



Comunicaciones

Ignacio Alvarez García

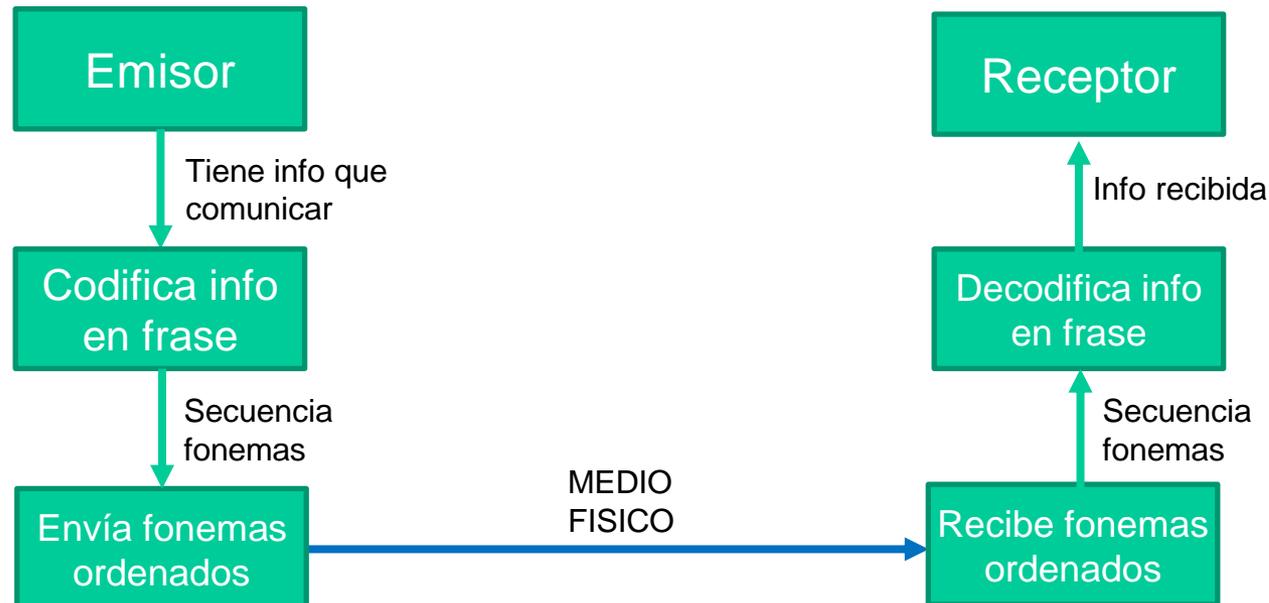
Julio - 2022

Comunicaciones

□ Comunicación:

- Permite enviar informaciones desde un emisor a un receptor
- Emisor y receptor pueden (y suelen) intercambiar sus papeles
- La información se codifica en tramas: secuencias de datos entendibles por ambos
- Es necesario un protocolo: ¿cuándo enviar/recibir? ¿qué hay que responder? ¿cómo se codifica/decodifica cada trama?

COMUNICACIÓN HUMANA ORAL

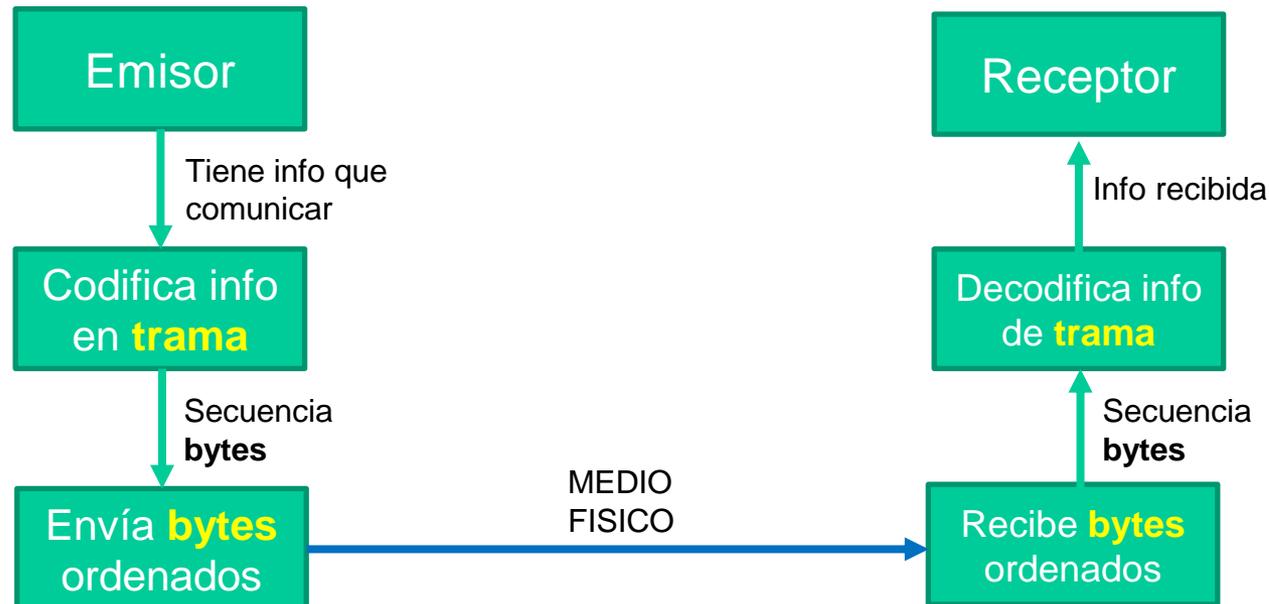


Comunicaciones

□ Comunicación:

- Permite enviar informaciones desde un emisor a un receptor
- Emisor y receptor pueden (y suelen) intercambiar sus papeles
- La información se codifica en tramas: secuencias de datos entendibles por ambos
- Es necesario un protocolo: ¿cuándo enviar/recibir? ¿qué hay que responder? ¿cómo se codifica/decodifica cada trama?

COMUNICACIÓN ENTRE COMPUTADORES





Comunicaciones

□ Comunicaciones:

- Mecanismo(s) de intercambio de información entre 2 ó más computadores conectados entre sí o a través de otros.

□ Terminología:

- **Trama:** unidad de información a transmitir (secuencia de bytes)
- **Medio:** elemento físico por el que circula la información, y características de dicho medio.
- **Interfaz:** conexión del computador al medio físico.
- **Emisor:** dispositivo/programa que genera y envía una trama.
- **Receptor:** dispositivo/programa que debe recibir y procesar una trama.
- **Cliente:** dispositivo/programa que inicia una secuencia de comunicación.
- **Servidor:** dispositivo/programa que espera una comunicación
- **Protocolo:** conjunto de todas las características de la comunicación para que sea viable (interfaz, codificación de tramas, control de errores, secuenciación de tramas, ...)



Comunicaciones

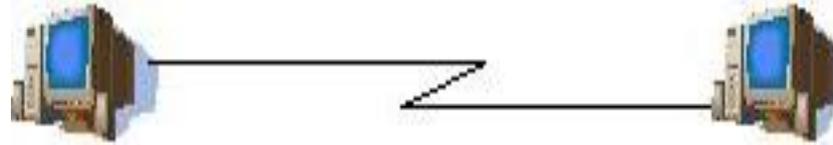
- Punto a punto: sólo hay un emisor y un receptor
 - Serie (RS-232,USB)
 - Paralelo
 - Inalámbrica (Bluetooth)

- En bus: varios emisores y receptores, todos conectados al mismo medio físico
 - Serie (RS-485, I2C, SPI, CAN, ...)

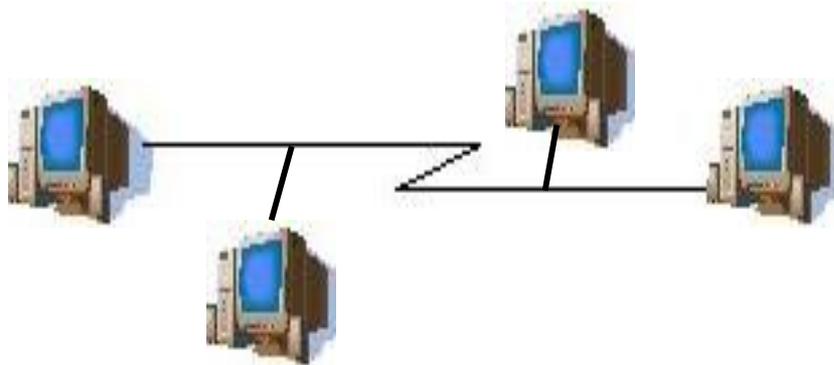
- En red: varios emisores y receptores, no todos conectados al mismo medio físico
 - Red cableada (Ethernet)
 - Red inalámbrica (Wifi)

Comunicaciones

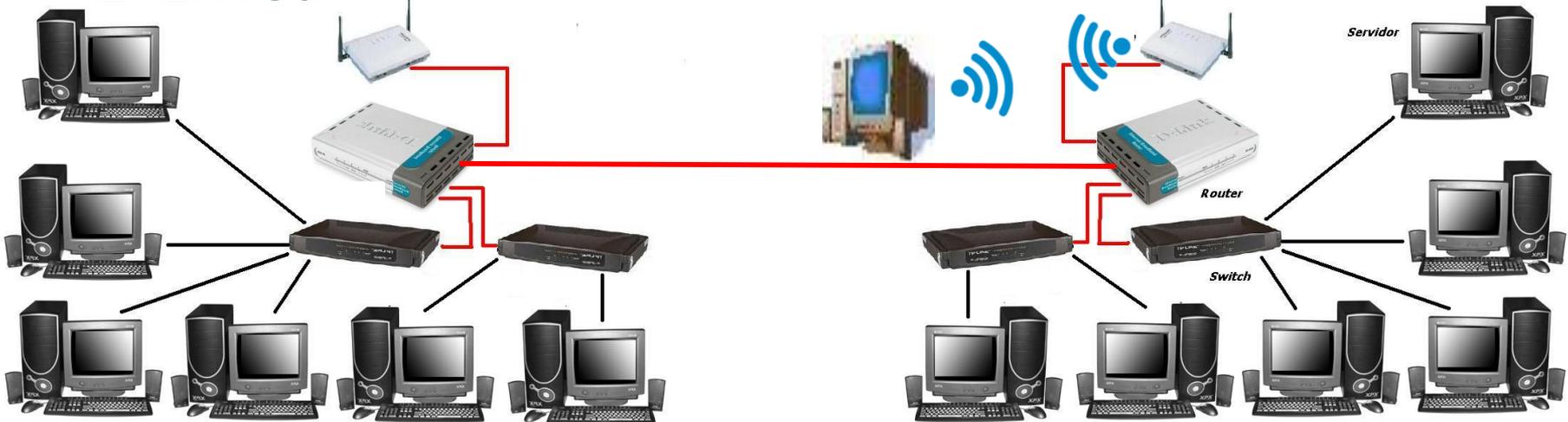
□ Punto a punto



□ En bus



□ En red

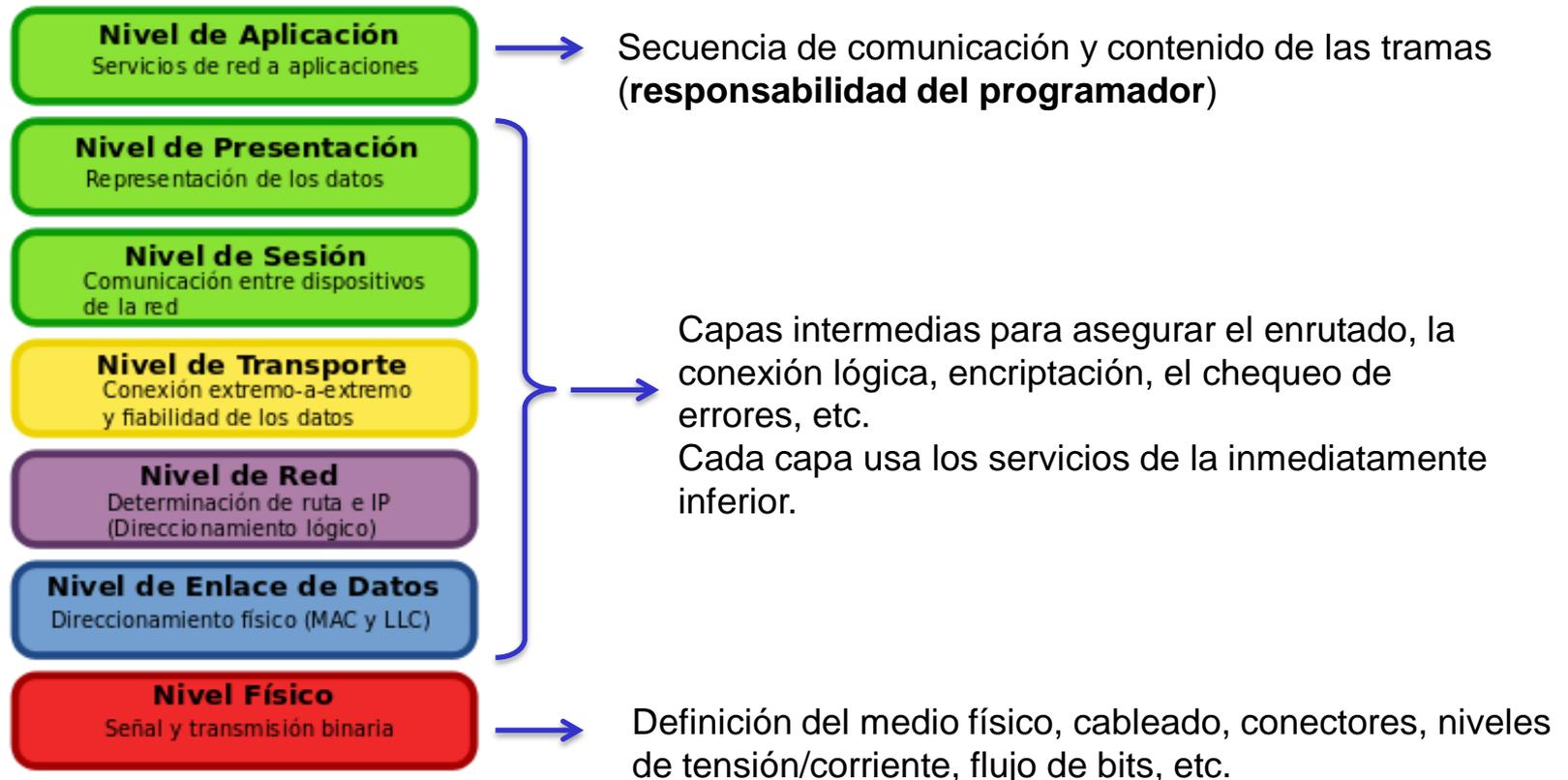




Comunicaciones

□ Especificación de comunicaciones: modelo de capas (ISO/OSI)

LA PILA OSI





Comunicaciones

- La programación de comunicaciones a nivel de capa de aplicación:
 - Codificar en tramas los contenidos a transmitir.
 - Definir la secuencia de comunicación: establecimiento de conexión, envío/recepción, fin de conexión.
 - Identificar al receptor en comunicaciones multi-punto.
 - Establecer protocolo de acceso al medio si no existe en las capas inferiores.
 - Establecer método de detección/corrección de errores si no existe en las capas inferiores.
- Equipos “pequeños” (sin S.O.): programación del interfaz a nivel de puertos e interrupciones (o librerías disponibles).
- Equipos “grandes” (con S.O.): programación a nivel de dispositivos de E/S.

Comunicaciones

□ Protocolos estándar:

- HTTP
- MODBUS (RTU/TCP)
- CANopen
- EtherCAT
- ProfiBus
- GigE Vision
- ...

□ Protocolos específicos:

- Desarrollados por un fabricante determinado para sus productos

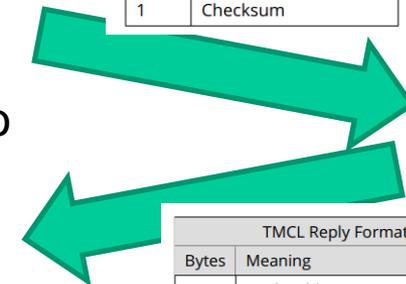
□ Protocolos ad hoc

- Para un problema concreto

TMCL Command Format	
Bytes	Meaning
1	Module address
1	Command number
1	Type number
1	Motor or Bank number
4	Value (MSB first!)
1	Checksum

Maestro

Esclavo



TMCL Reply Format	
Bytes	Meaning
1	Reply address
1	Module address
1	Status (e.g. 100 means no error)
1	Command number
4	Value (MSB first!)
1	Checksum



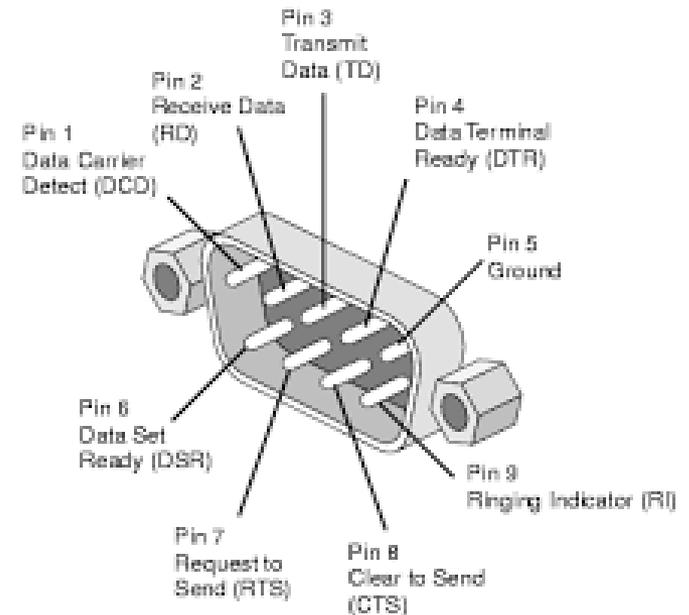
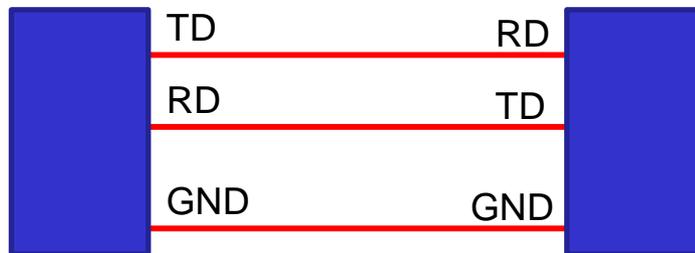
Comunicaciones serie y en bus

- **Protocolos estándar de comunicación serie:**
 - UART (RS-232, RS-485): largas distancias (metros o cientos de metros), baja velocidad (menor que 1Mbps)
 - I2C, SPI: pequeñas distancias (cm), alta velocidad (decenas de Mbps)
 - USB
 - Otros (industriales): CAN, ProfiBus, ...
- **Características principales:**
 - Síncrono/asíncrono (con sin señal de reloj)
 - Velocidad (bits por segundo)
 - Selección de esclavo (sólo en caso de bus)
 - ...

Comunicaciones serie tipo UART

- ❑ Todos los bits se transmiten por un mismo hilo, uno después de otro
- ❑ Sin niveles intermedios entre la capa de aplicación y el medio físico: todo es responsabilidad del programador
- ❑ Estándares más usados:
 - RS-232: punto a punto
 - RS-485: multi-punto

RS-232: configuración mínima



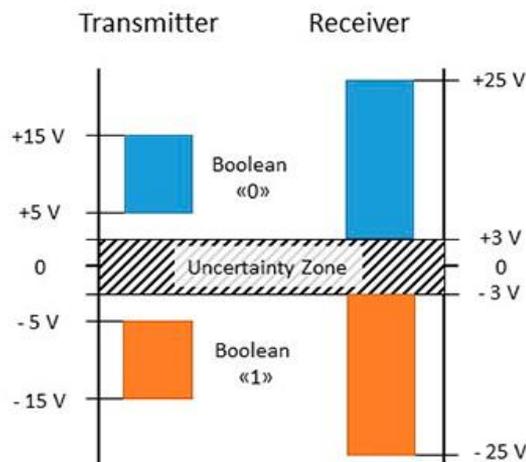
Las señales RS-232 son single-ended (referidas a masa común)



Comunicaciones serie RS-232

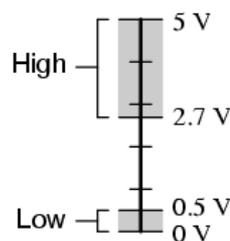
ATENCIÓN: *ambos equipos tienen que usar los mismos niveles de tensión para las señales*

□ Niveles de tensión estándar original

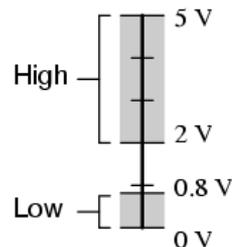


□ Niveles de tensión equipos pequeños (TTL)

Acceptable TTL gate output signal levels

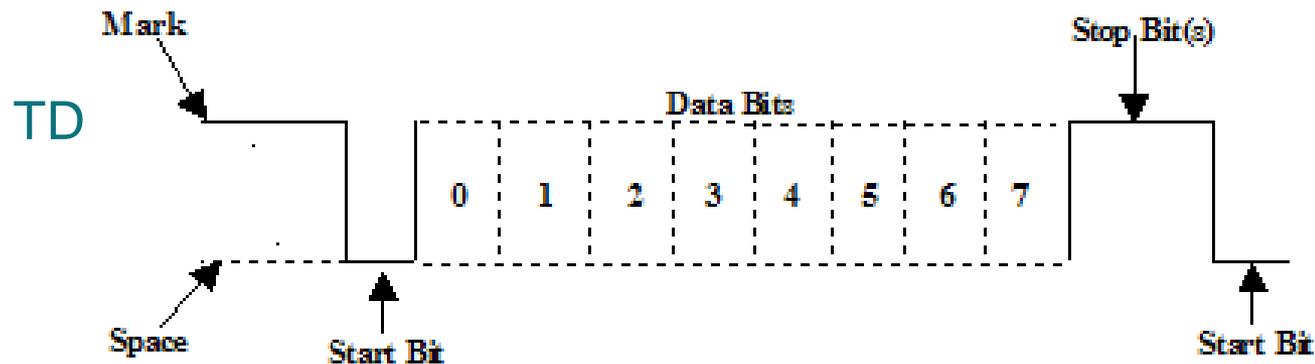


Acceptable TTL gate input signal levels



Comunicaciones serie RS-232

- ❑ La línea de transmisión TD se mantiene a 1 si no hay datos que enviar
- ❑ Cada equipo usa su propio reloj
- ❑ Antes del comienzo de datos, se baja la línea TD a 0 durante un periodo (start)
- ❑ Se envían los bits de un dato a impulsos del reloj
- ❑ Al finalizar un dato, se envía un bit de paridad (opcional) y uno o varios de stop (línea a 1)





Comunicaciones serie RS-232

- Los programas de los dos equipos conectados tienen que utilizar los mismos parámetros de comunicación:
 - Baudrate: velocidad de reloj (bits/segundo)
 - ✦ Valores normalizados: 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 230400, 460800, 921600
 - Número de bits de datos: 5 a 8
 - Uso de paridad: par (even), impar (odd), ninguna (none)
 - Número de bits de stop: 1, 1.5 ó 2
 - Uso de líneas auxiliares para sincronización hardware: RTS/CTS (Request To Send/Clear To Send)
 - Uso de sincronización software: bytes especiales XON/XOFF



Comunicaciones serie RS-232

- Aunque es posible programar la comunicación con el estándar C (FILE* fid, fopen(),fclose(), ...):
 - Este juego de funciones no admite cambiar los parámetros de la comunicación
 - No existe la posibilidad de controlar las líneas auxiliares

- Más habitual con funciones no estándar:
 - Windows:
 - HANDLE fid, CreateFile(), ReadFile(), WriteFile()
 - Linux:
 - int fid, open(), read(), write()
 - Funciones auxiliares para control de comunicación: ioctl(), fcntl(), tcgetattr(), tcsetattr(), tcflush()



Comunicaciones serie RS-232

- Ejemplo con comentarios:
Comunicación serie con Arduino Uno

<http://isa.uniovi.es/~ialvarez/Curso/infindycom/ejemplos/SerialPort.pdf>

Arduino Uno:

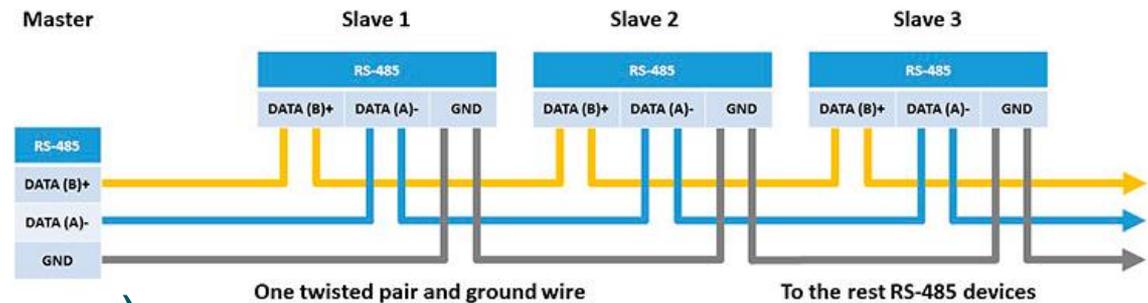
Microcontrolador programable en C/C++ con
Arduino IDE (ojo, el main() está “escondido”)

```
main()
{
  setup();    // Función de usuario
  while (1)
    loop();  // Función de usuario
}
```

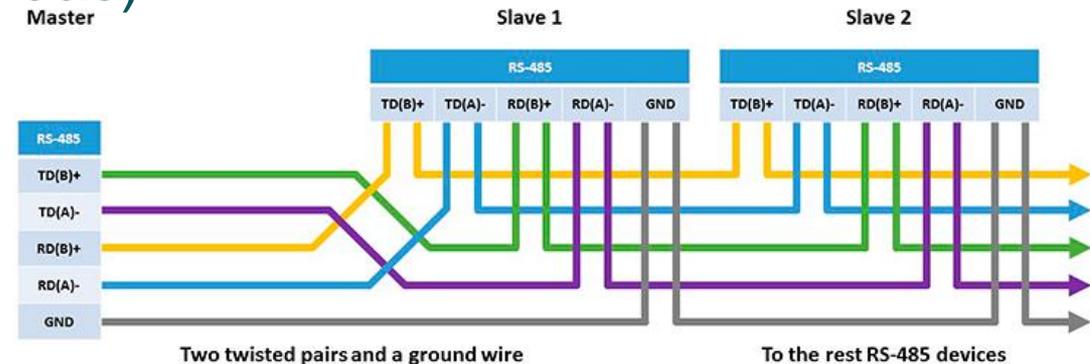


Comunicaciones en bus RS-485

- ❑ Estrategia maestro/esclavos
- ❑ Niveles de tensión diferencial (no single-ended)
- ❑ Half dúplex (dos líneas)



- ❑ Full dúplex (4 líneas)



- ❑ Necesarias resistencias de terminación (120Ω)



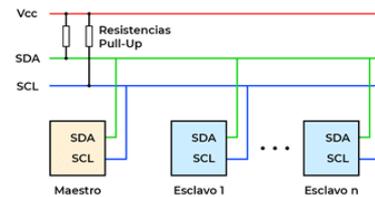
Comunicaciones en bus RS-485

- ❑ El maestro siempre inicia la comunicación
- ❑ Los esclavos deben tener un identificador único (número del 1 al 255)
- ❑ El 1^{er} byte transmitido por el maestro indica el id del esclavo que debe responder
- ❑ Una vez recibida la respuesta del esclavo, el maestro puede comenzar una nueva secuencia de comunicación

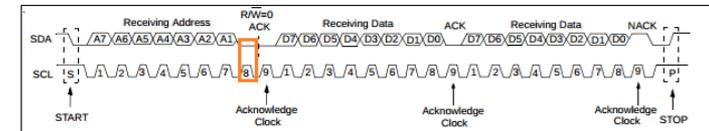
Comunicaciones serie I2C y SPI

- ❑ Para pequeñas distancias (del orden de cm) y alta velocidad (decenas de Mbps)
- ❑ Habituales con sensores y accionadores con electrónica integrada
- ❑ <https://solectroshop.com/es/blog/diferencias-de-los-protocolos-de-comunicacion-uart-vs-i2c-vs-spi-n107>

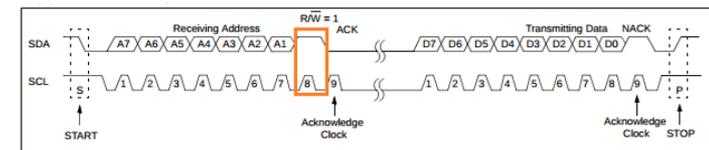
I2C



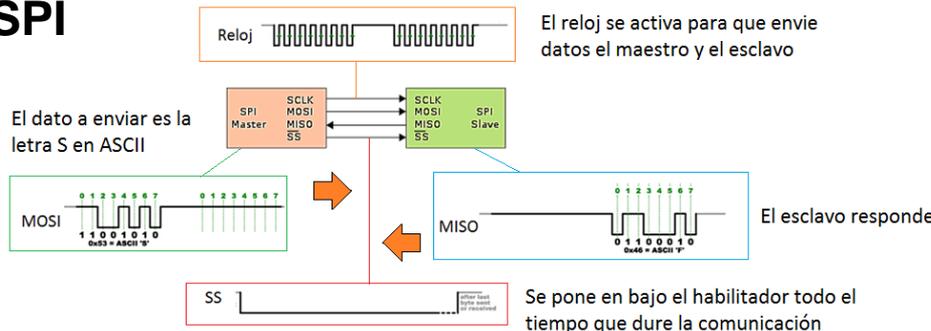
Operación de escritura I2C



Operación de lectura I2C



SPI





Comunicaciones en red TCP/IP

- ❑ **Redes de ordenadores:** grupo de ordenadores autónomos interconectados
 - Interconexión de dos o más ordenadores: situación en la que éstos son capaces de intercambiar información.
 - Autónomos: excluye aquellos casos donde existe una clara relación maestro/esclavo.

- ❑ Utilidades de las redes de Ordenadores para las empresas:
 - Compartición de recursos
 - Mayor fiabilidad
 - Reducción de costes
 - Mayor flexibilidad
 - Simplificación y agilización de comunicación

- ❑ Utilidades de las redes de Ordenadores para el público general:
 - Acceso a información remota
 - Una nueva forma de comunicación personal
 - Nuevas formas de entretenimiento

- ❑ Utilidades de las redes de Ordenadores para la industria:
 - Implementación del control distribuido



Comunicaciones en red TCP/IP

- ❑ Sistema de comunicación: conjunto de hardware y software que permite la comunicación entre estaciones.
- ❑ Funciones del sistema de comunicación:
 - Identificar las estaciones que conforman la red
 - Establecimiento de conexiones y multiplexación de canales
 - Control de errores durante la comunicación
 - Fragmentación y reconstrucción de los mensajes
 - Compactación de mensajes
 - Manejo de congestiones y control del flujo de la información
 - Sincronización
 - Establecimiento de distintos niveles de prioridad



Comunicaciones en red TCP/IP

□ Modelo de capas ISO/OSI

OSI model		
Layer	Name	Example protocols
7	Application Layer	HTTP, FTP, DNS, SNMP, Telnet
6	Presentation Layer	SSL, TLS
5	Session Layer	NetBIOS, PPTP
4	Transport Layer	TCP, UDP
3	Network Layer	IP, ARP, ICMP, IPSec
2	Data Link Layer	PPP, ATM, Ethernet
1	Physical Layer	Ethernet, USB, Bluetooth, IEEE802.11



Comunicaciones en red TCP/IP

- ❑ Protocolo de red IP (Internet Protocol):
 - Identificación de un nodo en la red: **dirección IP**, formada por 4 bytes
 - Identificación de un programa usuario del nodo: **nº de puerto**

- ❑ Protocolo de transporte con conexión: TCP
 - Conexión punto a punto (dirección IP + nº puerto)
 - Conexión -> envío de datos -> cierre conexión
 - Conexión segura: el protocolo asegura que no hay pérdida de mensajes, el troceado, la reconstrucción y el orden.

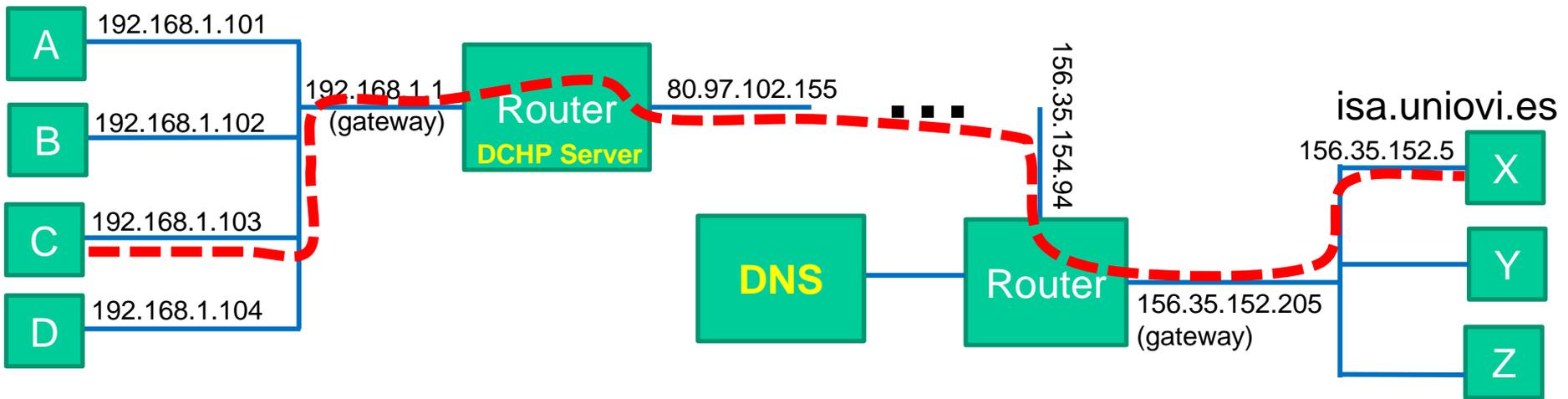
- ❑ Protocolo de transporte sin conexión: UDP
 - No hay conexión
 - Envío y recepción de datos a cualquier punto (dirección IP + nº puerto)
 - Envío y recepción no seguros



Comunicaciones en red TCP/IP

□ Protocolo de encaminamiento: IP

- Hace llegar los paquetes a su destino a través de routers (encaminadores)
- Dirección IP compuesta por un valor de 32 bits (se suele indicar como 4 números de 8 bits: x.x.x.x)
 - Estática: fija, para equipos que siempre se encuentran en el mismo lugar
 - Dinámica (DHCP): variable, para equipos que se conectan a routers variados (se precisa tener acceso a un servidor DHCP, normalmente el propio router)
 - Global: única y accesible desde cualquier equipo (necesaria para servidores)
 - Local: puede repetirse en subredes (sólo válida para clientes)
- Servidor de nombres (DNS) como “agenda” para las direcciones IP



Comunicaciones en red TCP/IP

- Algunos equipos “especiales” en el protocolo IP
 - Servidor DNS: convierte nombres estilo texto (isa.uniovi.es) en direcciones ip (156.35.152.5)
 - Servidor DHCP: asigna direcciones IP dinámicas para equipos sin dirección fija (estática)

```
Símbolo del sistema
C:\Users\ialvarez>ipconfig /all

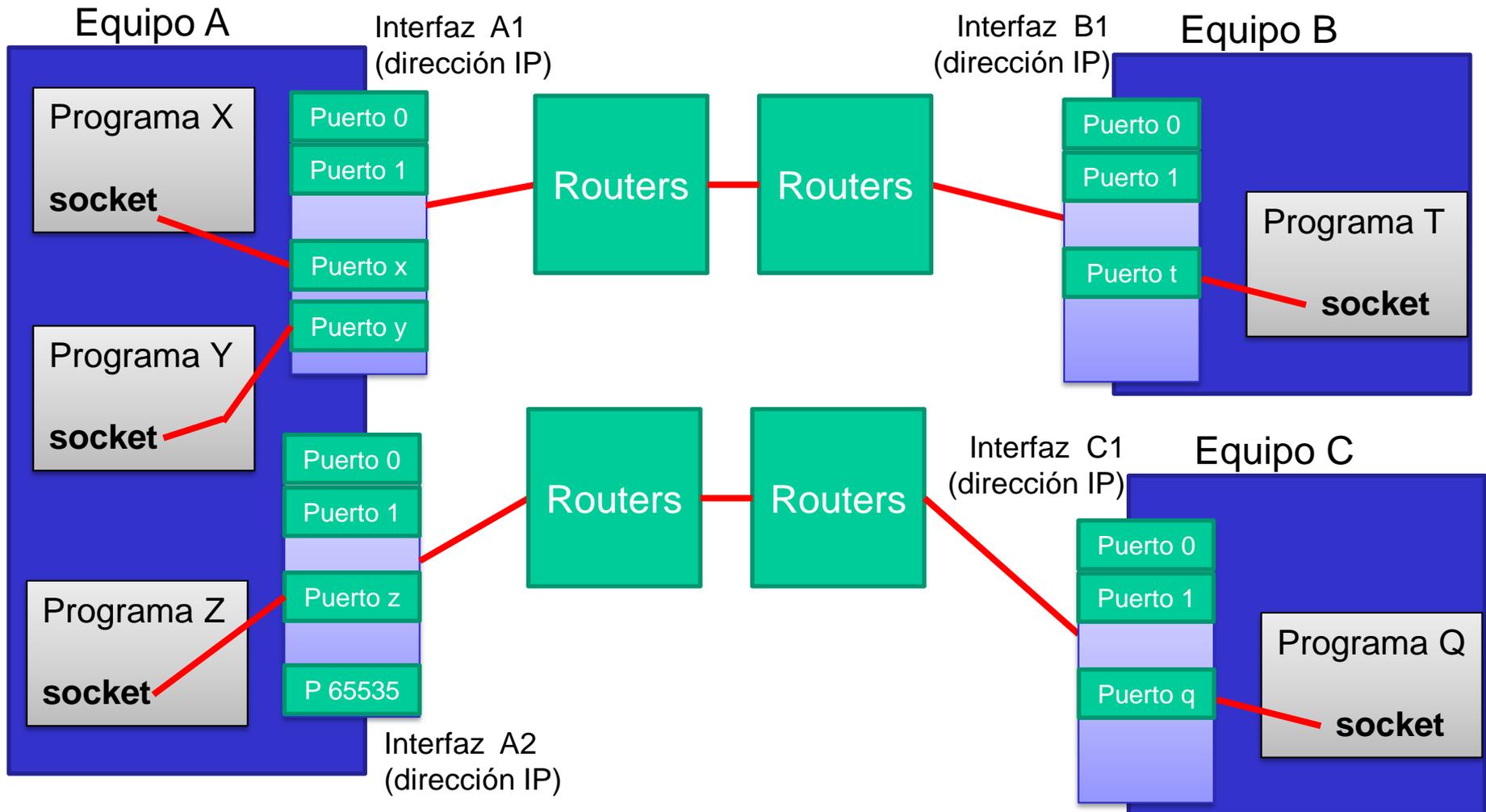
Configuración IP de Windows

Adaptador de LAN inalámbrica Wi-Fi:

    Sufijo DNS específico para la conexión. . . :
    Descripción . . . . . : Intel(R) Dual Band Wireless-AC 8260
    Dirección física. . . . . : 1C-4D-70-0B-8D-44
    DHCP habilitado . . . . . : sí
    Configuración automática habilitada . . . : sí
    Vínculo: dirección IPv6 local. . . : fe80::e402:db9f:b964:d35d%14(Preferido)
    Dirección IPv4. . . . . : 192.168.1.38(Preferido)
    Máscara de subred . . . . . : 255.255.255.0
    Concesión obtenida. . . . . : sábado, 1 de diciembre de 2018 6:01:40
    La concesión expira . . . . . : domingo, 2 de diciembre de 2018 6:25:26
    Puerta de enlace predeterminada . . . . . : 192.168.1.1
    Servidor DHCP . . . . . : 192.168.1.1
    IAID DHCPv6 . . . . . : 236735856
    DUID de cliente DHCPv6. . . . . : 00-01-00-01-16-0D-49-10-7B-44-D9-B3-7A
    Servidores DNS. . . . . : 80.58.61.250
                                80.58.61.254
    NetBIOS sobre TCP/IP. . . . . : habilitado
```



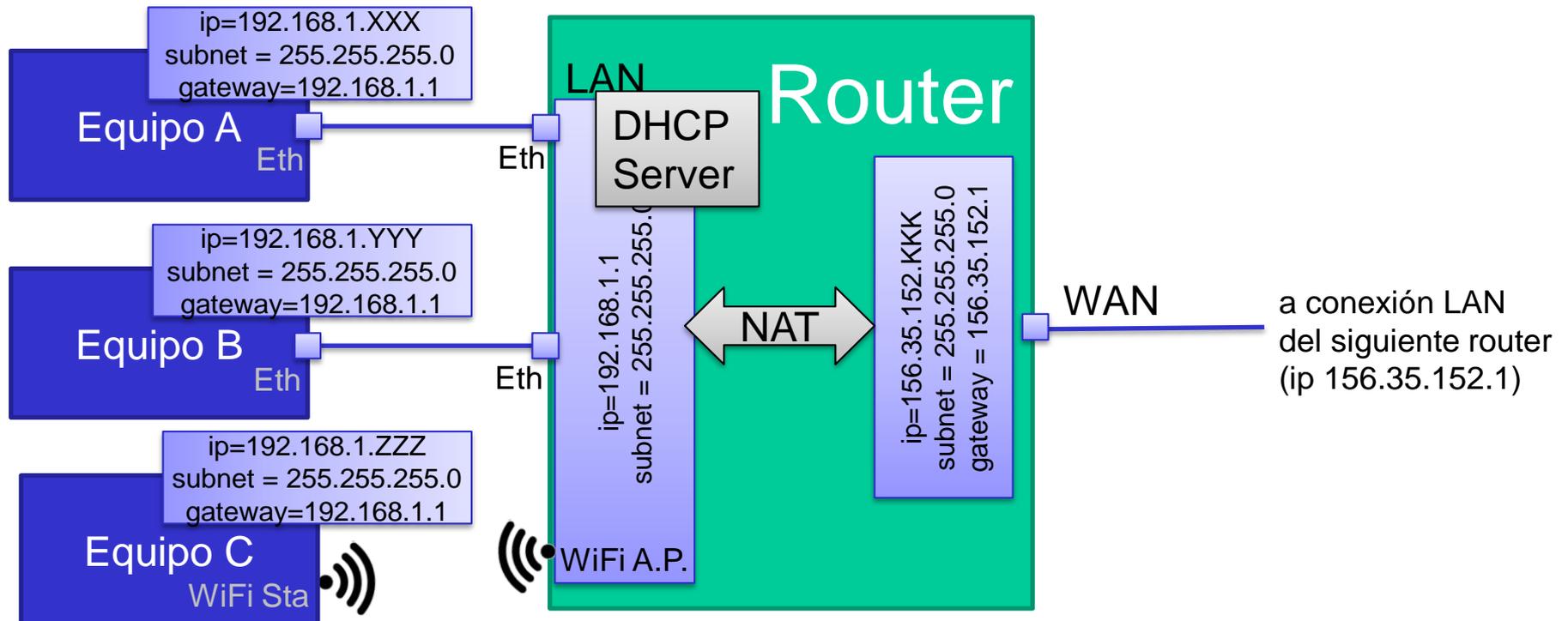
Comunicaciones en red TCP/IP





El papel del router

- ❑ El router (o gateway) es el encargado de conectarse físicamente con los equipos.
 - Dispone de 2 tipos de conexiones, cada una con su ip :
 - LAN, con los equipos cercanos (cableadas e inalámbricas)
 - WAN, con el resto de la red (típicamente cableada)





El papel del router

□ Conexiones LAN en el router:

■ Todas:

- Las direcciones IP de todos los clientes deben estar en la misma subred y ser diferentes
- Requieren configuración de IP, Subnet y Gateway en el cliente conectado:
 - Estática: asignada por el propio cliente
 - Dinámica (DHCP): solicitada por el cliente al router y asignada por éste
- Gateway: dirección a la que se envían paquetes con destino a otras redes
- Subnet: bits que indican qué parte de la dirección IP se considera en la misma subred

■ Cableadas (Ethernet):

- Negocian con el router los parámetros de conexión (velocidad, etc.)

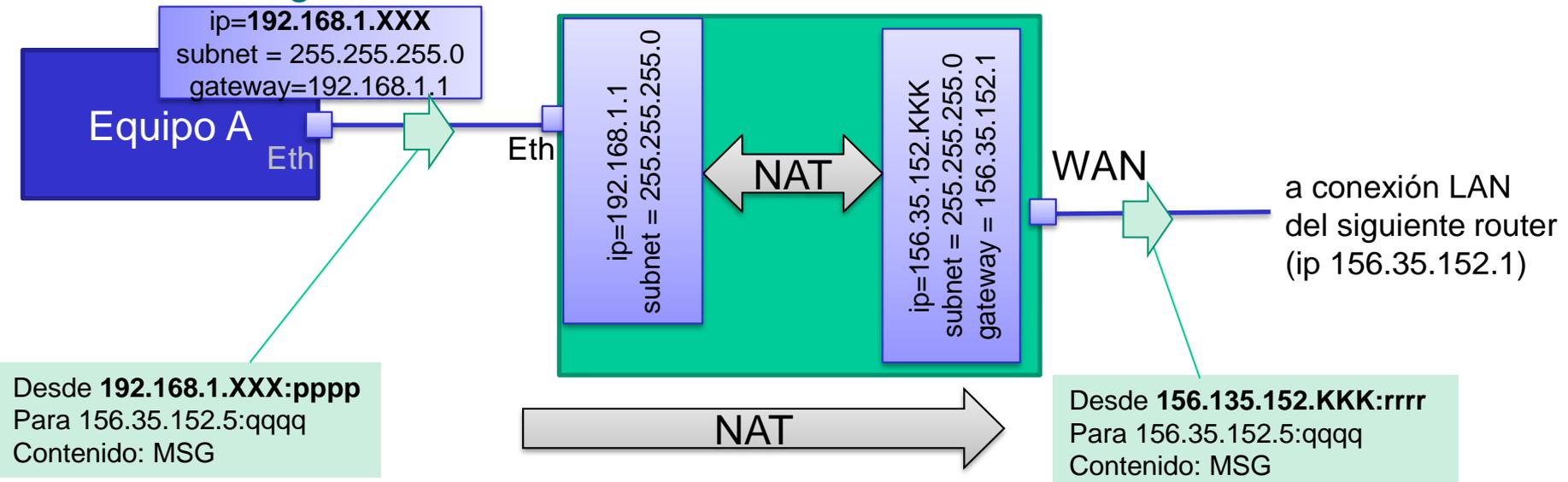
■ Inalámbricas (WiFi):

- Negocian con el router los parámetros de conexión (canal, vel., etc.)
- Requieren un protocolo (nombre de A.P. y contraseña) para la conexión

El papel del router

El protocolo NAT (Network Address Translation) en el router:

- Equipos conectados a routers diferentes pueden tener la misma dirección IP (son subredes distintas).
- Cuando un equipo envía algo a través de su router, éste modifica el paquete enviado mediante el protocolo NAT antes de reenviar al siguiente router:



- A la recepción de respuesta, el protocolo NAT hace el trabajo inverso



Puertos IP

□ Puertos estándar:

- 20 FTP data (File Transfer Protocol)
- 21 FTP (File Transfer Protocol)
- 22 SSH (Secure Shell)
- 23 Telnet
- 25 SMTP (Send Mail Transfer Protocol)
- 43 whois
- 53 DNS (Domain Name Service)
- 68 DHCP (Dynamic Host Control Protocol)
- 79 Finger
- 80 HTTP (HyperText Transfer Protocol)
- 110 POP3 (Post Office Protocol, version 3)
- 115 SFTP (Secure File Transfer Protocol)
- 119 NNTP (Network New Transfer Protocol)
- 123 NTP (Network Time Protocol)
- 137 NetBIOS-ns
- 138 NetBIOS-dgm
- 139 NetBIOS
- 143 IMAP (Internet Message Access Protocol)
- 161 SNMP (Simple Network Management Protocol)
- 194 IRC (Internet Relay Chat)
- 220 IMAP3 (Internet Message Access Protocol 3)
- 389 LDAP (Lightweight Directory Access Protocol)
- 443 SSL (Secure Socket Layer)
- 445 SMB (NetBIOS over TCP)
- 666 Doom
- 993 SIMAP (Secure Internet Message Access Protocol)
- 995 SPOP (Secure Post Office Protocol)

□ Aplicaciones de usuario:

49151 a 65535

- **Ports 0–1023** – system or well-known **ports**.
- **Ports 1024–49151** – **user** or registered **ports**.
- **Ports >49151** – dynamic / private **ports**.



Comunicaciones en red

- Una secuencia típica: conexión a red de cliente y servidor
 - Cliente y servidor: conexión a red
 - *Protocolo de conexión a red con el router con el que tiene conexión directa (con negociación de velocidad + canal y/o contraseña en el caso de WiFi)*
 - *Dirección IP fija (incluye gateway, subred y DNS fijas)*
 -
 - *Comunicación mediante protocolo DHCP con el router para obtención de dirección IP local (incluye gateway, subred y DNS proporcionados por el router)*
 - Para cada envío:
 - *Se envía cada paquete al router más cercano (gateway)*
 - *El router modifica la dirección IP y puerto originarios del paquete (protocolo NAT) para enviar al siguiente router*
 - ...
 - *El router con conexión directa al receptor le entrega el paquete, que incluye el contenido (mensaje) y la información de la ruta de respuesta*

Comunicaciones en red UDP/IP

□ Una secuencia típica: cliente/servidor de tiempos

- Cliente: desea obtener la hora actual
 - ✦ *Solicitud a equipo DNS de la dirección IP del servidor*
 - ✦ Envío de un paquete UDP de solicitud al servidor con contenido definido en especificación NTP
 - ✦ Espera respuesta de servidor con contenido según especificación NTP
 - ✦ Procesamiento de la respuesta para obtención de la fecha/hora actual
- Servidor: espera solicitudes de los clientes
 - ✦ Comprueba solicitud
 - ✦ Compone y envía respuesta con contenido según especificación NTP

□ Ejemplo:

http://isa.uniovi.es/~ialvarez/Curso/infindycom/ejemplos/ClienteUDP_NTP.pdf

(Todos nuestros equipos conectados a Internet realizan este protocolo a intervalos regulares)



Programación sockets TCP ó UDP

- ❑ Librerías disponibles para programación de comunicaciones:
 - Librería básica Windows/Linux (socket)
- ❑ **socket**: identificación de una conexión punto a punto entre 2 dispositivos conectados en red (dirección IP + puerto).
- ❑ Incluir <socket.h> (en Windows, “winsock2.h”)
- ❑ Declaración de identificador:

```
int sock;    (en Windows, SOCKET sock)
```
- ❑ 1^{er} paso: crear id. válido de socket (tipo SOCK_STREAM para TCP, tipo SOCK_DGRAM para UDP):

```
sock=socket(AF_INET,SOCK_STREAM,0);
```
- ❑ 2^o paso: asignar puerto local al socket:

```
struct sockaddr_in add_local;  
... Rellenar campos de add_local: dirección IP, puerto  
  (network order), protocolo  
err = bind(sock,(struct sockaddr*) &add_local,  
  sizeof(struct sockaddr_in));
```



Comunicaciones en red UDP/IP

□ Programación de sockets sin conexión (UDP)

□ Enviar datos:

```
ssize_t sendto(int sockfd, const void *buf, size_t len,  
              int flags, const struct sockaddr *dest_addr,  
              socklen_t addrlen);  
ssize_t send (int sockfd, const void *buf, size_t len,int flags);
```

□ Recibir datos:

```
ssize_t recv(int sockfd, void *buf, size_t len, int flags);  
  
ssize_t recvfrom(int sockfd, void *buf, size_t len, int flags,  
                struct sockaddr *src_addr, socklen_t *addrlen);
```

□ Cerrar el socket:

```
close(sock);
```

- Con el mismo socket se pueden enviar mensajes a diferentes destinatarios (incluso a varios con la dirección ip broadcast)
- No hay seguridad de que los datos hayan llegado aunque err==0
- Si se envían varios mensajes, no hay seguridad del orden de llegada (pueden seguir rutas distintas)
- Si el mensaje es demasiado grande, es responsabilidad del remitente trocearlo y enviarlo, y del receptor componer los trozos.



Programación sockets TCP/IP

- ❑ Programación de sockets con conexión (TCP)
 - ❑ Establecimiento de conexión: modelo cliente/servidor.
 - Cliente: solicitante de una conexión (ej. navegador web)
 - Servidor: receptor de una solicitud de conexión (ej. servidor de páginas web).
 - ❑ Hasta que no se establezca una conexión no se pueden enviar y recibir datos
 - ❑ Sólo se pueden enviar y recibir datos con el destinatario conectado
 - ❑ Se asegura la llegada de los mensajes y su orden
 - ❑ Se trocean y recomponen automáticamente los mensajes grandes.

LADO CLIENTE

- ❑ Solicitud de conexión:


```
struct sockaddr_in addr_servidor;
```

... Rellenar campos de addr_servidor ...

```
err=connect(sock, (struct sockaddr*)
&addr_servidor, sizeof(struct sockaddr_in));
```
- ❑ Si no hay error, se ha establecido la conexión: se pueden enviar y recibir datos con `send(sock, ...)` y `recv(sock, ...)`;
- ❑ Cerrar conexión con `close(sock)`;

LADO SERVIDOR

- ❑ Admitir solicitudes de conexión: `listen()`

```
err=listen(sock, n_conex_max);
```
- ❑ Esperar por una conexión: `accept()`

```
int conectado; // SOCK en windows
struct sockaddr_in addr_cliente;
int len=sizeof(struct sockaddr_in);

conn=accept(sock, (struct sockaddr*)
&addr_cliente, &len);
```
- ❑ Si no hay error, se ha establecido la conexión con el socket `conn`: se pueden enviar y recibir datos con `send(conn, ...)` y `recv(conn, ...)`.
- ❑ Cerrar conexión con `close(conn)`;

Ejemplo TCP/IP : cliente página web

- ❑ Un servidor de páginas web espera conexiones en el puerto 80
- ❑ El cliente se debe conectar con dicho puerto del servidor
- ❑ Se debe enviar un comando http que será respondido con el contenido de la página
- ❑ Ejemplo para solicitar página de prueba a isa.uniovi.es

LADO CLIENTE

- ❑ Conectar con 156.35.152.5 , puerto 80
- ❑ Tras la conexión , enviar:


```
GET http://isa.uniovi.es/~ialvarez/Descargas/pagina_de_prueba.htm HTTP/1.1\r\n
Host: isa.uniovi.es\r\n
Accept: text/html\r\n
Keep-Alive: timeout=5\r\n
\r\n
```
- ❑ Leer respuesta

LADO SERVIDOR

- ❑ Espera conexión en puerto 80
- ❑ Si recibe un texto con comando http →
retorna respuesta http
- ❑ Cierra conexión (evita saturación del servidor)

```
HTTP/1.1 200 OK
Date: Mon, 14 Oct 2024 03:14:19 GMT
Server: Apache/2.2.22 (Debian)
... mas informaciones ...

<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml" >
<head>
  <title>Pagina web de prueba</title>
</head>
<body>
  <p>Una pagina web sencilla.
  ... más contenido de la página ...
</body>
</html>
```



Programación sockets TCP/IP

□ Librerías disponibles para programación de comunicaciones:

- Clases Qt-SDK para cliente/servidor (usan modelo signal/slot):

<https://doc.qt.io/qt-6/qtnetwork-module.html>

- QHostAddress } Gestión de direcciones
- QHostInfo }
- QUdpSocket } socket básico (protocolo a implementar por el programador)
- QTcpSocket }
- QTcpServer }
- QNetworkRequest } Protocolo http
- QNetworkReply }
- QSslServer } Encriptación
- QSslSocket }
- QSslCertificate }
- ...



Programación sockets TCP/IP

□ Librerías disponibles para programación de comunicaciones (OOP):

■ Otras librerías genéricas C/C++:

- ✦ boost asio (sockets) https://www.boost.org/doc/libs/1_84_0/doc/html/boost_asio.html
- ✦ boost beast (http etc.) https://www.boost.org/doc/libs/1_84_0/libs/beast/doc/html/index.html

■ Librerías genéricas Python:

- ✦ socket.socket (sockets) <https://docs.python.org/3/howto/sockets.html>
- ✦ http.client , http.server, ... (http) <https://docs.python.org/3/library/http.html>

■ Librerías Matlab:

- ✦ tcpserver , tcpclient
<https://www.mathworks.com/help/instrument/referencelist.html?type=function&category=tcp-ip-interface>

■ Librerías específicas:

- ✦ Arduino y compatibles:
 - Ethernet, EthernetClient, EthernetServer, ... (sockets)
<https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/ethernet/>
 - WiFi, WiFiClient, WiFiServer, WifiUDP (sockets y conexión WiFi)
<https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/wifi/>