

REDES DE COMPUTADORES

Grado en Ingeniería en Informática
Doble Grado en Ingeniería Informática y ADE

Curso académico 2023/2024

PRACTICA 1. Introducción a las redes de computadores

Contenidos

- 1. OBJETIVOS**
- 2. TOPOLOGÍA DE LA RED DEL LABORATORIO**
- 3. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN EN LAN'S**
- 4. CUESTIONES**
- 5. DOCUMENTACIÓN COMPLEMENTARIA**

1. OBJETIVOS

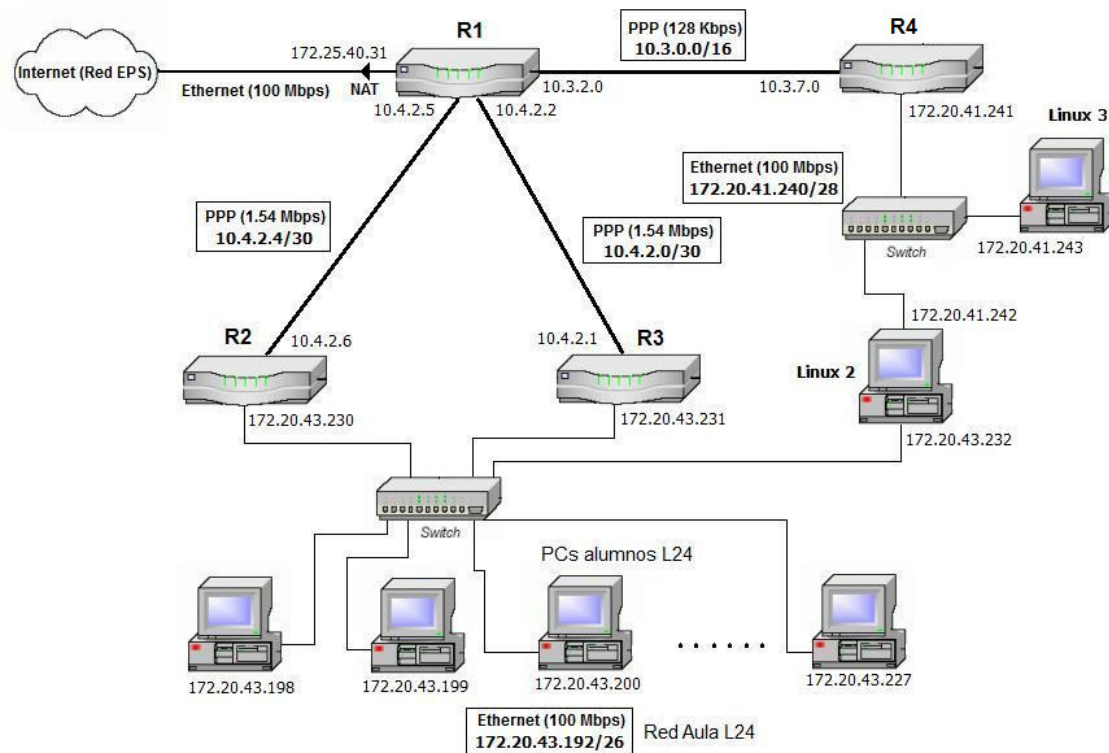
La primera práctica de la asignatura **Redes de Computadores** pretende introducir al alumno en las redes de computadores de forma práctica. Para ello se analizará el estudio de una Red de Área Local (LAN) que emplea la arquitectura de red TCP/IP. Esta arquitectura de red se ha convertido en un estándar para los sistemas de transmisión de datos actuales y proporciona la tecnología base para multitud de aplicaciones: correo electrónico, servidores WWW, servidores FTP, videostreaming, etc.

Con la realización de esta práctica el alumno debe adquirir conocimientos que le permitan:

- Realizar la captura de cualquier paquete de datos que se desee empleando el software monitor de red.
- Interpretar el funcionamiento de los protocolos Ethernet, ARP e IP en base a la información capturada por el monitor de red.
- Reconocer los diferentes niveles de la arquitectura TCP/IP y qué funcionalidad tienen en la comunicación de datos.
- Conocer el esquema de direccionamiento empleado por el protocolo IP.

2. TOPOLOGÍA DE LA RED DEL LABORATORIO

En el esquema inferior se muestra la topología de la red de comunicaciones del laboratorio de prácticas en el aula L24 del edificio Politécnica I de la EPS. La red está formada por la interconexión de diferentes segmentos de red. Cada segmento de red está conectado a los demás segmentos a través de un dispositivo denominado **router** o **encaminador**. En la asignatura Redes de Computadores adoptaremos la interpretación de segmento de red en el nivel de red de la arquitectura. Por ello, un **segmento de red** será el **conjunto de dispositivos que comparten una misma dirección de red IP** (dado que empleamos la arquitectura de red TCP/IP).



El segmento principal corresponde a la red en la que se encuentran los PC's de los alumnos, que es una red Ethernet.

Una red Ethernet puede construirse empleando un dispositivo denominado **hub** o **concentrador**.

Un concentrador es un dispositivo que dispone de una serie de puertos donde conectar los PC's de la red empleando cables par trenzado (con conectores RJ-45, similares a los conectores RJ-11 empleados en el cable par paralelo de telefonía) y que emplea el protocolo Ethernet para intercambiar información entre las diferentes estaciones. En el protocolo Ethernet cada adaptador de red Ethernet (tarjeta de comunicaciones Ethernet) de cada PC está identificado con una dirección única (**dirección MAC**) y cuando dos estaciones quieren intercambiar información lo hacen transmitiendo bloques de datos en los que se indican la dirección MAC del PC que envía los datos y la dirección MAC del PC al que va dirigida.

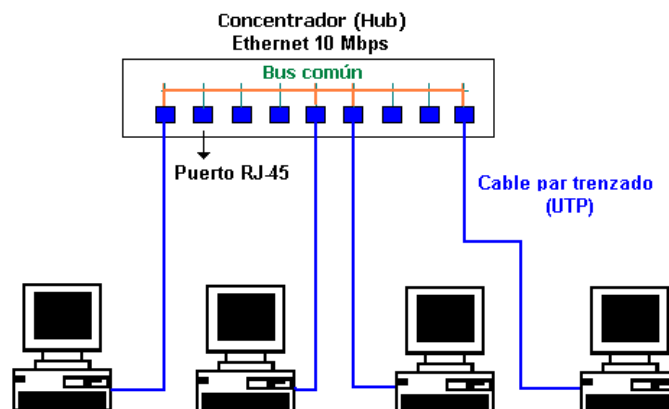


Figura 1. Estructura interna de un concentrador (hub).

En las redes Ethernet basadas en concentradores, cualquier transmisión de un paquete en el medio físico se propagará por el cable a TODOS los equipos de la red. Así, con un monitor de red no sólo se capturarán los paquetes transmitidos y recibidos por el PC que dispone del monitor, sino que **además capturarán los paquetes transmitidos por cualquier PC de la red Ethernet**.

Sin embargo, el concentrador presenta un problema importante cuando el número de equipos en la red es muy elevado: las colisiones. Cuando dos estaciones transmiten información simultáneamente, la transmisión no es válida y es necesario repetirla. Así, es posible que en una red Ethernet los equipos transmitan con muchos retardos (el usuario aprecia lentitud en la transmisión). Por ello, es posible emplear otro dispositivo para construir una red Ethernet denominado **switch** o **conmutador**.

El conmutador establece internamente conexiones entre los puertos donde están conectados los PC's que quieren intercambiar información. Para ello dispone de una malla de interconexión entre todos los puertos y dependiendo de a qué destino va dirigida la información que se recibe por un puerto, ésta se envía sólo al puerto donde está conectado el PC destinatario.

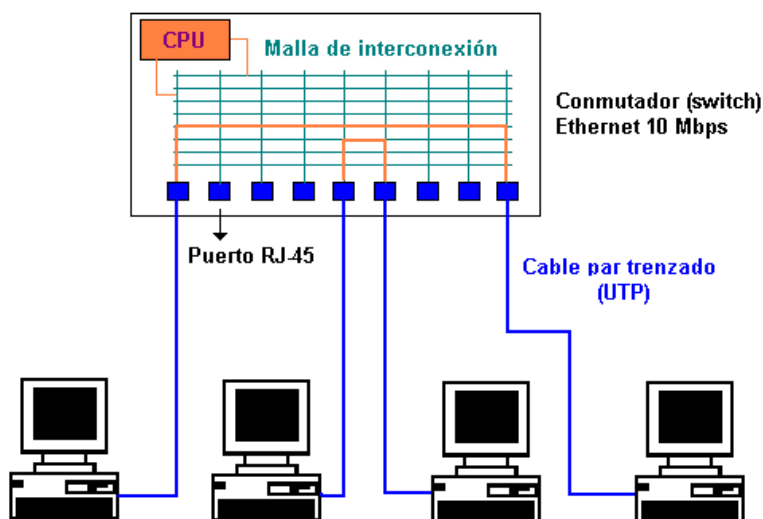


Figura 2. Estructura interna de un conmutador (switch).

El conmutador proporciona un nivel de seguridad superior al concentrador en el medio físico compartido. El concentrador actúa como repetidor de todos los paquetes que llegan enviándolos a todas las máquinas, mientras que el conmutador envía los paquetes sólo a las máquinas destinatarias, por lo que las demás estaciones no podrán capturar con un monitor de red esta información, ya que no es accesible físicamente. Además, el conmutador realiza un mejor aprovechamiento del medio físico, ya que permite la transmisión simultánea de información entre pares de máquinas diferentes, mientras que en el concentrador esto no es posible, ya que cuando dos o más estaciones tratan de transmitir información simultáneamente se producen colisiones.

Este es el tipo de red en el aula de prácticas: Ethernet con conmutador. Además, debido al elevado número de PC's existentes en el laboratorio se han dispuesto varios conmutadores conectados entre sí (conexión en cascada), de forma que es posible construir una red Ethernet lo suficientemente grande.

Por otro lado, si un PC está conectado a un conmutador, al emplear **un monitor de red solo podrá capturar los paquetes que transmita o reciba el PC**, permitiendo una mayor privacidad que en el uso de una red Ethernet con concentradores.

El router **R2** interconecta la red Ethernet del aula L24 con una red **PPP**. Para comunicar las máquinas de la red Ethernet con las de la red **PPP** es necesario un protocolo que permita la interconexión entre dos segmentos de red. Este protocolo es el protocolo **IP**. Cada segmento de red tendrá una **dirección de red IP** y todas las máquinas que estén en un mismo segmento de red tendrán el mismo valor de dirección de red en su dirección IP. Para diferenciar las máquinas dentro de un mismo segmento de red cada una de ellas tiene asociada una **dirección de máquina** que se indica en la dirección IP. En posteriores apartados se hablará con más detalle de las direcciones IP.

PPP son las siglas de Point to Point Protocol: Protocolo Punto a Punto. Es un protocolo que se emplea para construir un segmento de red que consta de sólo dos máquinas unidas entre sí por un canal de comunicación. En un segmento de red PPP sólo existirán por tanto dos máquinas: las de los dos extremos. El segmento PPP del router R2, que emplea una velocidad de transmisión de 1.54 Mbps, está conectado al router **R1** y éste a su vez con el router **R3** empleando otro enlace PPP a 1.54 Mbps. El router R3 está conectado de nuevo a la red Ethernet de los alumnos, por lo que se establece un bucle en la topología de la red de prácticas.

Existe otro bucle en la topología del laboratorio. Éste se establece desde el router R1 con un enlace PPP (con una velocidad de 128000 bps) al router **R4**. El router R4 está conectado a su vez a una red Ethernet a 100 Mbps donde hay un equipo adicional, el Linux 2, un PC con sistema operativo Linux configurado con funcionalidades de router. El bucle se cierra al conectar el equipo Linux 2 a la red Ethernet de los alumnos. El estudio de la existencia de bucles en redes TCP/IP es especialmente interesante, ya que proporciona tolerancia a fallos en la caída de los enlaces (existe un camino alternativo para alcanzar un destino) pero una configuración incorrecta puede producir la presencia de paquetes que circulan indefinidamente en la red.

Esta configuración de red sería cerrada si no fuera porque el router R1 está conectado a Internet, y a través de él los alumnos pueden acceder al exterior. El router R1 está conectado a los routers de la red de la Universidad de Alicante que proporcionan acceso a Internet.

3. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN EN LAN'S

3.1 Protocolo de nivel de enlace Ethernet

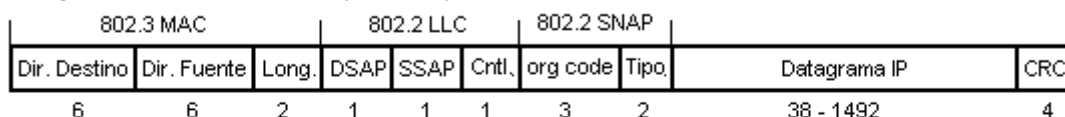
Ethernet es una red de área local con tecnología de difusión basada en un bus común. Originariamente fue introducida por el fabricante Novell y consistía en un bus de cable coaxial al que se conectaban los equipos de la red empleando derivadores en forma de T. Esta Ethernet original permitía velocidades de transferencia de hasta 10 Mbps y presentaba el problema clásico de colisiones de las redes de difusión.

El esquema de funcionamiento para la transmisión de datos en una red Ethernet es muy sencillo: Cualquier estación que desea transmitir datos escucha durante un cierto tiempo el canal. Si no se detecta actividad de transmisión se procede con la transmisión de las señales de datos al medio físico. Este sistema resulta efectivo cuando el número de equipos en la red es bajo pero si el número es demasiado alto entonces se producen con frecuencia colisiones, ya que la probabilidad de que dos o más estaciones detecten simultáneamente el medio físico libre y transmitan es más alta. La colisión es detectada por la estación que transmite los datos al comprobar que por el medio físico circula una señal de interferencia (debido a la superposición de varias señales de datos) y procede a resolver el problema. Para ello espera un tiempo aleatorio y vuelve a transmitir la información. De esta forma se consigue que el paquete de datos se transmita sin esperar a comprobar de nuevo el medio físico y dado que se espera un tiempo aleatorio, la probabilidad de volver a colisionar es baja. Sin embargo este esquema funcionará cuando el volumen de tráfico (cantidad de información transmitida) y el número de equipos en la red no sea muy alto (inferior a unos 25), ya que en caso contrario la red entra en un estado de permanente colisión y no es posible la transmisión de información.

Este inconveniente de colisiones se superó con la introducción del switch o conmutador, que sustituye el bus común por una malla de interconexión que evita muchas de las colisiones. Este mejora en Ethernet, denominada Ethernet conmutada, permitió el desarrollo de sistemas que permitieran transmitir datos a mayor velocidad, pasando de 10 Mbps a 100 Mbps en las redes Fast Ethernet conmutada, 1000 Mbps (1 Gbps) en la Gigabit Ethernet y hasta 10 Gbps en las últimas versiones tecnológicas.

Existen básicamente dos tipos de paquetes dentro de Ethernet. El denominado IEEE 802.2/802.3 y el Ethernet DIX. La utilización de uno u otro depende del protocolo utilizado. Así, TCP/IP utiliza la encapsulación denominada Ethernet DIX (RFC 894 - *Request for comments* nº 894), mientras que el protocolo utilizado por Novell, el IPX/SPX, utiliza la encapsulación 802.3.

Encapsulación IEEE 802.2/802.3 (RFC 1042) :



Encapsulación Ethernet (RFC 894) :

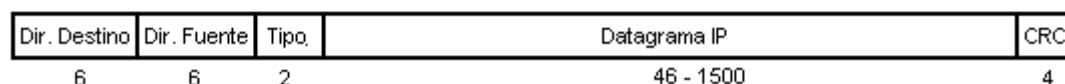


Figura 3. Formato de los paquetes Ethernet.

El tamaño máximo de paquete (MTU)

Como puede verse en la figura anterior, existe un límite en el tamaño del paquete tanto para Ethernet DIX como para IEEE 802.3. Los tamaños máximos para datos (datagrama IP) son de 1500 y 1492 bytes respectivamente. Esta característica de la capa de enlace se conoce como MTU (*Maximum Transfer Unit*).

Si un datagrama IP es mayor que el MTU de la capa de enlace, IP utiliza un mecanismo denominado fragmentación, consistente en romper el datagrama en pequeños fragmentos de manera que cada uno de ellos sea menor que el MTU. Ethernet es incapaz de realizar la fragmentación de un paquete de información procedente de la capa de red superior (datagrama IP), por lo que la capa de red tiene que enviar paquetes del tamaño adecuado a la capa de enlace Ethernet.

El MTU varía en función del tipo de enlace, y depende de diversos factores como la tasa de error media (BER) en el medio físico, la política de acceso al medio, la velocidad de transmisión etc.

Las direcciones MAC

Cuando un paquete Ethernet es enviado a una estación de la red se necesita conocer la dirección de la estación en la red Ethernet. A ésta dirección de cada estación en una red Ethernet se la denomina dirección física, dirección MAC (*Media Access Control*), dirección Ethernet o dirección del adaptador de red, dependiendo de la bibliografía consultada.

Un dirección MAC consistirá en un valor de 48 bits (6 bytes) y se expresa en formato hexadecimal, disponiendo los 12 dígitos hexadecimales (12 grupos de 4 bits) en grupos de 2 dígitos separados por el símbolo ':'. Un ejemplo de dirección MAC válida sería 00:00:3F:34:5A:BB.

Además, cada valor de 48 bits se asigna de forma que los 3 primeros bytes de la izquierda son fijados para cada fabricante de adaptadores y los 3 siguientes los establece el fabricante del mismo. Este esquema permite que cada fabricante de adaptadores de red Ethernet proporcione direcciones MAC diferentes, por lo que cada dirección MAC es única e irrepetible. Esta condición es necesaria para que en una red Ethernet puedan coexistir estaciones con adaptadores de diferentes fabricantes, ya que es necesario identificar a cada máquina de la red de forma única.

Dado que Ethernet es una red de difusión, cada adaptador de red debe ser capaz de procesar paquetes dirigidos a dos direcciones MAC: La suya propia y la dirección de **broadcast** o dirección difusión. Ésta se caracteriza por tener los 48 bits a 1, con lo cual queda como **FF:FF:FF:FF:FF:FF** expresada en hexadecimal.

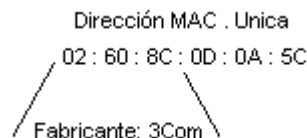


Figura 4. Estructura de una dirección MAC.

Un paquete ethernet con dirección de destino la dirección de **broadcast** será atendido por todas las estaciones conectadas sobre el mismo segmento. Esta particularidad es utilizada ampliamente por el protocolo ARP que veremos más adelante.

Ethernet permite además un esquema de direccionamiento con multidifusión. Para ello es posible asignar a un adaptador Ethernet una dirección MAC de grupo. Para indicar una dirección MAC de grupo, la dirección MAC debe tener el bit menos significativo del primer byte al valor 1, es decir **xxxxxxx1.XX.XX.XX.XX**, tomando **x** cualquier posible valor.

Algunos ejemplos de direcciones MAC Ethernet de multidifusión son:

01:00:0C:CC:CC:CC

01:80:C2:00:00:00

33:33:01:23:14:31

3.2 El protocolo ARP

El esquema de direccionamiento de Ethernet sólo permite intercambiar información dentro del mismo segmento de difusión. En una red con arquitectura TCP/IP (**Internet**) nos vamos a encontrar con una estructura que no es la de una red de difusión, sino la interconexión de numeras redes de difusión y equipos remotos empleando una red punto a punto. Ello supone la necesidad de un mecanismo de encaminamiento de la información a través de esta red punto a punto. El mecanismo de encaminamiento lo proporciona la capa de red de la arquitectura, en nuestro caso el protocolo IP. Una de las características de este protocolo es establecer un esquema de direccionamiento en el que cada equipo en Internet tiene una dirección única. Esta dirección se denomina dirección IP, y en una red Ethernet conectada a Internet cada equipo tendrá asociada una dirección IP y una dirección MAC.

Dado que para enviar información en una red Ethernet es necesario conocer la dirección MAC del destino y para intercambiar información en Internet se indicará una dirección IP de destino, se hace necesario un mecanismo dinámico de asociación de direcciones MAC (direcciones del nivel de enlace) con direcciones IP (direcciones del nivel de red). Este mecanismo se

especifica en el protocolo ARP (*Address Resolution Protocol*) recogido en el documento estándar de Internet RFC 826.

Veamos el esquema de funcionamiento del protocolo ARP en el siguiente segmento de red.

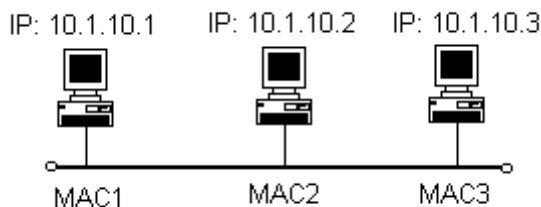


Figura 5. Esquema de una red TCP/IP.

Si la estación 10.1.10.1 desea enviar un paquete de datos a la estación 10.1.10.2 debe crear un datagrama IP en el que se indique la dirección origen y destino de esos datos. Este paquete lo podemos representar con la siguiente sintaxis:

| 10.1.10.1 → 10.1.10.2 | datos |

De esta forma indicamos que la estación 10.1.10.1 transmite un datagrama IP a la estación 10.1.10.2 con los datos **datos**. Este datagrama ha de ser enviado al medio físico dentro de un paquete Ethernet en el que se debe indicar la dirección MAC de destino y de origen. En principio la estación 10.1.10.1 sólo conoce su dirección MAC y la dirección IP de destino, por lo que tiene que determinar la dirección MAC de destino del paquete Ethernet. ARP permite determinar cuál es la dirección MAC de la estación que tiene una cierta dirección IP. Para ello se desencadena el envío de una serie de paquetes ARP en la red.

En primer lugar la estación 10.1.10.1 tiene que preguntar a todas las estaciones de la red quién tiene la dirección IP 10.1.10.2. Como desconoce las direcciones MAC del resto de estaciones empleará la dirección de **broadcast** Ethernet para enviar un paquete que sea procesado por todas las estaciones de la red y en el que se pregunte ¿qué estación posee la dirección IP 10.1.10.2 ? Este paquete lo representaremos con la sintaxis:

| MAC1 → FF:FF:FF:FF:FF:FF | ARP Request | ¿ 10.1.10.2 ? |

Este paquete se denomina **Pregunta ARP** o *ARP Request* y será procesado por todas las estaciones de la red. La estación que contenga la dirección IP 10.1.10.2 contestará al remitente indicando cuál su dirección MAC. A este paquete de respuesta se la denomina **Respuesta ARP** o *ARP Reply* y lo representaremos con la sintaxis:

| MAC2 → MAC1 | ARP Reply | 10.1.10.2 ↔ MAC2 |

De esta forma, la estación 10.1.10.1 ya puede transmitir en el segmento Ethernet el datagrama IP, que representaremos con la sintaxis:

| MAC1 → MAC2 | 10.1.10.1 -> 10.1.10.2 | datos |

La memoria cache de ARP

Sin embargo, el intercambio de paquetes ARP cada vez que una estación tiene que transmitir un datagrama IP supone un aumento de tráfico en la red que impide que otras estaciones puedan transmitir. Resulta lógico que una vez que una estación aprende la dirección MAC asociada a una cierta dirección IP almacene esta información en una tabla donde pueda

consultarla posteriormente. Esta tabla se denomina memoria caché de ARP y se encarga de mantener las correspondencias entre las direcciones IP y las MAC. Esta tabla se encuentra vacía al iniciar el sistema y cada vez que se añade una nueva entrada ésta se mantiene durante un cierto tiempo. Si pasado este tiempo la estación no ha empleado esa entrada de la tabla, ésta será borrada. El establecer un tiempo de expiración para una entrada en la tabla permite que si una estación modifica su dirección IP o MAC ésta sea aprendida de nuevo de forma automática. El plazo normal de expiración de una entrada en la tabla ARP es de 20 minutos para sistemas Unix y desde 2 minutos para Windows XP a varias horas en Windows 10.

Para visualizar el intercambio de paquetes ARP podemos emplear la aplicación **ping**. Esta aplicación envía un datagrama IP a una estación de la red (**mensaje ICMP Echo Request**) y espera que ésta le envíe otro datagrama IP de respuesta (**mensaje ICMP Echo Reply**). El formato de empleo de la aplicación ping es el siguiente:

ping -n 1 dirección_IP

En primer lugar podemos comprobar el estado de la tabla caché de arp ejecutando el comando **arp -a** en una ventana de comandos en línea. El comando visualiza las asociaciones de direcciones IP y MAC que conoce la estación.

Al ejecutar el comando **ping -n 1 172.20.43.231** podemos comprobar que la tabla caché de arp se modifica, añadiendo una entrada para la dirección IP 172.20.43.231 (si no existía previamente).

Si al ejecutar el comando **ping** empleamos el monitor de red para capturar la información, podemos comprobar cómo aparecen paquetes ARP si la dirección IP de destino no está en la tabla caché ARP, mientras que si la dirección IP está en la tabla caché no aparecerán paquetes ARP al ejecutar el comando ping.

3.3 El protocolo de nivel de red IP

El protocolo de nivel de red IP tiene como objetivo conseguir que los paquetes de información puedan ser encaminados a través de una red de computadores formada por la interconexión de diferentes segmentos físicos (Internet). Con un protocolo de nivel de enlace, como es Ethernet, sólo es posible que la información sea intercambiada dentro del mismo segmento físico. Para que la información pueda pasar de un segmento físico a otro es necesario un sistema de direccionamiento que permita la comunicación entre equipos de redes diferentes. Ésta es una de las funcionalidades del protocolo IP, establecer un sistema de direccionamiento global para todos los equipos que conforman la red. El protocolo IP ha evolucionado en el tiempo dando lugar a varias versiones del mismo. En Redes de Computadores nos centraremos en la versión 4 de este protocolo (IPv4), en funcionamiento en la inmensa mayoría de equipos de usuario conectados a Internet, pero actualmente está en funcionamiento la última versión de IP (IPv6) en los troncales (**backbone**) de Internet, y en un futuro próximo toda la red de Internet funcionará con IPv6.

El direccionamiento IPv4 se fundamenta en las denominadas direcciones IP. Cada una de estas direcciones consiste en un valor de 32 bits que es único y permite distinguir dos partes en la dirección: la parte de red y la parte de máquina. Todas las estaciones que están en una misma red IP tendrán los mismos valores de parte de red en su dirección IP y valores diferentes en la parte de máquina. El valor de 32 bits se expresa dividiéndolo en cuatro grupos de 8 bits separados por puntos: **x.x.x.x**, donde el valor **x** estará en el rango de 0 a 255.

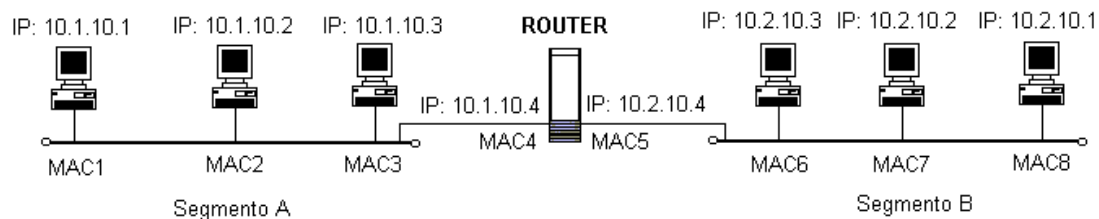


Figura 6. Esquema de interconexión de dos redes TCP/IP.

En el esquema anterior se muestra la interconexión de dos segmentos de red con arquitectura TCP/IP. El dispositivo que los interconecta se denomina **router** o encaminador y será el dispositivo encargado de determinar, para cada paquete que le llega, a qué segmento de red hay que enviarlo. Dado que un router interconectará dos o más segmentos de red, éste dispondrá de un adaptador o tarjeta de red por cada segmento que une, y para cada adaptador se especificará una dirección MAC y una dirección IP. En cada segmento, todas las direcciones IP disponen de una parte común que se denomina parte de red y siempre será un conjunto de bits de la parte inicial de la dirección IP. En el caso anterior, en el segmento A la parte de red son los primeros 16 bits de la dirección IP: **10.1**, y en el segmento B también los 16 primeros: **10.2**. Nótese como la parte de red de las direcciones IP son diferentes en cada segmento. Los últimos 16 bits de la dirección IP se corresponden con la parte de máquina, que dentro de cada segmento o red IP es diferente para todas las estaciones. Este es el esquema de direccionamiento de Internet: diferentes redes IP interconectadas entre sí empleando routers.

Sin embargo, la identificación de la parte de red y de máquina de una dirección IP no se realiza averiguando las partes comunes de todas las direcciones en una red, sino que se especifica con un valor adicional de 32 bits que se denomina **máscara de red**. La máscara de red es un valor de 32 bits en los que los primeros n bits que son parte de red en la dirección IP se ponen a valor 1, y el resto correspondientes a la parte de máquina a valor 0. Para el segmento A la máscara de red asociada será: 11111111.11111111.00000000.00000000, es decir **255.255.0.0**. De esta forma, con una dirección IP y la máscara de red asociada podemos determinar qué direcciones IP pertenecen a la misma red.

Sea la dirección IP 120.12.3.4 con máscara de red 255.255.0.0, las direcciones asociadas a la misma red serán:

```

120.12.0.0
120.12.0.1
...
120.12.0.255
120.12.1.0
120.12.1.1
.....
120.12.254.254
120.12.254.255
120.12.255.0
120.12.255.1
.....
120.12.255.255

```

De todas estas direcciones IP (las de la red 120.12) existen dos que no pueden ser asignadas a estaciones de la red ya que están reservadas. Una de ellas es la denominada **dirección de red**, que es la dirección IP del rango que tiene todos los bits de la parte de máquina a valor 0. En el caso anterior, la dirección de red es **120.12.0.0**. Esta dirección se emplea en los routers para establecer rutas de encaminamiento de los paquetes. La otra dirección reservada es la denominada **dirección de broadcast** y es la dirección IP del rango que tiene todos los bits de la parte de máquina a valor 1, en el caso anterior **120.12.255.255**. El objetivo de esta dirección

es análogo al de la dirección de broadcast de nivel de enlace: si una estación recibe un datagrama IP dirigido a la dirección IP de broadcast de su red procesará el paquete.

El valor de la máscara de red asociada a una dirección IP no es arbitrario, existe una definición de direcciones IP donde para cada dirección IP se especifica una máscara de red y por tanto una parte de red y otra de máquina en la dirección IP. Esta definición de máscaras asociadas a direcciones IP se muestra a continuación:

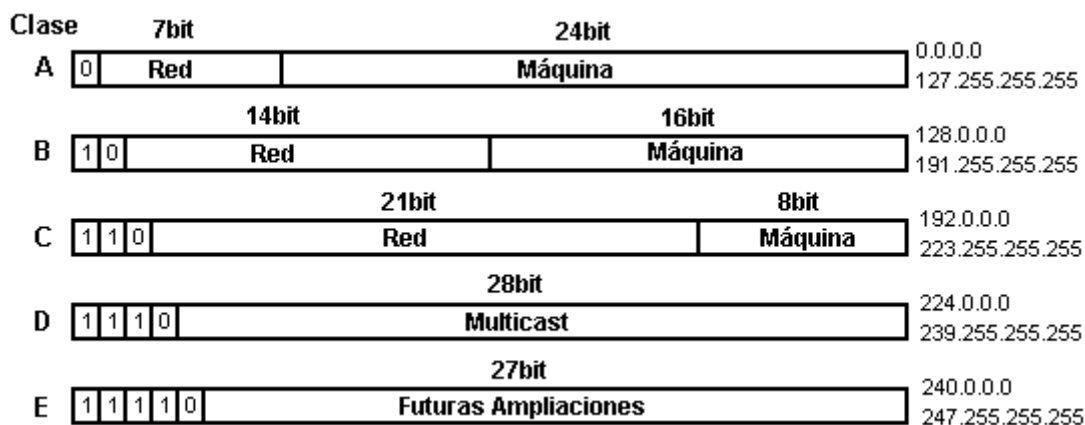


Figura 7. Estructura de direccionamiento del protocolo IP.

En este diagrama se definen 5 grupos de direcciones IP dependiendo del valor de los primeros bits de la dirección IP. Para cada grupo de direcciones IP se ha definido una máscara de red que indica qué parte de la dirección IP se asigna a la red y qué parte a las máquinas. Por ejemplo, la clase C está formada por las direcciones IP cuyos tres primeros bits toman el valor binario 110. Estas direcciones IP estarán definidas en el rango binario desde 11000000.00000000.00000000.00000000 a 11011111.11111111.11111111.11111111, es decir desde **192.0.0.0 hasta 223.255.255.255**. Dado que la máscara de red asociada es 255.255.255.0, tenemos disponibles 21 bits para especificar valores de redes diferentes y 8 para especificar máquinas dentro de cada red. Por tanto, dispondremos de 2^{21} (2.097.152) redes de clase C y dentro de cada una podemos especificar $2^8 - 2$ (254) máquinas diferentes (la dirección de red y broadcast no son asignables a máquinas en la red).

Teniendo en cuenta el esquema de direccionamiento anterior, las direcciones IP de la figura 6 tienen una máscara de red asociada de 8 bits, es decir 255.0.0.0. Sin embargo se ha indicado que la máscara asociada es 255.255.0.0 para así establecer dos redes diferentes. Este mecanismo, por el cual a partir de una red (10.0.0.0) se definen dos redes diferentes (10.1.0.0 y 10.2.0.0) se denomina **ampliación de la máscara de red**, pasando a crear **subredes** dentro de una red. Este mecanismo se emplea cuando en una red no pueden coexistir todas las máquinas en un mismo segmento físico y es necesario crear varias subredes. Para ello se amplía la máscara de red en un número suficiente de bits para especificar las nuevas subredes.

Sea la red **192.168.100.0/24** (el término /24 (prefijo de red) indica que la máscara de red tiene los primeros 24 bits puestos a 1, es decir tendrá el valor 255.255.255.0). Si se desea establecer 3 subredes dentro de esa red con el mismo número de estaciones en cada una de ellas, será necesario ampliar en 2 bits la máscara de red dado que con dos bits podemos establecer cuatro combinaciones diferentes. De esta forma las 4 subredes (una de las cuales no se emplearía ya que se necesitan 3) que se obtendrían serían:

192.168.100.00000000 ⇔ 192.168.100.0/26
192.168.100.01000000 ⇔ 192.168.100.64/26

192.168.100.10000000 ⇔ 192.168.100.128/26
192.168.100.11000000 ⇔ 192.168.100.192/26

La nueva máscara de red para cada una de las subredes creadas tendrá ahora 26 bits y su valor será 255.255.255.11000000 → 255.255.255.192. Los rangos de direcciones IP para cada subred serían entonces:

Red 192.168.100.0/26

Desde 192.168.100.00000001 ⇔ 192.168.100.1 **hasta** 192.168.100.00111110 ⇔ 192.168.100.62
Dirección de la subred red: 192.168.100.0
Dirección de broadcast de la subred: 192.168.100.63

Red 192.168.100.64/26

Desde 192.168.100.01000001 ⇔ 192.168.100.65 **hasta** 192.168.100.01111110 ⇔ 192.168.100.126
Dirección de la subred red: 192.168.100.64
Dirección de broadcast de la subred: 192.168.100.127

Red 192.168.100.128/26

Desde 192.168.100.10000001 ⇔ 192.168.100.129 **hasta** 192.168.100.10111110 ⇔ 192.168.100.190
Dirección de la subred red: 192.168.100.128
Dirección de broadcast de la subred: 192.168.100.191

Red 192.168.100.192/26

Desde 192.168.100.11000001 ⇔ 192.168.100.193 **hasta** 192.168.100.11111110 ⇔ 192.168.100.254
Dirección de la subred red: 192.168.100.192
Dirección de broadcast de la subred: 192.168.100.255

Parámetros de configuración en una máquina con arquitectura TCP/IP

Con el esquema de direccionamiento IP anterior podemos determinar qué parámetros de configuración de red son necesarios para una máquina que desee intercambiar información en una red con arquitectura TCP/IP.

Dirección IP: Dirección asignada en Internet al equipo.

Máscara de red: Máscara de red asociada a la dirección IP, que puede estar ampliada en el caso de una subred.

Además de estos dos parámetros es necesario un tercero que se denomina **puerta de enlace por defecto (P.E.D.)** o **default gateway (D.G.)**. Este parámetro es la dirección IP de un equipo en la red que proporciona acceso a otras redes. Sin este parámetro una máquina de una red TCP/IP sólo puede intercambiar información dentro de la propia red IP. La puerta de enlace en una red TCP/IP será siempre un router que realiza la interconexión con el resto de redes que existen. La existencia de la puerta de enlace afecta al mecanismo de funcionamiento de ARP.

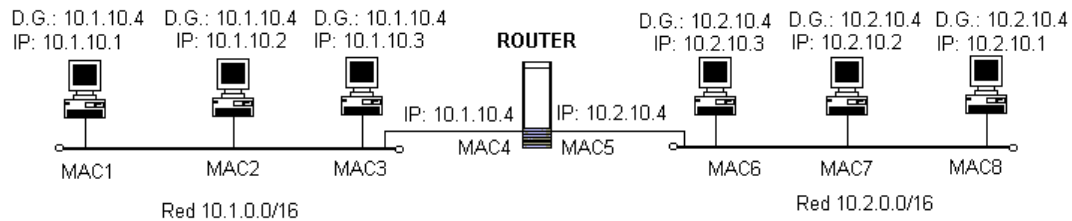


Figura 8. Esquema de una red TCP/IP.

En el esquema de la red de la figura 8 se representa dos redes TCP/IP interconectadas por un router. Cuando las estaciones intercambian datagramas IP con datos han de indicar en la cabecera del datagrama la dirección IP de origen y la dirección IP de destino. Estos datagramas los denotaremos con la sintaxis: **| IP_origen → IP_destino | datos |**. Todo datagrama IP se enviará encapsulado dentro de un paquete del nivel de enlace (en este caso Ethernet) donde se especificarán las direcciones MAC de origen y de destino. El funcionamiento de ARP para proporcionar la dirección MAC de destino será diferente si el datagrama IP va dirigido a una estación de la propia red IP o de otra red IP.

Supóngase que la estación 10.1.10.1 quiere intercambiar información con la estación 10.1.10.2 empleando la aplicación **ping**. La estación de origen ejecutará el comando

ping -n 1 10.1.10.2

y construirá el datagrama IP

| 10.1.10.1 → 10.1.10.2 | ICMP Echo Request | datos |

Este paquete IP será encapsulado y enviado en un paquete Ethernet, para lo que hay que determinar la dirección MAC de la estación 10.1.10.2.

En primer lugar, la estación ha de determinar si el paquete va dirigido a una estación de su red IP o no. Para ello comprueba los bits correspondientes a la parte de red de la dirección IP de destino según la máscara de red de la estación. Dado que la máscara de red de la estación 10.1.10.1 es 255.255.0.0, la estación comprueba el valor de los primeros 16 bits de la dirección 10.1.10.2. Si esos primeros 16 bits coinciden con los 16 primeros bits de la dirección de la estación de origen (10.1.10.1), entonces la dirección de destino pertenece a la misma red que la de origen. De hecho, los primeros 16 bits de las direcciones 10.1.10.1 y 10.1.10.2 coinciden, luego la estación de destino estará en el mismo segmento físico y se buscará en ese segmento la dirección MAC del destino.

Por tanto ARP desencadenará la siguiente secuencia de paquetes:

| MAC1 → FF:FF:FF:FF:FF:FF | ARP Request | ¿ 10.1.10.2 ? |
| MAC2 → MAC1 | ARP Reply | 10.1.10.2 ↔ MAC2 |

Y de esta forma se enviará el datagrama IP

| MAC1 → MAC2 | 10.1.10.1 → 10.1.10.2 | ICMP Echo Request | datos |

El destinatario, al tratarse de un mensaje generado por la aplicación ping (ICMP Echo Request), contestará con otro paquete IP en respuesta al mismo:

| 10.1.10.2 → 10.1.10.1 | ICMP Echo Reply | datos |

Cuando la estación 10.1.10.2 recibió el mensaje ARP Request, puede comprobarse con el monitor de red Wireshark que el mensaje contenía también la información acerca de la

dirección MAC/IP del remitente. Esta información es almacenada en la tabla caché ARP de la estación 10.1.10.2, por lo que no son necesarios el envío de paquetes ARP para determinar la dirección MAC del equipo 10.1.10.1.

Así, el paquete IP con el mensaje *ICMP Echo Reply* se transmite como:

| MAC2 → MAC1 | 10.1.10.2 → 10.1.10.1 | ICMP Echo Reply | datos |

Supóngase ahora que la estación 10.1.10.1 ejecuta el comando

ping -n 1 10.2.10.3

El datagrama IP construido será

| 10.1.10.1 → 10.2.10.3 | ICMP Echo Request | datos |

La estación 10.1.10.1 comprueba los 16 primeros bits de la dirección de destino (10.2) y verifica que no se corresponden con los suyos. De esta forma la estación 10.1.10.1 sabe que la estación de destino no se encuentra en su propia red y por tanto ha de enviar el datagrama IP a una estación de su red que pueda encaminarlo al destino: esta estación es la puerta de enlace por defecto. Por tanto el datagrama IP ha de encapsularse en un paquete Ethernet dirigido a la puerta de enlace por defecto. Para ello hay que determinar la dirección MAC de la puerta de enlace por defecto con la siguiente secuencia de paquetes ARP:

| MAC1 → FF:FF:FF:FF:FF:FF | ARP Request | ¿ 10.1.10.4 ? |
| MAC4 → MAC1 | ARP Reply | 10.1.10.4 ↔ MAC4 |

De esta forma el paquete Ethernet enviado por la estación 10.1.10.1 será:

| MAC1 → MAC4 | 10.1.10.1 → 10.2.10.3 | ICMP Echo Request | datos |

Es muy importante notar que el datagrama IP mantiene su dirección IP origen y destino sin modificar, ya que el datagrama ha de alcanzar el destino y conservar la información del remitente. **El direccionamiento de nivel de enlace (direcciones MAC) permite que el datagrama alcance el siguiente salto en cada segmento de red para alcanzar el destino.**

Cuando el datagrama

| 10.1.10.1 → 10.2.10.3 | ICMP Echo Request | datos |

es procesado por el router, éste es capaz de determinar que el destinatario está en la red 10.2.0.0/16 a la que está conectado directamente. Por ello, en el segmento de red 10.2.0.0 se desencadenará la secuencia de paquetes ARP:

| MAC5 → FF:FF:FF:FF:FF:FF | ARP Request | ¿ 10.2.10.3 ? |
| MAC6 → MAC5 | ARP Reply | 10.2.10.3 ↔ MAC6 |

Y el router enviará el paquete Ethernet con el datagrama IP a su destinatario:

| MAC5 → MAC6 | 10.1.10.1 -> 10.2.10.3 | ICMP Echo Request | datos |

La estación 10.2.10.3 contestará con un mensaje *ICMP Echo Reply* de la forma:

| 10.2.10.3 → 10.1.10.1 | ICMP Echo Reply | datos |

Al igual que en el envío del mensaje *ICMP Echo Request*, la estación 10.2.10.3 detecta que el destinatario no es de su red y enviará el paquete a la puerta de enlace por defecto. Esta vez sin preguntas ARP, pues la información de la puerta de enlace por defecto se almacenó cuando recibió el mensaje *ARP Request*.

| **MAC6 → MAC5** | **10.2.10.3 → 10.1.10.1** | **ICMP Echo Reply** | **datos** |

Y la puerta de enlace por defecto reenviará el paquete a la estación 10.1.10.1

| **MAC4 → MAC1** | **10.2.10.3 → 10.1.10.1** | **ICMP Echo Reply** | **datos** |

Un parámetro de configuración adicional en una máquina conectada a una red TCP/IP son los denominados **servidores de nombres de dominio** o **domain name servers (DNS)**. Cuando se accede a un servidor web con un navegador el usuario introduce un nombre en la forma *www.nombre.dominio* (*www.ua.es*). Este nombre denota a un servidor de hipertexto de una organización en una región (Servidor de hipertexto de la Universidad de Alicante en España). Al acceder a un servidor web se produce el intercambio de datagramas IP entre el cliente y el servidor, pero para ello es necesario conocer la dirección IP del servidor. De esta función se encargan los servidores de nombres de dominio. Cada proveedor de acceso a Internet dispone de servidores de nombres que realizan una traducción de nombre de dominio a direcciones IP para sus clientes. Estos servidores de nombres están dispuestos en una estructura jerárquica, de forma que si un servidor no conoce un cierto nombre lo consulta a otro servidor de nombres. En la Universidad de Alicante, los servidores de nombres tienen las direcciones IP 193.145.233.5 y 193.145.233.6.

Formato del datagrama IP

Un datagrama IP consta de una cabecera y un cuerpo de datos. En la cabecera se incorpora la información de control para el funcionamiento del protocolo como son las direcciones IP de origen y de destino. El formato del datagrama IP queda representado en la figura siguiente.

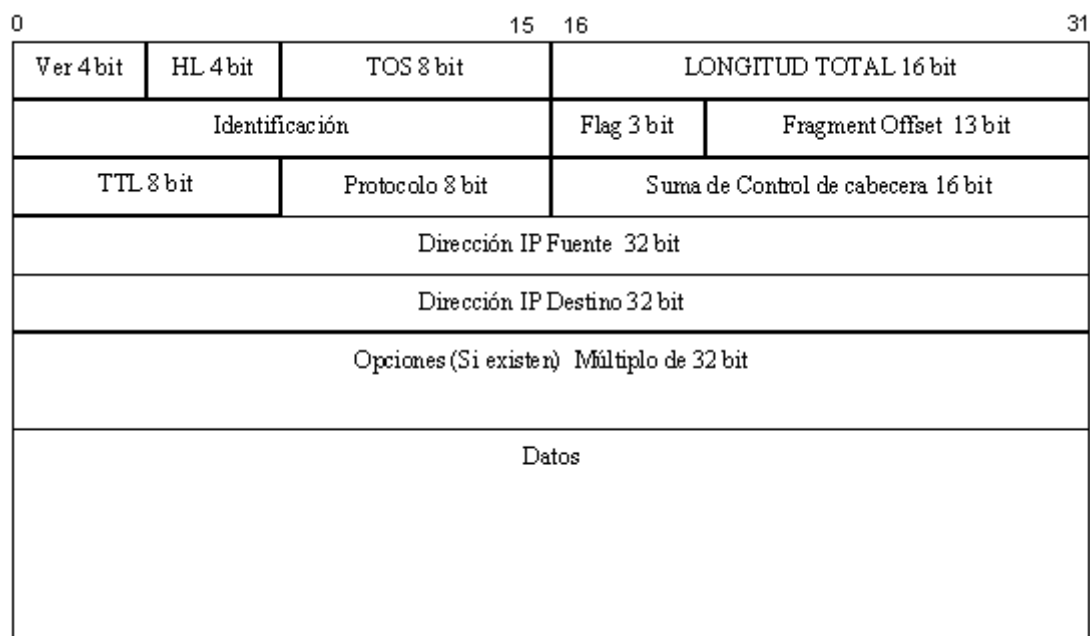


Figura 9. Formato de un datagrama IPv4.

El bit más significativo está marcado como 0 en el lado izquierdo, mientras que el menos significativo de la palabra de 32 bits se etiqueta como 31 en el lado derecho. Los octetos de cada palabra de 32 bits se transmiten empezando por el 0 hasta el 31.

El campo **Ver** indica la versión del protocolo IP en el datagrama y tiene una longitud de 4 bits.

El campo **HL** indica el número de palabras de 32 bits que componen la cabecera, incluyendo las opciones eventuales. Puesto que su tamaño es de 4 bits, tendremos que: $(2^4 - 1) \times 32$ bits por palabra = 60 bytes de longitud máxima en la cabecera IP. Este campo posee habitualmente el valor 5 (cuando no existen opciones).

TOS (Type of service) indica el Tipo de Servicio. El formato de este campo está relacionado con las prestaciones de Calidad de Servicio (*Quality of Service*) de las redes IP actuales, y no es objeto de la asignatura.

El campo **Longitud Total** contiene el tamaño en bytes de todo el datagrama IP (cabecera y datos). Gracias a él y al campo HL podemos conocer donde empieza y termina la porción de datos. Como utiliza 16 bits, se puede deducir que el tamaño máximo o MTU de un datagrama IP será de 65535 bytes.

El mecanismo de fragmentación utilizado por IP emplea los siguientes 3 campos. El primero, **Identificación**, permite marcar de forma única cada datagrama enviado por una máquina. Se incrementa normalmente en cada nuevo envío. Cuando se produce una fragmentación, este valor es copiado en cada uno de los trozos o fragmentos que componen el datagrama original. El campo **flag** de 3 bits, activa entonces uno de ellos (el número 2) conocido como '*more fragments*' tomando el valor 1 en todos los trozos excepto en el último. El campo **Frame Offset** contiene el índice del fragmento a partir del datagrama original. Además, el nuevo campo **Longitud Total** de cada fragmento se actualiza al valor adecuado.

Existe un bit (el número 1) en el campo **flag** conocido como **Don't fragment**. Si está activado a 1 en un paquete, IP no puede fragmentarlo, eliminando el datagrama si es demasiado grande para ser transmitido y enviando un mensaje de error ICMP a la estación que envió el paquete (en la práctica 2 se analiza este comportamiento en detalle).

Para evitar que un datagrama quede atrapado en algún bucle dentro de la red (por ejemplo por problemas con los protocolos de encaminamiento) existe un tiempo de vida representado mediante el campo **TTL** (Time to Live). Se inicializa a un cierto valor por el remitente y se decrementa en una unidad por cada router que atraviesa. Cuando alcanza el valor 0, el datagrama se elimina y un mensaje ICMP es enviado al origen indicando el suceso.

El campo **Protocolo** identifica el protocolo (TCP, UDP, ICMP, etc.) que transporta el paquete IP en su campo de datos.

La **Suma de Control** abarca únicamente la cabecera IP. Se calcula como una suma sin acarreo sobre 16 bits de todos los bytes que componen la cabecera IP considerándolos como una secuencia de palabras de 16 bits. El motivo es claro. Un router debe procesar grandes cantidades de paquetes por unidad de tiempo. Generalmente, el único valor que se modifica a cada datagrama es el TTL, decrementándolo en una unidad. El cálculo de la suma de control puede ser realizado de forma incremental disminuyendo drásticamente el tiempo de proceso de cada datagrama por las pasarelas intermedias.

Como ya se comentó anteriormente, cada datagrama contiene la **dirección IP** del **destinatario** y la del **remitente**.

El campo **Opciones** es una lista de longitud variable con información específica del datagrama y que en los paquetes de datos de Internet no suele emplearse.

4. CUESTIONES

4.1 ANÁLISIS DE UNA CAPTURA DE DATOS

A partir de un fichero de captura de tráfico en la red se determinará cierta información que aparece en la misma. Para ello se necesita generar tráfico para poder obtener un fichero con información capturada.

En primer lugar se iniciará el monitor de red y se realizarán las siguientes acciones para generar tráfico:

- Abrimos una sesión del navegador a la dirección URL <http://www.dfists.ua.es>
- Desde una ventana de comandos en línea (cmd), se ejecuta el comando **ping 172.20.43.230**, que permite comprobar la conectividad de una máquina remota
- Ejecutamos desde una ventana de comandos en línea (cmd), el comando **ping -l 1600 172.20.43.230**. Con este comando se envían paquetes con 1600 bytes de datos en el mensaje ICMP Echo Request.
- Ejecutamos desde una ventana de comandos en línea (cmd), el comando **tracert 172.25.40.31**, que permite comprobar los saltos que recorren los paquetes para llegar a ese destino.

A continuación se detiene la captura y se almacena en un fichero con nombre **LAB24_P1.cap**.

Ahora disponemos de una captura que vamos a poder filtrar con un filtro de visualización. Con esta captura se debe responder a las siguientes cuestiones:

Cuestión 1. Calcula el porcentaje de paquetes ethernet de difusión existentes en la captura. (paquetes de difusión/paquetes totales * 100).

Cuestión 2. Calcula el porcentaje de paquetes IP existentes en la captura.

Cuestión 3. Calcula el porcentaje de paquetes no IP existentes en la captura.

Cuestión 4. Calcula el porcentaje de paquetes IP enviados por el equipo del alumno.

Cuestión 5. Calcula el porcentaje de paquetes IP recibidos por el equipo del alumno

Cuestión 6. Visualiza los paquetes IP que contengan la cadena 'Sistemas'. ¿ Con qué aplicación están relacionados ?

Cuestión 7. Determina la dirección IP del servidor web www.dfists.ua.es.

Cuestión 8. Visualiza todos los paquetes IP que contengan la cadena 'abcd' y sean intercambiados con la dirección IP de tu máquina.

Cuestión 9. Respecto a los paquetes obtenidos en el apartado anterior, ¿pertenecen a algún protocolo en concreto? Explica qué aplicación o programa ha podido generar esos paquetes.

Cuestión 10. Visualiza aquellos paquetes que contengan el campo *protocol* de la cabecera IP igual a 17.

Cuestión 11. Visualiza todos los paquetes que contengan el campo *TTL* (Time to Live) de la cabecera IP igual a 1.

Cuestión 12. Visualiza todos los paquetes que contengan el campo *TTL* (Time to Live) de la cabecera IP igual a 2.

Cuestión 13. Respecto de los apartados 11 y 12, ¿Qué protocolo aparece? ¿Qué aplicación puede haberlos generado y por qué?

Cuestión 14. Determina qué porcentaje de los paquetes IP capturados están fragmentados (paquetes con el bit MORE FRAGMENTS activo).

4.2 PROTOCOLO ARP

Para obtener la información de dirección MAC, dirección IP, máscara de red y puerta de enlace por defecto en un PC con Windows 10 puede emplearse el comando:

C:\ipconfig /all

Se mostrará la información de diferentes interfaces, el único físico y real es el Ethernet, que es el empleado por el PC para la conectividad con Internet.

Verificar que la configuración del equipo tiene conectividad al laboratorio de prácticas comprobando la dirección de la puerta de enlace por defecto. Para ello se ejecutará el comando:

C:\netstat -rn

Nota: En el caso de Windows 10 es necesario ejecutar la aplicación “cmd.exe” con permisos de administrador.

Se debe comprobar que aparece una línea de la forma:

Destino de red	Máscara de red	Puerta de acceso
0.0.0.0	0.0.0.0	172.20.43.230

Si la información anterior no aparece hay que crearla ejecutando el siguiente comando:

C:\pracredes

Comprobar con el comando “**netstat -rn**” que ahora sí aparece la línea indicada.

NOTA 1: Para recuperar la configuración de red inicial del equipo y tener conectividad con los servicios de la UA (UACloud) e Internet es necesario ejecutar la siguiente secuencia de comandos:

C:\route delete 0.0.0.0
C:\ipconfig /release
C:\ipconfig /renew

Cuestión 1. Verifica la presencia de paquetes ARP en la red ejecutando el comando **ping -n 1 172.20.43.231** y que la secuencia de las mismas se corresponde con la descrita en el enunciado de la práctica.

Comprobar que en la tabla ARP (comando **arp -a**) aparece la entrada correspondiente y que si se ejecuta de nuevo el comando **ping -n 1 172.20.43.231** no aparecen paquetes ARP.

Para que aparezcan de nuevo paquetes ARP hay que esperar a que se borre la entrada automáticamente o borrarla directamente con el comando **arp -d 172.20.43.231**.

Cuestión 2. Verifica el funcionamiento de ARP enviando un paquete IP a la máquina de tu compañero. Ejecuta el comando **ping -n 1 IP_compañero** y determina los paquetes ARP y mensajes ICMP *Echo Request* e ICMP *Echo Reply* que aparecen.

¿Cuántas secuencias ARP aparecen al hacer un ping a la dirección de tu compañero?

¿Cómo cambian las tablas ARP de tu máquina y la de tu compañero?

Repite el comando **ping -n 1 IP_compañero** y analiza los paquetes ARP capturados.
¿ Se transmiten paquetes ARP ?

Elimina en la tabla caché ARP la entrada asociada a la IP de tu compañero y verifica que se generan de nuevo paquetes ARP.

Apaga la estación de tu compañero y borra en la tabla ARP de tu equipo la entrada correspondiente al PC de tu compañero. Vuelve a ejecutar el comando **ping -n 1 IP_compañero**. ¿ Aparecen paquetes ARP ?

Cuestión 3. Verifica el modo de funcionamiento de ARP cuando se envía un datagrama (paquete IP) a otra red. Para ello ejecuta los comandos:

```
arp -d 172.20.43.230  
ping -n 1 10.4.2.5
```

Determina la dirección IP por la que se pregunta en los paquetes ARP Request que genera tu equipo al ejecutar el comando. Ten en cuenta que sólo podrá visualizarse la secuencia ARP correspondiente a tu segmento físico.

Cuestión 4. Determina a través de qué estación de la red 172.20.43.192/26 procede el paquete ICMP Echo de respuesta al ejecutar el comando ping a los siguientes destinos. Para ello hay que determinar la dirección MAC de origen del paquete ICMP Echo de respuesta y ver en la tabla caché de ARP a que máquina se corresponde en la red.

```
ping -n 1 10.4.2.6  
ping -n 1 10.4.2.5  
ping -n 1 10.4.2.2  
ping -n 1 10.4.2.1  
ping -n 1 10.3.7.0  
ping -n 1 10.3.2.0  
ping -n 1 172.20.41.243
```

Cuestión 5. Construye una tabla con los valores de las direcciones IP y MAC activas en la red del laboratorio de prácticas (red **172.20.43.192/26**). Para ello emplea la aplicación ping con todas las direcciones IP del rango del laboratorio de prácticas.

Construye esta misma tabla para los equipos existentes en la LAN WiFi de tu residencia personal (la red IP a emplear será la del interfaz inalámbrico de tu ordenador portátil o del interfaz Ethernet, dependiendo de tu conectividad en tu residencia).

Cuestión 6. Ejecuta los comandos:

arp -d 172.20.43.235

ping -n 1 172.20.43.235.

Determina la secuencia ARP realizada y los mensajes ICMP intercambiados. ¿ Qué podrías afirmar acerca de la estación 172.20.43.235 ?

Cuestión 7. Ejecuta el comando **ping -n 1 172.20.41.244** y determina la secuencia ARP realizada.

¿ Aparecen paquetes ARP ? ¿ Por qué ?

¿ Recibes algún mensaje ICMP *Echo Reply* de la estación 172.20.41.244 ? ¿ A qué crees que puede ser debido ?

4.3 DIRECCIONAMIENTO IP

Se desean establecer 7 subredes dentro de la red 193.145.230.0/24 con el mismo número de equipos. Determina en cuántos bits hay que ampliar la máscara de red y cuáles son los rangos de direcciones IP para todas las subredes resultantes.

Se desean establecer 5 subredes dentro de la red 130.20.0.0/22. Determina en cuantos bits hay que ampliar la máscara de red y cuáles son los rangos de direcciones IP para todas las subredes resultantes.

5. DOCUMENTACIÓN COMPLEMENTARIA

- **RFC 791.** Internet Protocol v4 specification.
- **RFC 826.** Ethernet Address Resolution Protocol.
- **RFC 1883.** Internet Protocol v6 specification.