF_INET6
...
```

- Por esta razón en la práctica encontraremos mucho código fuente que usa indistintamente `AF_` o `PF_`.

Estructura sockaddr_in

```
struct sockaddr_in {
  sa_family_t    sin_family;      // Internet protocol (AF_INET)
  in_port_t      sin_port;        // Puerto(uint16_t, 16 bits)
  struct in_addr sin_addr;        // Dirección IPv4 (32 bits)
  char           sin_zero[8];     // Sin usar
};

struct in_addr {
    uint32_t     s_addr;          // Dirección IPv4 (32 bits)
};
```

- Particularización de sockaddr para contener información de sockets IPv4 (direcciones IPv4 y puerto de transporte).
- Campos:
  - **sin_family**: admite varios valores, como **AF_INET**.
  - **sin_port**: número de puerto para el socket.
  - **sin_addr**: dirección IP para el socket.
  - **sin_zero**: relleno para mantener el mismo tamaño que **sockaddr** (debe rellenarse a cero).
- Notas:
  - **sin_port** y **sin_addr** deben seguir la “ordenación de octetos de la red”.
  - Es posible hacer “casting” entre punteros a estructuras **sockaddr_in** y **sockaddr**.

Estructura `sockaddr_in6`

- Equivalentes a las anteriores para direcciones IPv6

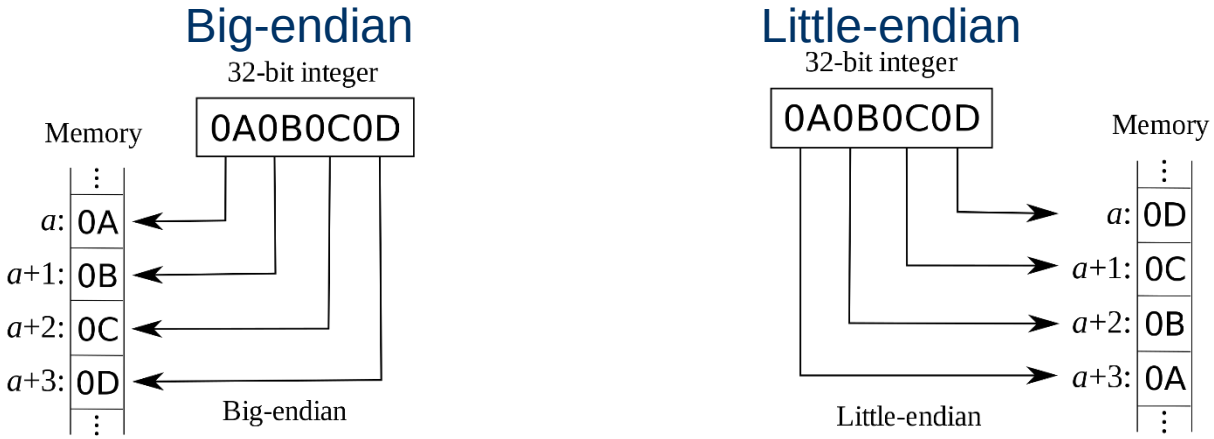
```
struct sockaddr_in6 {
    sa_family_t     sin6_family;   /* AF_INET6 */
    in_port_t       sin6_port;     /* port number */
    uint32_t        sin6_flowinfo; /* IPv6 flow information */
    struct in6_addr sin6_addr;     /* IPv6 address */
    uint32_t        sin6_scope_id; /* Scope ID (new in 2.4) */
};

struct in6_addr {
    unsigned char   s6_addr[16];   /* IPv6 address */
};
```

Tamaño de los enteros en C

- En C se definen varios tipos que pueden contener valores enteros: **`char`**, **`short`**, **`int`**, **`long`**.
- Pero no especifica el tamaño exacto (en bits) con el que se debe almacenar en memoria cada uno de ellos.
  - Sólo el valor mínimo que deben ser capaces de almacenar (**`char`** 8 bits, **`short`** e **`int`** 16 bits, **`long`** 32 bits), y que **`char`** ≤ **`short`** ≤ **`int`** ≤ **`long`**.
  - Depende del compilador, el sistema operativo, la arquitectura del procesador.
- Por esta razón, se debe **evitar estos tipos de datos** cuando queramos representar información que tenemos que enviar por la red.
  - En una máquina un **`int`** puede tener 16 bits, en otra 32, en otra 64…
  - Problemas al migrar el código de una máquina a otra.
- Las RFC que definen los protocolos nos indican claramente el número de bits con el que ocupa un determinado campo de una cabecera o de una información a enviar.
- Para estar seguro de que enviamos/recibimos el número de bits correcto, se usan otros tipos de enteros definidos en el lenguaje C en la versión C99.
- **`#include <stdint.h>`**
  - Con signo: **`int8_t, int16_t, int32_t, int64_t`**
  - Sin signo: **`uint8_t, uint16_t, uint32_t, uint64_t`**

Ordenación de octetos en memoria

- Cualquier tipo de datos de más de un octeto hay dos posibles formas de almacenarlo en memoria:
  - Primer octeto el más significativo.
  - Primer octeto el menos significativo.
- Por ejemplo, el entero de 32 bits 168496141 en hexadecimal es 0x0A0B0C0D. Se puede almacenar en memoria de dos maneras.



- La mayor parte de los procesadores actuales (x86, muchos ARM) son Little-endian.

Ordenación de octetos de la red

- Sin embargo en Internet la "ordenación de octetos de la red" es ("*Big-Endian*").
  - En el ejemplo anterior, 0x0A0B0C0D se enviaría por la red en el siguiente orden: 0A – 0B – 0C – 0D.
- Todo lo que se envíe por la red debe seguir la "ordenación de la red":
  - Datos que se envían por el socket.
  - Algunos campos en determinadas estructuras (como por ejemplo los números de puerto).
- Por lo tanto en algunos casos es preciso realizar conversiones.
  - Depende de la ordenación que use el procesador de nuestra máquina.
- Para no tener que preocuparnos, la biblioteca **`<netinet/in.h>`** proporciona unas funciones que se encargan de hacer la conversión entre el orden de red y el de la máquina, caso de ser necesario.
- **`#include <netinet/in.h>`**:
  - **`uint16_t htons(uint16_t)`**: "*Host to Network Short*" (16 bit de máquina a red).
  - **`uint32_t htonl(uint32_t)`**: "*Host to Network Long*" (32 bit de máquina a red).
  - **`uint16_t ntohs(uint16_t)`**: "*Network to Host Short*" (16 bit de red a máquina).
  - **`uint32_t ntohl(uint32_t):`** "*Network to Host Long*" (32 bit de red a máquina).

Especificar dirección local: `bind()`

```
my_addr.sin_port = 0; /* selecciona, aleatoriamente, un puerto sin usar */
my_addr.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY); /* usa mi dirección IP */
```

- Consideraciones sobre la elección de puerto:
  - Todos los puertos por debajo del 1024 están RESERVADOS, a menos que seas súper-usuario.
  - Puedes usar cualquier número de puerto por encima de ese, hasta el 65535, siempre y cuando no lo esté usando ya otro programa.
- La llamada a **`bind()`** se emplea en programas servidores, en programas clientes no es necesario realizar esta llamada (se llama a **`connect`**).
- En raw sockets, ya que desaparece el concepto de puerto, no sería necesario usar **`bind`**. Sin embargo, sí es necesaria para asociar una dirección IP local (ó un interfaz, pej: eth1) con el raw socket (útil si hay múltiples direcciones IP ó múltiples interfaces y sólo se desea usar una).

Manipulación de direcciones IP

- ¿Cómo se guarda en una estructura **`struct sockaddr_in ina`** la dirección IP "**`163.117.139.233`**" ?:

```
ina.sin_addr.s_addr = inet_addr("163.117.139.233"); /* Ordenación de red*/
```

- Otros llamadas útiles para el tratamiento de direcciones IP:

```
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>
#include <arpa/inet.h>

int inet_aton(const char *cp, struct in_addr *inp);

char *inet_ntoa(struct in_addr inp);
```

  - "**`aton`**" es "*ascii to network*" y "**`ntoa`**" es "*network to ascii*".

Ejemplo de `bind()`

```
#include <string.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>

#define MYPORT 3490

void main() {
  int sockfd;
  struct sockaddr_in my_addr;

  /* Chequear si devuelve -1! */
  sockfd = socket(PF_INET, SOCK_STREAM, 0);
  my_addr.sin_family = AF_INET; /* Ordenación de la máquina */
  my_addr.sin_port = htons(MYPORT); /* Ordenación de la red */
  my_addr.sin_addr.s_addr = inet_addr("132.241.5.10");
  /* Pone a cero el resto de la estructura */
  memset(&(my_addr.sin_zero), '\0', 8);
  /* Chequear si devuelve -1! */
  bind(sockfd, (struct sockaddr *)&my_addr, sizeof(struct sockaddr));
  ...
```

Poner el *socket* a la escucha: `listen()`

- Se realiza en los servidores:
  - Se denominan “sockets pasivos”
  - Quedan a la espera de recibir peticiones de conexión.

```
#include <sys/socket.h>

int listen(int sockfd, int backlog);
```

- **`sockfd`**: descriptor del socket.
- **`backlog`**: número de conexiones permitidas en la cola de entrada.
- Resultado:
  - “`-1`” si se ha producido un error.

Poner el *socket* a la escucha: `accept()`

```
#include <sys/socket.h>

int accept(int sockfd, void *addr, int *addrlen);
```

- **`sockfd`**: descriptor del socket.
- **`addr`**: puntero a una estructura **`struct sockaddr_in`** local, donde se guardará la información de la conexión entrante y con ella se puede averiguar qué máquina se está conectando, y desde qué puerto.
- **`addrlen`**: longitud de la estructura anterior.
- Resultado:
  - Devuelve un descriptor de un socket conectado al cliente.
  - Será por este nuevo socket (no por el original) por el que haremos toda la comunicación con el cliente que se acaba de conectar.
    - El original (`sockfd`) sólo se usa para escuchar nuevas peticiones de establecimientos de conexión de clientes.
  - **"-1"** si se ha producido un error.

Ejemplo de accept()

```
#include <string.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>

#define MYPORT 3490 /* Puerto al que se conectarán los clientes */
#define BACKLOG 10  /* Número de conexiones que vamos a mantener en cola */

void main(){
  int sockfd, new_fd; /* Se escucha sobre sock_fd, nuevas conexiones sobre new_fd */
  struct sockaddr_in my_addr; /* Información sobre mi dirección */
  struct sockaddr_in their_addr; /* Información sobre la dirección remota */
  int sin_size;

  sockfd = socket(PF_INET, SOCK_STREAM, 0);

  my_addr.sin_family = AF_INET; /* Ordenación de la máquina */
  my_addr.sin_port = htons(MYPORT); /* Ordenación de la red */
  my_addr.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY);
  memset(&(my_addr.sin_zero), '\0', 8);

  bind(sockfd, (struct sockaddr *)&my_addr, sizeof(struct sockaddr));
  listen(sockfd, BACKLOG);
  sin_size = sizeof(struct sockaddr_in);
  new_fd = accept(sockfd, (struct sockaddr *)&their_addr, &sin_size);
  …
```

Conectar el *socket*: `connect()`

- Se realiza en los clientes:
  - Obligatorio en los *stream*, opcional en los *dgram*.
  - Se denominan “sockets activos”

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>

int connect(int sockfd, struct sockaddr *serv_addr, int addrlen);
```

- **`sockfd`**: descriptor del socket.
- **`serv_addr`**: es un puntero a una estructura **`sockaddr`** que contiene el puerto y la dirección IP del destino.
- **`addrlen`**: longitud de la estructura anterior.
- Resultado:
  - “**`-1`**” si se ha producido un error.

Conectar el *socket*: `connect()`

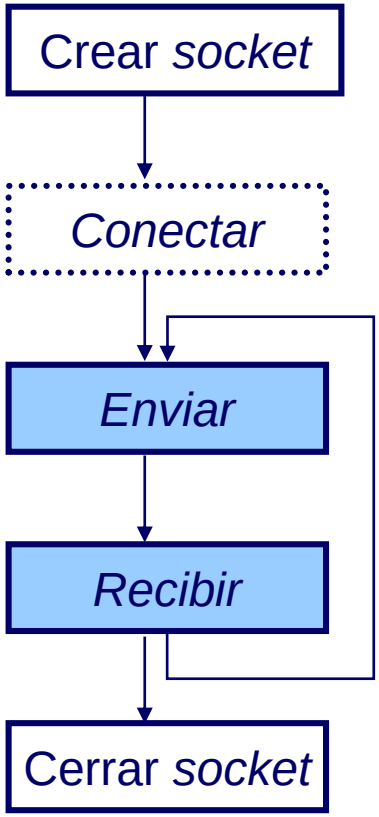
- Conectar un *socket* consiste en asociarlo con una dirección IP y un puerto destino:
  - Obligatorio en los *sockets stream* (**`SOCK_STREAM`**).
    - Hace un establecimiento de conexión (TCP).
    - Da error si no puede establecer la conexión.
  - Opcional en los *sockets datagram* (**`SOCK_DGRAM`**).
    - No establece conexión (UDP).
    - Sólo almacena la dirección destino localmente:
      - Aunque no dé error, puede no existir o ser incorrecta.
      - Simplemente permite transmitir sin tener que especificar la dirección destino cada vez que se envía un mensaje.

Ejemplo de connect()

```
#include <string.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>

#define DEST_IP "10.12.110.57"
#define DEST_PORT 23

void main() {
  int sockfd;
  struct sockaddr_in dest_addr; /* Guardará la dirección de destino */

  sockfd = socket(PF_INET, SOCK_STREAM, 0); /* Chequear si devuelve -1! */
  dest_addr.sin_family = AF_INET; /* Ordenación de la máquina */
  dest_addr.sin_port = htons(DEST_PORT); /* Ordenación de la red */
  dest_addr.sin_addr.s_addr = inet_addr(DEST_IP);
  /* Pone a cero el resto de la estructura */
  memset(&(dest_addr.sin_zero), '\0', 8);

  /* Chequear si devuelve -1! */
  connect(sockfd, (struct sockaddr *)&dest_addr, sizeof(struct sockaddr));
  ...
```

Enviar y recibir datos

- Para sockets *stream* (o clientes *dgram* que hayan hecho `connect()`):
  - `send()`
  - `recv()`
- Para sockets *dgram*:
  - Hay que indicar en cada mensaje la IP y puerto del otro extremo.
  - `sendto()`
  - `recvfrom()`
- Hay otros métodos para hacer lo mismo.
  - `read(), write()`
  - `sendmsg(), rsvmsg()`



Enviar datos *socket* conectado: `send()`

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>

ssize_t send(int sockfd, const void *msg, size_t len, int flags);
```

- **`sockfd`**: descriptor del socket.
- **`msg`**: puntero a los datos que se quieren enviar.
- **`len`**: longitud de los datos en octetos.
- **`flags`**: normalmente a 0.
- Resultado:
  - Número de octetos enviados. (¡¡¡ Puede ser menor que **`len`**!!!)
  - "**`-1`**" si se ha producido un error.
- Es el método de envío en *sockets stream*.

Enviar datos *socket* no conectado: `sendto()`

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>

ssize_t sendto(int sockfd, const void *msg, size_t len, int flags,
           const struct sockaddr *to, socklen_t tolen);
```

- **`sockfd`**: descriptor del socket.
- **`msg`**: puntero a los datos que se quieren enviar.
- **`len`**: longitud de los datos en octetos.
- **`flags`**: normalmente a 0.
- **`to`**: contiene información sobre la IP y puerto del destino.
- **`tolen`**: longitud de la estructura anterior.
- Resultado:
  - Número de octetos enviados. (¡¡¡ Puede ser menor que **`len`**!!!)
  - "**`-1`**" si se ha producido un error.
- Es el método de envío en *sockets datagram*.
  - NOTA: si usas *socket datagram* pero has realizado un **`connect()`** se puede utilizar el método **`send`**.

Recibir datos *socket* conectado: `recv()`

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>

ssize_t recv(int sockfd, void *buf, size_t len, int flags);
```

- **`sockfd`**: descriptor del socket.
- **`buf`**: el buffer donde se va a depositar la información leída .
- **`len`**: longitud máxima del buffer.
- **`flags`**: normalmente a 0.
- Resultado:
  - Número de octetos recibidos.
  - "`0`" la máquina remota ha cerrado la conexión.
  - "`-1`" si se ha producido un error.
- Es el método de recepción en *sockets stream*.

Recibir datos *socket* no conectado: `recvfrom()`

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>

ssize_t recvfrom(int sockfd, void *buf, size_t len, int flags,
                 struct sockaddr *from, socklen_t *fromlen);
```

- **`sockfd`**: descriptor del socket.
- **`buf`**: el buffer donde se va a depositar la información leída .
- **`len`**: longitud máxima del buffer.
- **`flags`**: normalmente a 0.
- **`from`**: contiene información sobre la IP y puerto de la máquina de origen.
- **`fromlen`**: longitud de la estructura anterior.
- Resultado:
  - Número de octetos recibidos.
  - "**`0`**" la máquina remota ha cerrado la conexión.
  - "**`-1`**" si se ha producido un error.
- Es el método de recepción en *sockets datagram*.
  - NOTA: si usas *socket datagram* pero has realizado un **`connect()`** se puede utilizar el método **`recv`**.

Recepción de datos no bloqueante

- Las operaciones de lectura sobre un *socket* son normalmente bloqueantes.
  - Cuando se realiza una lectura de sobre un *socket*, el proceso queda dormido esperando que complete la operación (llegan datos o se cierra la conexión).
- En ocasiones es recomendable que sea no bloqueante y poder realizar otras tareas en vez de esperar a que los datos estén disponibles.
- Dos formas de hacerlo:
  - `fcntl()`
  - `select()`

Recepción de datos no bloqueante: `fcntl()`

- `fcntl()` es una función de control que nos permite realizar diferentes operaciones sobre descriptores (de ficheros, de sockets,...) en general.

```
#include <fcntl.h>

int fcntl(int fd, int cmd, /* int arg*/);
```

- Cada descriptor tiene asociado un conjunto de flags que nos permiten conocer ciertas características del descriptor.
  - Para obtener el valor de estos flags, se realiza una llamada a `fcntl()` con el parámetro `cmd` al valor `F_GETFL`. Para modificar el valor de los flags, se utiliza el valor `F_SETFL`.
- Para indicar que las operaciones de entrada y salida sobre un socket no sean bloqueantes, es necesario activar el flag `O_NONBLOCK` en el descriptor del socket. El código necesario para ello es el siguiente:

```
// sd es el descriptor del socket

 if ( fcntl(sd, F_SETFL, O_NONBLOCK) < 0 )
   perror("fcntl: no se puede fijar operaciones no bloqueantes");
```

Recepción de datos no bloqueante: `select()`

```
#include <sys/time.h>
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>

int select(int numfds, fd_set *readfds, fd_set *writefds,
           fd_set *exceptfds, struct timeval *timeout);
```

Permite manejar en nuestra aplicación varios sockets y comprobar si nos ha llegado datos por alguno de ellos. Le pasamos un conjunto de descriptores de sockets a comprobar:

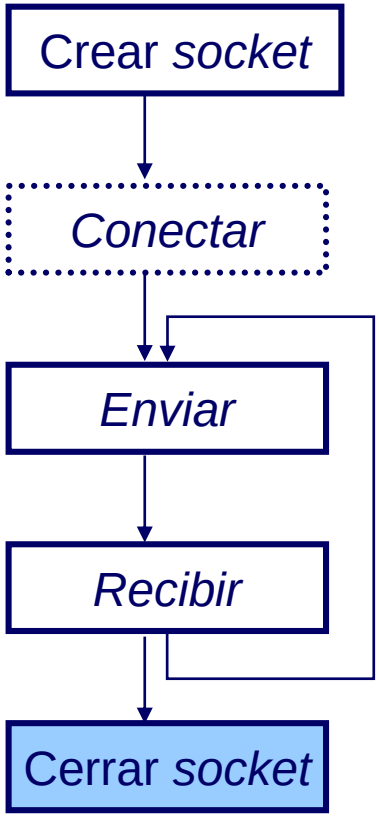
- **`numfds`**: valor del mayor descriptor de fichero más uno.
- **`readfds`**: conjunto de descriptores de lectura.
- **`writefds`**: conjunto de descriptores de escritura.
- **`exceptfds`**: conjunto de descriptores que producen excepciones.
- **`timeout`**: temporizador que hará regresar a **`select()`** incluso aunque ningún descriptor de fichero esté listo.
- Resultado:
  - Devuelve los sockets listos para lectura/escritura/que han producido excepciones.
  - Nota: la función **`select()`** modifica las estructuras de entrada. Por tanto, se recomienda hacer una copia previa a la llamada a la función.
  - **`"-1"`** si se ha producido un error.

Otras llamadas para enviar/recibir

- Existen otras llamadas equivalentes:
  - `int sendmsg(int sockfd, const struct msghdr *msg, int flags)`
  - `int recvmsg(int s, struct msghdr *msg, int flags)`
- Se puede utilizar también los métodos de escritura y lectura de E/S:
  - `int write(socket, buffer, length)`
  - `int read(socket, buffer, length)`

Cerrar el socket

- Se puede hacer con dos llamadas:
  - `close()`
  - `shutdown()`



Cerrar el *socket*: `close()`, `shutdown()`

```
int close(sockfd);
```

- **`sockfd`**: descriptor del socket.
- Si se cierra un socket con **`close`** el otro extremo cuando intente leer o escribir de ese socket recibirá un error. Para tener más control y realizar por ejemplo un “half-close” es necesario emplear la llamada:

```
int shutdown(int sockfd, int how);
```

- **`sockfd`**: descriptor del socket.
- **`how`**: toma uno de los siguientes valores:
  - “**`0`**” no se permite recibir más datos.
  - “**`1`**” no se permite enviar más datos.
  - “**`2`**” no se permite enviar ni recibir más datos (lo mismo que **`close()`**).

Llamadas auxiliares: `gethostbyname()`

```
#include <netdb.h>

struct hostent *gethostbyname(const char *name);
```

```
struct hostent {
  char   *h_name;
  char   **h_aliases;
  int    h_addrtype;
  int    h_length;
  char   **h_addr_list;
};
#define h_addr h_addr_list[0]
```

- **`h_name`** : nombre oficial de la máquina.
- **`h_aliases`** : vector [*array*] terminado en **`NULL`** de nombres alternativos de máquina.
- **`h_addrtype`** : tipo de la dirección que se devuelve; usualmente **`AF_INET`**.
- **`h_length`** : longitud de la dirección en octetos.
- **`h_addr_list`** : un vector terminado en cero de direcciones de red de la máquina.
- **`h_addr`** : la primera dirección de **`h_addr_list`**.

Ejemplo de gethostbyname()

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <errno.h>
#include <netdb.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>
#include <arpa/inet.h>

int main(int argc, char *argv[]){
  struct hostent *h;

  if (argc != 2) { // Comprobación de errores en la línea de comandos
    fprintf(stderr,"usage: getip address\n");
    exit(1);
  }

  if ((h=gethostbyname(argv[1])) == NULL) { // Obtener información del host
    herror("gethostbyname");
    exit(1);
  }
  printf("Host name : %s\n", h->h_name);
  printf("IP Address : %s\n", inet_ntoa(*((struct in_addr *)h->h_addr)));
  return 0;
}
```

Llamadas auxiliares: gethostbyaddr()

```
#include <netdb.h>

struct hostent *gethostbyaddr(const void *addr, int len, int type);
```

```
   struct sockaddr_in clientaddr;
   int clientlen = sizeof(clientaddr);
   int new_fd = accept(sockfd, (struct sockaddr *)&clientaddr, &clientlen);
   if (new_fd == -1) {
      perror("ERROR on accept");
      exit(0);
   }

   /* gethostbyaddr: determine who sent the message */
   struct hostent *host = gethostbyaddr((const char *)&clientaddr.sin_addr.s_addr,
                                        sizeof(clientaddr.sin_addr.s_addr), AF_INET);

   if (host == NULL) {
      perror("ERROR on gethostbyaddr");
      exit(0);
   }
   char *hostaddr = inet_ntoa(clientaddr.sin_addr);

   if (hostaddr == NULL) {
      perror("ERROR on inet_ntoa\n");
      exit(0);
   }
   printf("server got connection from %s (%s)\n", host->h_name, hostaddrp);
```

Otras llamadas auxiliares

```
#include <unistd.h>

int gethostname(char *hostname, size_t size);
```

- **`hostname`**: puntero a una cadena de carácteres donde se almacenará el nombre de la máquina cuando la función retorne.
- **`size`**: longitud en octetos de la cadena de caracteres anterior.

```
#include <unistd.h>

int sethostname(char *hostname, size_t size);
```

- **`hostname`**: puntero a una cadena de carácteres donde se indica el nombre que se quiere poner a la máquina.
- **`size`**: longitud en octetos de la cadena de caracteres anterior.

Otras llamadas auxiliares

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>

int getsockopt(int sockfd, int level, int optname, void *optval,
               socklen_t *optlen);
```

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>

int setsockopt(int sockfd, int level, int optname, const void *optval,
               socklen_t *optlen);
```

- Permiten obtener y establecer, respectivamente, opciones del socket o del protocolo (por ejemplo, temporizadores, si permite difusión,…).
- Lo usaremos habitualmente en servidores para poder reutilizar inmediatamente un número de puerto, sin esperar 2MSL.
  - Se puede hacer siempre y cuando no coincidan los cuatro valores IP origen, IP destino, puerto origen, puesto destino.
- También para configuración de opciones para difusión:
  - Normalmente, sólo los servidores usan **`setsockopt()`**.
  - Los clientes usan **`send()`** igual que si fuera unicast, pero asignando una dirección de difusión en la estructura **`sockaddr_in`** de **`send()`**.

Ejemplo de `setsockopt()`

```
// Nota: faltan todos los #includes.
// Ejemplo de reutilización de puerto usado recientemente

main(int argc, char *argv[]) {
  int sockfd;
  int port = 5355;
  struct sockaddr_in serveraddr; // server's addr
  int optval = 1; // flag value for setsockopt

  sockfd = socket(PF_INET, SOCK_STREAM, 0);

  /* setsockopt: lets s rerun the server immediately after we kill it.
   * Eliminates "ERROR on binding: Address already in use" error. */
  setsockopt(new_fd, SOL_SOCKET, SO_REUSEADDR, (const void *)&optval ,
             sizeof(int));

  bzero((char *) &serveraddr, sizeof(serveraddr));
  serveraddr.sin_family = AF_INET;
  serveraddr.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY);
  serveraddr.sin_port = htons((unsigned short)port);
  bind(sockfd, (struct sockaddr *) &serveraddr, sizeof(serveraddr));
  ...
```

Ejemplo de `setsockopt()`

```
// Nota: faltan todos los #includes.
// Ejemplo de servidor que escucha por una dirección de difusión
#define PORT 5355
#define GROUP "239.255.255.253"
main(int argc, char *argv[]) {
  struct sockaddr_in addr;
  struct ip_mreq mreq;
  int fd;

  fd=socket(AF_INET,SOCK_DGRAM,0); // Hay que comprobar si devuelve -1
  memset(&addr,0,sizeof(addr));
  addr.sin_family=AF_INET;
  addr.sin_addr.s_addr=htonl(INADDR_ANY);
  addr.sin_port=htons(PORT);
  // Hay que comprobar si devuelve -1
  bind(fd,(struct sockaddr *)&addr,sizeof(addr));

  mreq.imr_multiaddr.s_addr=inet_addr(GROUP); // Se une al grupo de difusión
  mreq.imr_interface.s_addr=htonl(INADDR_ANY);// Mi dirección IP
  // Hay que comprobar si devuelve -1
  setsockopt(fd,IPPROTO_IP,IP_ADD_MEMBERSHIP,&mreq,sizeof(mreq));
  // A continuación, recvfrom() se usa para leer datos del grupo de difusión
  ...
```

Cliente UDP

1. Averiguar la dirección IP y puerto del servidor con el que desea comunicarse.
2. Crear un socket: llamada a **`socket()`**.
3. Especificar que UDP use cualquier puerto local libre.
4. Especificar a qué servidor deben enviarse los mensajes.
   - Con un **`connect()`** se hacen los pasos 3 y 4.
   - Si no, habrá que especificar la dirección en cada mensaje que se envíe (en **`sendto`**).
5. Comunicarse con el servidor.
   - Enviar y recibir (llamadas a **`sendto/recvfrom`**, **`send/recv`**, ...).
6. Cerrar la conexión: llamada a **`close()`**.

Servidor UDP

1. Crear un socket: llamada a **`socket()`**.
2. Asociarlo al puerto local “bien conocido” que ofrece ese servicio: llamada a **`bind()`**.
3. Bucle:
   – Recibir y enviar datos al cliente (llamadas a **`sendto/recvfrom`**).
4. Cerrar socket: llamada a **`close()`**.

Cliente TCP

1. Averiguar la dirección IP y puerto del servidor con el que desea comunicarse.
2. Crear un socket: llamada a **`socket()`**
3. Especificar que TCP use cualquier puerto local libre.
   - Lo hace automáticamente el **`connect()`** si no se hace previamente un **`bind()`**.
4. Conectar con el servidor.
   - Esto abre la conexión TCP: llamada a **`connect()`**.
5. Comunicarse con el servidor
   - Enviar y recibir por el socket (llamadas a **`send/recv`**).
6. Cerrar el socket: llamada a **`close()`**.

Servidor TCP

1. Crear un socket: llamada a **`socket()`**.
2. Asociarlo al puerto local “bien conocido” que ofrece ese servicio: llamada a **`bind()`**.
3. Poner el socket en modo pasivo, dispuesto a aceptar peticiones de conexión: llamada a **`listen()`**.
4. Bucle:
   - Recibir petición de cliente.
   - Atender petición (por nuevo socket): llamada a **`accept()`**
     - Enviar/recibir por socket (llamadas a **`send/recv`**).
     - Cerrar nuevo socket (llamada a **`close()`**) y volver a punto 3.
5. Cerrar socket: llamada a **`close()`**.

Servidor TCP concurrente

1. Crear un socket.
2. Asociarlo al puerto local “bien conocido” que ofrece ese servicio.
3. Poner el socket en modo pasivo, dispuesto a aceptar peticiones de conexión.
4. Cuando recibe petición de cliente:
   - Crea un nuevo proceso hijo:
     - Le pasa el nuevo socket para atender esa petición.
   - Vuelve al punto 3.
5. Cerrar socket.
6. En paralelo, el proceso esclavo interactúa con el cliente.
   - Enviar/recibir por socket.
   - Cierra el socket y termina.