

Capítulo 1

Introducción

Internet no es un nuevo tipo de red física, sino un conjunto de tecnologías que permiten interconectar redes muy distintas entre sí. Internet no es dependiente de la máquina ni del sistema operativo utilizado. De esta manera, podemos transmitir información entre un servidor Unix y un ordenador que utilice Windows 98. O entre plataformas completamente distintas como Macintosh, Alpha o Intel. Es más: entre una máquina y otra generalmente existirán redes distintas: redes Ethernet, redes Token Ring e incluso enlaces vía satélite. Como vemos, está claro que no podemos utilizar ningún protocolo que dependa de una arquitectura en particular. Lo que estamos buscando es un método de interconexión general que sea válido para cualquier plataforma, sistema operativo y tipo de red. La familia de protocolos que se eligieron para permitir que Internet sea una *Red de redes* es TCP/IP. Nótese aquí que hablamos de familia de protocolos ya que son muchos los protocolos que la integran, aunque en ocasiones para simplificar hablemos sencillamente del protocolo TCP/IP.

El protocolo TCP/IP tiene que estar a un nivel superior del tipo de red empleado y funcionar de forma transparente en cualquier tipo de red. Y a un nivel inferior de los programas de aplicación (páginas WEB, correo electrónico...) particulares de cada sistema operativo. Todo esto nos sugiere el siguiente modelo de referencia:

Capa de aplicación (HTTP, SMTP, FTP, TELNET...)
Capa de transporte (UDP, TCP)
Capa de red (IP)
Capa de acceso a la red (Ethernet, Token Ring...)
Capa física (cable coaxial, par trenzado...)

El nivel más bajo es la capa física. Aquí nos referimos al medio físico por el cual se transmite la información. Generalmente será un cable aunque no se descarta cualquier otro medio de transmisión como ondas o enlaces vía satélite.

La capa de acceso a la red determina la manera en que las estaciones (ordenadores) envían y reciben la información a través del soporte físico proporcionado por la capa anterior. Es decir, una vez que tenemos un cable, ¿cómo se transmite la información por ese cable? ¿Cuándo puede una estación transmitir? ¿Tiene que esperar algún turno o transmite sin más? ¿Cómo sabe una estación que un mensaje es para ella? Pues bien, son todas estas cuestiones las que resuelve esta capa.

Las dos capas anteriores quedan a un nivel inferior del protocolo TCP/IP, es decir, no forman parte de este protocolo. La capa de red define la forma en que un mensaje se transmite a través de distintos tipos de redes hasta llegar a su destino. El principal protocolo de esta capa es el IP aunque también se encuentran a este nivel los protocolos ARP, ICMP e IGMP. Esta capa proporciona el direccionamiento IP y determina la ruta óptima a través de los encaminadores (*routers*) que debe seguir un paquete desde el origen al destino.

La capa de transporte (protocolos TCP y UDP) ya no se preocupa de la ruta que siguen los mensajes hasta llegar a su destino. Sencillamente, considera que la comunicación extremo a extremo está establecida y la utiliza. Además añade la noción de puertos, como veremos más adelante.

Una vez que tenemos establecida la comunicación desde el origen al destino nos queda lo más importante, ¿qué podemos transmitir? La capa de aplicación nos proporciona los distintos servicios de Internet: correo electrónico, páginas Web, FTP, TELNET...

Capítulo 2

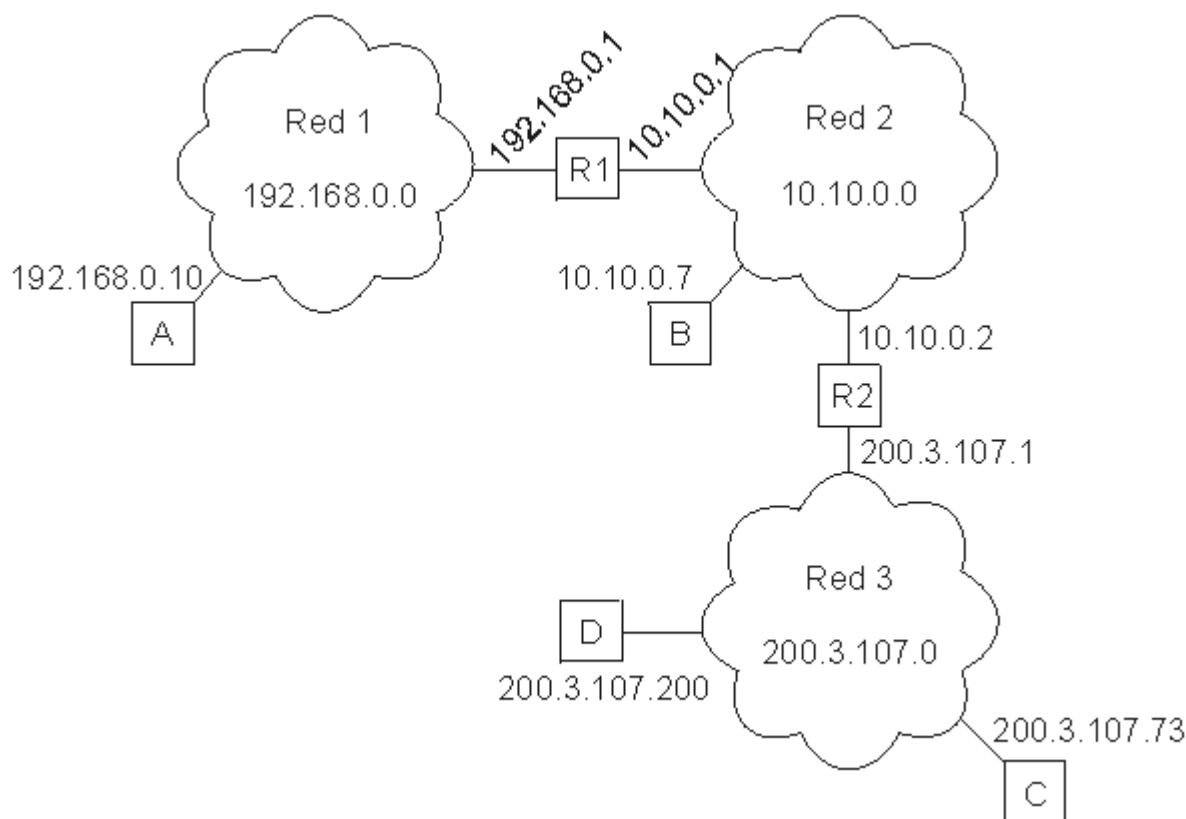
Capa de red

La familia de protocolos TCP/IP fue diseñada para permitir la interconexión entre distintas redes. El mejor ejemplo de interconexión de redes es Internet: se trata de un conjunto de redes unidas mediante encaminadores o *routers*.

A lo largo de este Curso aprenderemos a construir redes privadas que funcionen siguiendo el mismo esquema de Internet. En una red TCP/IP es posible tener, por ejemplo, servidores web y servidores de correo para uso interno. Obsérvese que todos los servicios de Internet se pueden configurar en pequeñas redes internas TCP/IP.

A continuación veremos un ejemplo de interconexión de 3 redes. Cada *host* (ordenador) tiene una dirección física que viene determinada por su adaptador de red. Estas direcciones se corresponden con la capa de acceso al medio y se utilizan para comunicar dos ordenadores que pertenecen a la misma red. Para identificar globalmente un ordenador dentro de un conjunto de redes TCP/IP se utilizan las direcciones IP (capa de red). Observando una dirección IP sabremos si pertenece a nuestra propia red o a una distinta (todas las direcciones IP de la misma red comienzan con los mismos números, según veremos más adelante).

Host	Dirección física	Dirección IP	Red
A	00-60-52-0B-B7-7D	192.168.0.10	Red 1
R1	00-E0-4C-AB-9A-FF	192.168.0.1	Red 2
B	A3-BB-05-17-29-D0	10.10.0.1	Red 3
R2	00-E0-4C-33-79-AF	10.10.0.7	
	B2-42-52-12-37-BE	10.10.0.2	
	00-E0-89-AB-12-92	200.3.107.1	
C	A3-BB-08-10-DA-DB	200.3.107.73	
D	B2-AB-31-07-12-93	200.3.107.200	



El concepto de **red** está relacionado con las direcciones IP que se configuren en cada ordenador, no con el cableado. Es decir, si tenemos varias redes dentro del mismo cableado solamente los ordenadores que permanezcan a una misma red podrán comunicarse entre sí. Para que los ordenadores de una red puedan comunicarse con los de otra red es necesario que existan routers que interconecten las redes. Un **router** o encaminador no es más que un ordenador con varias direcciones IP, una para cada red, que permita el tráfico de paquetes entre sus redes.

La capa de red se encarga de fragmentar cada mensaje en paquetes de datos llamados **datagramas IP** y de enviarlos de forma independiente a través de la red de redes. Cada datagrama IP incluye un campo con la dirección IP de destino. Esta información se utiliza para *enrutar* los datagramas a través de las redes necesarias que los hagan llegar hasta su destino.

***Nota:** Cada vez que visitamos una página web o recibimos un correo electrónico es habitual atravesar un número de redes comprendido entre 10 y 20, dependiendo de la distancia de los hosts. El tiempo que tarda un datagrama en atravesar 20 redes (20 routers) suele ser inferior a 600 milisegundos.*

En el ejemplo anterior, supongamos que el ordenador 200.3.107.200 (D) envía un mensaje al ordenador con 200.3.107.73 (C). Como ambas direcciones comienzan con los mismos números, D sabrá que ese ordenador se encuentra dentro de su propia red y el mensaje se entregará de forma directa. Sin embargo, si el ordenador 200.3.107.200 (D) tuviese que comunicarse con 10.10.0.7 (B), D advertiría que el ordenador destino no pertenece a su propia red y enviaría el mensaje al router R2 (es el ordenador que le da salida a otras redes). El router entregaría el mensaje de forma directa porque B se encuentra dentro de una de sus redes (la Red 2).

2.1 Direcciones IP

La dirección IP es el identificador de cada host dentro de su red de redes. Cada host conectado a una red tiene una dirección IP asignada, la cual debe ser distinta a todas las demás direcciones que estén vigentes en ese momento en el conjunto de redes visibles por el host. En el caso de Internet, no puede haber dos ordenadores con 2 direcciones IP (públicas) iguales. Pero sí podríamos tener dos ordenadores con la misma dirección IP siempre y cuando pertenezcan a redes independientes entre sí (sin ningún camino

posible que las comunique).

Las direcciones IP se clasifican en:

- **Direcciones IP públicas.** Son visibles en todo Internet. Un ordenador con una IP pública es accesible (visible) desde cualquier otro ordenador conectado a Internet. Para conectarse a Internet es necesario tener una dirección IP pública.
- **Direcciones IP privadas (reservadas).** Son visibles únicamente por otros hosts de su propia red o de otras redes privadas interconectadas por routers. Se utilizan en las empresas para los puestos de trabajo. Los ordenadores con direcciones IP privadas pueden salir a Internet por medio de un router (o *proxy*) que tenga una IP pública. Sin embargo, desde Internet no se puede acceder a ordenadores con direcciones IP privadas.

A su vez, las direcciones IP pueden ser:

- **Direcciones IP estáticas (fijas).** Un host que se conecte a la red con dirección IP estática siempre lo hará con una misma IP. Las direcciones IP públicas estáticas son las que utilizan los servidores de Internet con objeto de que estén siempre localizables por los usuarios de Internet. Estas direcciones hay que contratarlas.
- **Direcciones IP dinámicas.** Un host que se conecte a la red mediante dirección IP dinámica, cada vez lo hará con una dirección IP distinta. Las direcciones IP públicas dinámicas son las que se utilizan en las conexiones a Internet mediante un módem. Los proveedores de Internet utilizan direcciones IP dinámicas debido a que tienen más clientes que direcciones IP (es muy improbable que todos se conecten a la vez).

Las direcciones IP están formadas por 4 bytes (32 bits). Se suelen representar de la forma a.b.c.d donde cada una de estas letras es un número comprendido entre el 0 y el 255. Por ejemplo la dirección IP del servidor de IBM (www.ibm.com) es 129.42.18.99.

Las direcciones IP también se pueden representar en hexadecimal, desde la 00.00.00.00 hasta la FF.FF.FF.FF o en binario, desde la 00000000.00000000.00000000.00000000 hasta la 11111111.11111111.11111111.11111111.

Las tres direcciones siguientes representan a la misma máquina (podemos utilizar la calculadora científica de Windows para realizar las conversiones).

(decimal) 128.10.2.30
(hexadecimal) 80.0A.02.1E
(binario) 10000000.00001010.00000010.00011110

¿Cuántas direcciones IP existen? Si calculamos 2 elevado a 32 obtenemos más de 4000 millones de direcciones distintas. Sin embargo, no todas las direcciones son válidas para asignarlas a hosts. Las direcciones IP no se encuentran aisladas en Internet, sino que pertenecen siempre a alguna red. Todas las máquinas conectadas a una misma red se caracterizan en que los primeros bits de sus direcciones son iguales. De esta forma, las direcciones se dividen conceptualmente en dos partes: el *identificador de red* y el *identificador de host*.

Dependiendo del número de hosts que se necesiten para cada red, las direcciones de Internet se han dividido en las **clases primarias A, B y C**. La **clase D** está formada por direcciones que identifican no a un host, sino a un grupo de ellos. Las direcciones de **clase E** no se pueden utilizar (están reservadas).

	0	1	2	3	4	8	16	24	31
Clase A	0					red			host
Clase B	1	0					red		host
Clase C	1	1	0					red	host
Clase D	1	1	1	0					grupo de multicast (multidifusión)
Clase E	1	1	1	1					(direcciones reservadas: no se pueden utilizar)

Clase	Formato (r=red, h=host)	Número de redes	Número de hosts por red	Rango de direcciones de redes	Máscara de subred
A	r.h.h.h	128	16.777.214	0.0.0.0 - 127.0.0.0	255.0.0.0
B	r.r.h.h	16.384	65.534	128.0.0.0 - 191.255.0.0	255.255.0.0
C	r.r.r.h	2.097.152	254	192.0.0.0 - 223.255.255.0	255.255.255.0
D	grupo	-	-	224.0.0.0 - 239.255.255.255	-
E	no válidas	-	-	240.0.0.0 - 255.255.255.255	-

Nota: Las direcciones usadas en Internet están definidas en la RFC 1166 ([en inglés](#)).

Difusión (broadcast) y multidifusión (multicast).-- El término difusión (broadcast) se refiere a todos los hosts de una red; multidifusión (multicast) se refiere a varios hosts (aquellos que se hayan suscrito dentro de un mismo grupo). Siguiendo esta misma terminología, en ocasiones se utiliza el término unidifusión para referirse a un único host.

2.2 Direcciones IP especiales y reservadas

No todas las direcciones comprendidas entre la 0.0.0.0 y la 223.255.255.255 son válidas para un host: algunas de ellas tienen significados especiales. Las principales direcciones especiales se resumen en la siguiente tabla. Su interpretación depende del host desde el que se utilicen.

Bits de red		Bits de host	Significado	Ejemplo
todos 0			Mi propio host	0.0.0.0
todos 0		host	Host indicado dentro de mi red	0.0.0.10
red		todos 0	Red indicada	192.168.1.0
todos 1			Difusión a mi red	255.255.255.255
red		todos 1	Difusión a la red indicada	192.168.1.255
127		cualquier valor válido de host	Loopback (mi propio host)	127.0.0.1

Difusión o *broadcasting* es el envío de un mensaje a todos los ordenadores que se encuentran en una red. La dirección de *loopback* (normalmente 127.0.0.1) se utiliza para comprobar que los protocolos TCP/IP están correctamente instalados en nuestro propio ordenador. Lo veremos más adelante, al estudiar el comando PING.

Las direcciones de redes siguientes se encuentran reservadas para su uso en redes privadas (*intranets*). Una dirección IP que pertenezca a una de estas redes se dice que es una *dirección IP privada*.

Clase	Rango de direcciones reservadas de redes
A	10.0.0.0
B	172.16.0.0 - 172.31.0.0
C	192.168.0.0 - 192.168.255.0

Intranet.-- Red privada que utiliza los protocolos TCP/IP. Puede tener salida a Internet o no. En el caso de tener salida a Internet, el direccionamiento IP permite que los hosts con direcciones IP privadas puedan salir a Internet pero impide el acceso a los hosts internos desde Internet. Dentro de una intranet se pueden configurar todos los servicios típicos de Internet (web, correo, mensajería instantánea, etc.) mediante la instalación de los correspondientes servidores. La idea es que las intranets son como "internets" en miniatura o lo que es lo mismo, Internet es una intranet pública gigantesca.

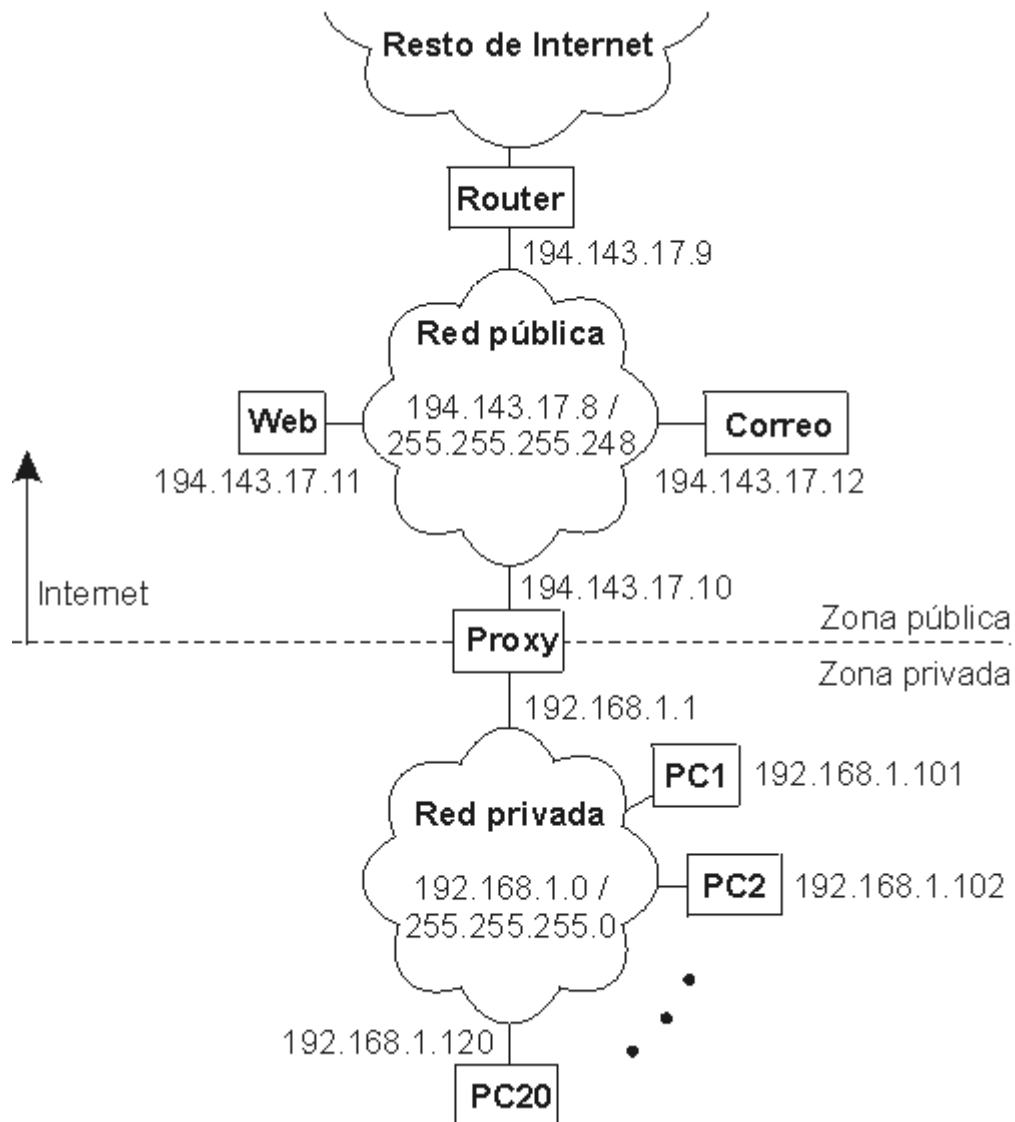
Extranet.-- Unión de dos o más intranets. Esta unión puede realizarse mediante líneas dedicadas (RDSI, X.25, frame relay, punto a punto, etc.) o a través de Internet.

Internet.-- La mayor red pública de redes TCP/IP.

Por ejemplo, si estamos construyendo una red privada con un número de ordenadores no superior a 254 podemos utilizar una red reservada de clase C. Al primer ordenador le podemos asignar la dirección 192.168.23.1, al segundo 192.168.23.2 y así sucesivamente hasta la 192.168.23.254. Como estamos utilizando direcciones reservadas, tenemos la garantía de que no habrá ninguna máquina conectada directamente a Internet con alguna de nuestras direcciones. De esta manera, no se producirán conflictos y desde cualquiera de nuestros ordenadores podremos acceder a la totalidad de los servidores de Internet (si utilizásemos en un ordenador de nuestra red una dirección de un servidor de Internet, nunca podríamos acceder a ese servidor).

CASO PRÁCTICO.- Una empresa dispone de una línea frame relay con direcciones públicas contratadas desde la 194.143.17.8 hasta la 194.143.17.15 (la dirección de la red es 194.143.17.8, su dirección de broadcasting 194.143.17.15 y su máscara de red 255.255.255.248). La línea frame relay está conectada a un router. Diseñar la red para:

- 3 servidores (de correo, web y proxy)
- 20 puestos de trabajo



Los 20 puestos de trabajo utilizan direcciones IP privadas y salen a Internet a través del Proxy. En la configuración de red de cada uno de estos 20 ordenadores se indicará la dirección "192.168.1.1" en el cuadro "Puerta de enlace". La *puerta de enlace* (*puerta de salida* o *gateway*) es el ordenador de nuestra red que nos permite salir a otras redes. El Proxy tiene dos direcciones IP, una de la red privada y otra de la red pública. Su misión es dar salida a Internet a la red privada, pero no permitir los accesos desde el exterior a la zona privada de la empresa. Los 3 servidores y el router utilizan direcciones IP públicas, para que sean accesibles desde cualquier host de Internet. La puerta de enlace de Proxy, Correo y Web es 194.143.17.9 (Router). Obsérvese que la primera y última dirección de todas las redes son direcciones IP especiales que no se pueden utilizar para asignarlas a hosts. La primera es la dirección de la red y la última, la dirección de difusión o broadcasting. La máscara de subred de cada ordenador se ha indicado dentro de su red después de una barra: PC1, PC2, ... , PC20 y Proxy (para su IP 192.168.1.1) tienen la máscara 255.255.255.0 y Router, Web, Correo y Proxy (para su IP 194.143.17.10), la máscara 255.255.255.248. El concepto de máscara de subred se estudia a continuación.

2.3 Máscara de subred

Una máscara de subred es aquella dirección que enmascarando nuestra dirección IP, nos indica si otra dirección IP pertenece a nuestra subred o no.

La siguiente tabla muestra las máscaras de subred correspondientes a cada clase:

Clase	Máscara de subred
A	255.0.0.0
B	255.255.0.0
C	255.255.255.0

Si expresamos la máscara de subred de clase A en notación binaria, tenemos:

11111111.00000000.00000000.00000000

Los unos indican los bits de la dirección correspondientes a la red y los ceros, los correspondientes al host. Según la máscara anterior, el primer byte (8 bits) es la red y los tres siguientes (24 bits), el host. Por ejemplo, la dirección de clase A 35.120.73.5 pertenece a la red 35.0.0.0.

Supongamos una subred con máscara 255.255.0.0, en la que tenemos un ordenador con dirección 148.120.33.110. Si expresamos esta dirección y la de la máscara de subred en binario, tenemos:

```
148.120.33.110 10010100.01111000.00100001.01101110 (dirección de una
máquina)
255.255.0.0    11111111.11111111.00000000.00000000 (dirección de su
máscara de red)
148.120.0.0    10010100.01111000.00000000.00000000 (dirección de su
subred)
<-----RED-----> <-----HOST----->
```

Al hacer el producto binario de las dos primeras direcciones (donde hay dos 1 en las mismas posiciones ponemos un 1 y en caso contrario, un 0) obtenemos la tercera.

Si hacemos lo mismo con otro ordenador, por ejemplo el 148.120.33.89, obtenemos la misma dirección de subred. Esto significa que ambas máquinas se encuentran en la misma subred (la subred 148.120.0.0).

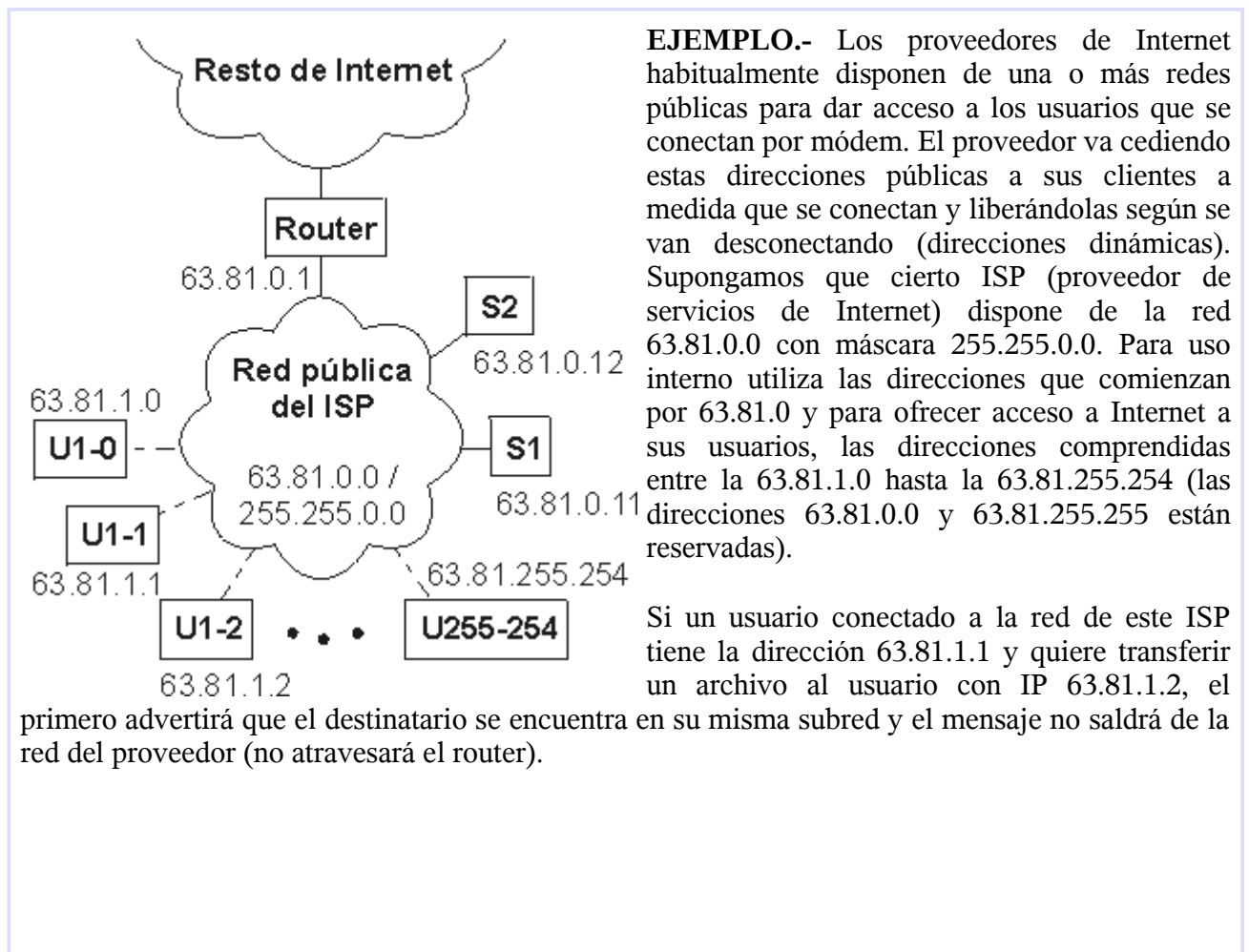
```
148.120.33.89 10010100.01111000.00100001.01011001 (dirección de una
máquina)
255.255.0.0    11111111.11111111.00000000.00000000 (dirección de su
máscara de red)
148.120.0.0    10010100.01111000.00000000.00000000 (dirección de su
subred)
```

En cambio, si tomamos la 148.115.89.3, observamos que no pertenece a la misma subred que las anteriores.

148.115.89.3 10010100.01110011.01011001.00000011 (dirección de una máquina)
 255.255.0.0 11111111.11111111.00000000.00000000 (dirección de su máscara de red)
 148.115.0.0 10010100.01110011.00000000.00000000 (dirección de su subred)

Cálculo de la dirección de difusión.-- Ya hemos visto que el producto lógico binario (AND) de una IP y su máscara devuelve su dirección de red. Para calcular su dirección de difusión, hay que hacer la suma lógica en binario (OR) de la IP con el inverso (NOT) de su máscara.

En una red de redes TCP/IP no puede haber hosts aislados: todos pertenecen a alguna red y todos tienen una dirección IP y una máscara de subred (si no se especifica se toma la máscara que corresponda a su clase). Mediante esta máscara un ordenador sabe si otro ordenador se encuentra en su misma subred o en otra distinta. Si pertenece a su misma subred, el mensaje se entregará directamente. En cambio, si los hosts están configurados en redes distintas, el mensaje se enviará a la puerta de salida o router de la red del host origen. Este router pasará el mensaje al siguiente de la cadena y así sucesivamente hasta que se alcance la red del host destino y se complete la entrega del mensaje.



Las máscaras 255.0.0.0 (clase A), 255.255.0.0 (clase B) y 255.255.255.0 (clase C) suelen ser suficientes para la mayoría de las redes privadas. Sin embargo, las redes más pequeñas que podemos formar con estas máscaras son de 254 hosts y para el caso de direcciones públicas, su contratación tiene un coste muy alto. Por esta razón suele ser habitual dividir las redes públicas de clase C en subredes más pequeñas. A continuación se muestran las posibles divisiones de una red de clase C. La división de una red en subredes se conoce como *subnetting*.

Máscara de subred	Binario	Número de subredes	Núm. de hosts por subred	Ejemplos de subredes (x=a.b.c por ejemplo, 192.168.1)
255.255.255.0	00000000	1	254	x.0
255.255.255.128	10000000	2	126	x.0, x.128
255.255.255.192	11000000	4	62	x.0, x.64, x.128, x.192
255.255.255.224	11100000	8	30	x.0, x.32, x.64, x.96, x.128, ...
255.255.255.240	11110000	16	14	x.0, x.16, x.32, x.48, x.64, ...
255.255.255.248	11111000	32	6	x.0, x.8, x.16, x.24, x.32, x.40, ...
255.255.255.252	11111100	64	2	x.0, x.4, x.8, x.12, x.16, x.20, ...
255.255.255.254	11111110	128	0	ninguna posible
255.255.255.255	11111111	256	0	ninguna posible

Obsérvese que en el caso práctico que explicamos un poco más arriba se utilizó la máscara 255.255.255.248 para crear una red pública con 6 direcciones de hosts válidas (la primera y última dirección de todas las redes se excluyen). Las máscaras con bytes distintos a 0 o 255 también se pueden utilizar para particionar redes de clase A o de clase B, sin embargo no suele ser lo más habitual. Por ejemplo, la máscara 255.255.192.0 dividiría una red de clase B en 4 subredes de 16382 hosts (2 elevado a 14, menos 2) cada una.

EJERCICIOS

1. Calcular la dirección de red y dirección de *broadcasting* (difusión) de las máquinas con las siguientes direcciones IP y máscaras de subred (si no se especifica, se utiliza la máscara por defecto):

- **18.120.16.250:** máscara 255.0.0.0, red 18.0.0.0, broadcasting 18.255.255.255
- **18.120.16.255 / 255.255.0.0:** red 18.120.0.0, broadcasting 18.120.255.255
- **155.4.220.39:** máscara 255.255.0.0, red 155.4.0.0, broadcasting 155.4.255.255
- **194.209.14.33:** máscara 255.255.255.0, red 194.209.14.0, broadcasting 194.209.14.255
- **190.33.109.133 / 255.255.255.0:** red 190.33.109.0, broadcasting 190.33.109.255

2. Suponiendo que nuestro ordenador tiene la dirección IP 192.168.5.65 con máscara 255.255.255.0, indicar qué significan las siguientes direcciones especiales:

- **0.0.0.0:** nuestro ordenador
- **0.0.0.29:** 192.168.5.29
- **192.168.67.0:** la red 192.168.67.0
- **255.255.255.255:** broadcasting a la red 192.168.5.0 (la nuestra)
- **192.130.10.255:** broadcasting a la red 192.130.10.0
- **127.0.0.1:** 192.168.5.65 (loopback)

3. Calcular la dirección de red y dirección de *broadcasting* (difusión) de las máquinas con las siguientes direcciones IP y máscaras de subred:

- **190.33.109.133 / 255.255.255.128:** red 190.33.109.128, broadcasting 190.33.109.255 (133=10000101, 128=10000000, 127=01111111)
- **192.168.20.25 / 255.255.255.240:** red 192.168.20.16, broadcasting 192.168.20.31 (25=00011001, 240=11110000, 16=00010000, 31=00011111)
- **192.168.20.25 / 255.255.255.224:** red 192.168.20.0, broadcasting 192.168.20.31 (25=00011001, 224=11100000, 31=00011111)
- **192.168.20.25 / 255.255.255.192:** red 192.168.20.0, broadcasting 192.168.20.63 (25=00011001, 192=11000000, 63=00111111)
- **140.190.20.10 / 255.255.192.0:** red 140.190.0.0, broadcasting 140.190.63.255 (020=00010100, 192=11000000, 063=00111111)
- **140.190.130.10 / 255.255.192.0:** red 140.190.128.0, broadcasting 140.190.191.255 (130=10000010, 192=11000000, 128=10000000, 063=00111111, 191=10111111)
- **140.190.220.10 / 255.255.192.0:** red 140.190.192.0, broadcasting 140.190.255.255 (220=11011100, 192=11000000, 063=00111111, 255=11111111)

4. Viendo las direcciones IP de los hosts públicos de una empresa observamos que todas están comprendidas entre 194.143.17.145 y 194.143.17.158, ¿Cuál es (probablemente) su dirección de red, broadcasting y máscara?

Pasamos a binario las dos direcciones. La primera tiene que estar próxima a la dirección de red y la última, a la dirección de broadcasting:

```
194.143.017.145 11000010.10001111.00010001.10010001
194.143.017.158 11000010.10001111.00010001.10011110
```

Podemos suponer que la dirección de red es 194.143.17.144 y la de broadcasting, 194.143.17.159:

```
194.143.017.144 11000010.10001111.00010001.10010000
194.143.017.159 11000010.10001111.00010001.10011111
<-----RED-----><-->HOST
```

Entonces la máscara será:

```
255.255.255.240 11111111.11111111.11111111.11110000
<-----RED-----><-->HOST
```

2.4 Protocolo IP

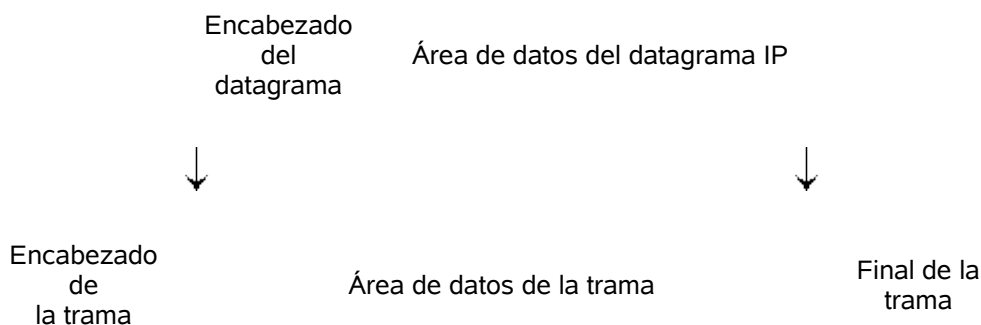
IP es el principal protocolo de la capa de red. Este protocolo define la unidad básica de transferencia de datos entre el origen y el destino, atravesando toda la red de redes. Además, el software IP es el encargado de elegir la ruta más adecuada por la que los datos serán enviados. Se trata de un sistema de entrega de paquetes (llamados *datagramas IP*) que tiene las siguientes características:

- Es no orientado a conexión debido a que cada uno de los paquetes puede seguir rutas distintas entre el origen y el destino. Entonces pueden llegar duplicados o desordenados.
- Es no fiable porque los paquetes pueden perderse, dañarse o llegar retrasados.

Nota: El protocolo IP está definido en la RFC 791 ([en inglés](#), [en español](#)).

2.5 Formato del datagrama IP

El datagrama IP es la unidad básica de transferencia de datos entre el origen y el destino. Viaja en el campo de datos de las tramas físicas (recuérdese la [trama Ethernet](#)) de las distintas redes que va atravesando. Cada vez que un datagrama tiene que atravesar un router, el datagrama *saldrá* de la trama física de la red que abandona y se *acomodará* en el campo de datos de una trama física de la siguiente red. Este mecanismo permite que un mismo datagrama IP pueda atravesar redes distintas: enlaces punto a punto, redes ATM, redes Ethernet, redes Token Ring, etc. El propio datagrama IP tiene también un campo de datos: será aquí donde viajen los paquetes de las capas superiores.



0	10										20										30										
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1
VERS				HLEN				Tipo de servicio								Longitud total															
Identificación												Bandrs				Desplazaiento de fragmento															
TTL								Protocolo								CRC cabecera															
Dirección IP origen																															
Dirección IP destino																															
Opciones IP (si las hay)																								Relleno							
Datos																															
...																															

Campos del datagrama IP:

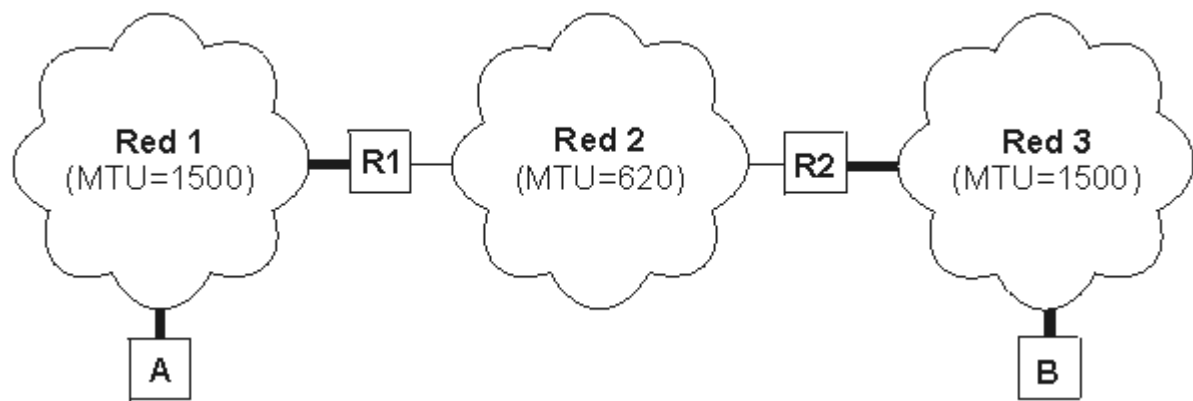
- **VERS** (4 bits). Indica la versión del protocolo IP que se utilizó para crear el datagrama. Actualmente se utiliza la versión 4 (IPv4) aunque ya se están preparando las especificaciones de la siguiente versión, la 6 (IPv6).
- **HLEN** (4 bits). Longitud de la cabecera expresada en múltiplos de 32 bits. El valor mínimo es 5, correspondiente a 160 bits = 20 bytes.
- **Tipo de servicio** (*Type Of Service*). Los 8 bits de este campo se dividen a su vez en:
 - **Prioridad** (3 bits). Un valor de 0 indica baja prioridad y un valor de 7, prioridad máxima.

- Los siguientes tres bits indican cómo se prefiere que se transmita el mensaje, es decir, son sugerencias a los encaminadores que se encuentren a su paso los cuales pueden tenerlas en cuenta o no.
- **Bit D** (*Delay*). Solicita retardos cortos (enviar rápido).
- **Bit T** (*Throughput*). Solicita un alto rendimiento (enviar mucho en el menor tiempo posible).
- **Bit R** (*Reliability*). Solicita que se minimice la probabilidad de que el datagrama se pierda o resulte dañado (enviar bien).
- Los siguientes dos bits no tienen uso.
- **Longitud total** (16 bits). Indica la longitud total del datagrama expresada en bytes. Como el campo tiene 16 bits, la máxima longitud posible de un datagrama será de 65535 bytes.
- **Identificación** (16 bits). Número de secuencia que junto a la dirección origen, dirección destino y el protocolo utilizado identifica de manera única un datagrama en toda la red. Si se trata de un datagrama fragmentado, llevará la misma identificación que el resto de fragmentos.
- **Banderas** o indicadores (3 bits). Sólo 2 bits de los 3 bits disponibles están actualmente utilizados. El bit de *Más fragmentos* (**MF**) indica que no es el último datagrama. Y el bit de *No fragmentar* (**NF**) prohíbe la fragmentación del datagrama. Si este bit está activado y en una determinada red se requiere fragmentar el datagrama, éste no se podrá transmitir y se descartará.
- **Desplazamiento de fragmentación** (13 bits). Indica el lugar en el cual se insertará el fragmento actual dentro del datagrama completo, medido en unidades de 64 bits. Por esta razón los campos de datos de todos los fragmentos menos el último tienen una longitud múltiplo de 64 bits. Si el paquete no está fragmentado, este campo tiene el valor de cero.
- **Tiempo de vida** o TTL (8 bits). Número máximo de segundos que puede estar un datagrama en la red de redes. Cada vez que el datagrama atraviesa un router se resta 1 a este número. Cuando llegue a cero, el datagrama se descarta y se devuelve un mensaje ICMP de tipo "tiempo excedido" para informar al origen de la incidencia.
- **Protocolo** (8 bits). Indica el protocolo utilizado en el campo de datos: 1 para ICMP, 2 para IGMP, 6 para TCP y 17 para UDP.
- **CRC cabecera** (16 bits). Contiene la suma de comprobación de errores sólo para la cabecera del datagrama. La verificación de errores de los datos corresponde a las capas superiores.
- **Dirección origen** (32 bits). Contiene la dirección IP del origen.
- **Dirección destino** (32 bits). Contiene la dirección IP del destino.
- **Opciones IP**. Este campo no es obligatorio y especifica las distintas opciones solicitadas por el usuario que envía los datos (generalmente para pruebas de red y depuración).
- **Relleno**. Si las opciones IP (en caso de existir) no ocupan un múltiplo de 32 bits, se completa con bits adicionales hasta alcanzar el siguiente múltiplo de 32 bits (recuérdese que la longitud de la cabecera tiene que ser múltiplo de 32 bits).

Fragmentación

Ya hemos visto que las tramas físicas tienen un campo de datos y que es aquí donde se transportan los datagramas IP. Sin embargo, este campo de datos no puede tener una longitud indefinida debido a que está limitado por el diseño de la red. El MTU de una red es la mayor cantidad de datos que puede transportar su trama física. El MTU de las redes Ethernet es 1500 bytes y el de las redes Token-Ring, 8192 bytes. Esto significa que una red Ethernet nunca podrá transportar un datagrama de más de 1500 bytes sin fragmentarlo.

Un encaminador (*router*) fragmenta un datagrama en varios si el siguiente tramo de la red por el que tiene que viajar el datagrama tiene un MTU inferior a la longitud del datagrama. Veamos con el siguiente ejemplo cómo se produce la fragmentación de un datagrama.



Supongamos que el host A envía un datagrama de 1400 bytes de datos (1420 bytes en total) al host B. El datagrama no tiene ningún problema en atravesar la red 1 ya que $1420 < 1500$. Sin embargo, no es capaz de atravesar la red 2 ($1420 \geq 620$). El router R1 fragmenta el datagrama en el menor número de fragmentos posibles que sean capaces de atravesar la red 2. Cada uno de estos fragmentos es un nuevo datagrama con la misma *Identificación* pero distinta información en el campo de *Desplazamiento de fragmentación* y el bit de *Más fragmentos (MF)*. Veamos el resultado de la fragmentación:

Fragmento 1: Long. total = 620 bytes; Desp = 0; MF=1 (contiene los primeros 600 bytes de los datos del datagrama original)

Fragmento 2: Long. total = 620 bytes; Desp = 600; MF=1 (contiene los siguientes 600 bytes de los datos del datagrama original)

Fragmento 3: Long. total = 220 bytes; Desp = 1200; MF=0 (contiene los últimos 200 bytes de los datos del datagrama original)

El router R2 recibirá los 3 datagramas IP (fragmentos) y los enviará a la red 3 sin reensamblarlos. Cuando el host B reciba los fragmentos, recompondrá el datagrama original. Los encaminadores intermedios no reensamblan los fragmentos debido a que esto supondría una carga de trabajo adicional, a parte de memorias temporales. Nótese que el ordenador destino puede recibir los fragmentos cambiados de orden pero esto no supondrá ningún problema para el reensamblado del datagrama original puesto que cada fragmento guarda suficiente información.

Si el datagrama del ejemplo hubiera tenido su bit *No fragmentar (NF)* a 1, no hubiera conseguido atravesar el router R1 y, por tanto, no tendría forma de llegar hasta el host B. El encaminador R1 descartaría el datagrama.

2.6 Protocolo ARP

Dentro de una misma red, las máquinas se comunican enviándose tramas físicas. Las [tramas Ethernet](#) contienen campos para las direcciones físicas de origen y destino (6 bytes cada una):

8 bytes	6 bytes	6 bytes	2 bytes	64-1500 bytes	4 bytes
Preámbulo	Dirección física destino	Dirección física origen	Tipo de trama	Datos de la trama	CRC

El problema que se nos plantea es cómo podemos conocer la dirección física de la máquina destino. El único dato que se indica en los datagramas es la dirección IP de destino. ¿Cómo se pueden entregar entonces estos datagramas? Necesitamos obtener la dirección física de un ordenador a partir de su dirección IP. Esta es justamente la misión del protocolo ARP (*Address Resolution Protocol*, protocolo de resolución de direcciones).

Nota: El protocolo ARP está definido en la RFC 826 ([en inglés](#))

Host	Dirección física	Dirección IP	Red
A	00-60-52-0B-B7-7D	192.168.0.10	Red 1
	00-E0-4C-AB-9A-FF	192.168.0.1	Red 2
R1	A3-BB-05-17-29-D0	10.10.0.1	Red 3
B	00-E0-4C-33-79-AF	10.10.0.7	
	B2-42-52-12-37-BE	10.10.0.2	
R2	00-E0-89-AB-12-92	200.3.107.1	
	A3-BB-08-10-DA-DB	200.3.107.73	
D	B2-AB-31-07-12-93	200.3.107.200	

Vamos a retomar el ejemplo introductorio de este Capítulo. El host A envía un datagrama con origen 192.168.0.10 y destino 10.10.0.7 (B). Como el host B se encuentra en una red distinta al host A, el datagrama tiene que atravesar el router 192.168.0.1 (R1). Se necesita conocer la dirección física de R1.

Es entonces cuando entra en funcionamiento el protocolo ARP: A envía un mensaje ARP a todas las máquinas de su red preguntando "¿Cuál es la dirección física de la máquina con dirección IP 192.168.0.1?". La máquina con dirección 192.168.0.1 (R1) advierte que la pregunta está dirigida a ella y responde a A con su dirección física (00-E0-4C-AB-9A-FF). Entonces A envía una trama física con origen 00-60-52-0B-B7-7D y destino 00-E0-4C-AB-9A-FF conteniendo el datagrama (origen 192.168.0.10 y destino 10.10.0.7). Al otro lado del router R2 se repite de nuevo el proceso para conocer la dirección física de B y entregar finalmente el datagrama a B. El mismo datagrama ha viajado en dos tramas físicas distintas, una para la red 1 y otra para la red 2.

Observemos que las preguntas ARP son de difusión (se envían a todas las máquinas). Estas preguntas llevan además la dirección IP y dirección física de la máquina que pregunta. La respuesta se envía directamente a la máquina que formuló la pregunta.

Tabla ARP (caché ARP)

Cada ordenador almacena una tabla de direcciones IP y direcciones físicas. Cada vez que formula una pregunta ARP y le responden, inserta una nueva entrada en su tabla. La primera vez que C envíe un mensaje a D tendrá que difundir previamente una pregunta ARP, tal como hemos visto. Sin embargo, las siguientes veces que C envíe mensajes a D ya no será necesario realizar nuevas preguntas puesto que C habrá almacenado en su tabla la dirección física de D. Sin embargo, para evitar incongruencias en la red debido a posibles cambios de direcciones IP o adaptadores de red, se asigna un tiempo de vida de cierto número de segundos a cada entrada de la tabla. Cuando se agote el tiempo de vida de una entrada, ésta será eliminada de la tabla.

Las tablas ARP reducen el tráfico de la red al evitar preguntas ARP innecesarias. Pensemos ahora en distintas maneras para mejorar el rendimiento de la red. Después de una pregunta ARP, el destino conoce las direcciones IP y física del origen. Por lo tanto, podría insertar la correspondiente entrada en su tabla.

Pero no sólo eso, sino que todas las estaciones de la red escuchan la pregunta ARP: podrían insertar también las correspondientes entradas en sus tablas. Como es muy probable que otras máquinas se comuniquen en un futuro con la primera, habremos reducido así el tráfico de la red aumentando su rendimiento.

Esto que hemos explicado es para comunicar dos máquinas conectadas a la misma red. Si la otra máquina no estuviese conectada a la misma red, sería necesario atravesar uno o más routers hasta llegar al host destino. La máquina origen, si no la tiene en su tabla, formularía una pregunta ARP solicitando la dirección física del router y le transferiría a éste el mensaje. Estos pasos se van repitiendo para cada red hasta llegar a la máquina destino.