



Redes de Computadores

I.T. Informática de Sistemas / I.T. Informática de Gestión

Universidad Complutense de Madrid

TEMA 5.

La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rubén Santiago

Despacho: 332

Tutorías: MXV 10 - 12

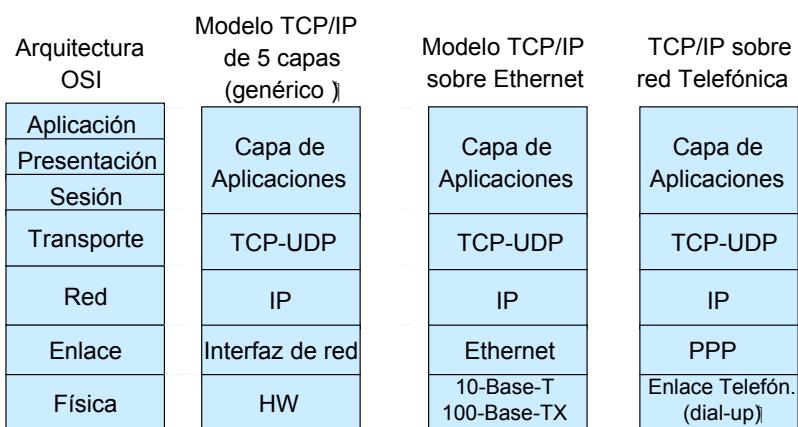


*Trasparencias y material elaborado por el Profesor
Rafael Moreno Vozmediano*

Arquitectura TCP/IP

2

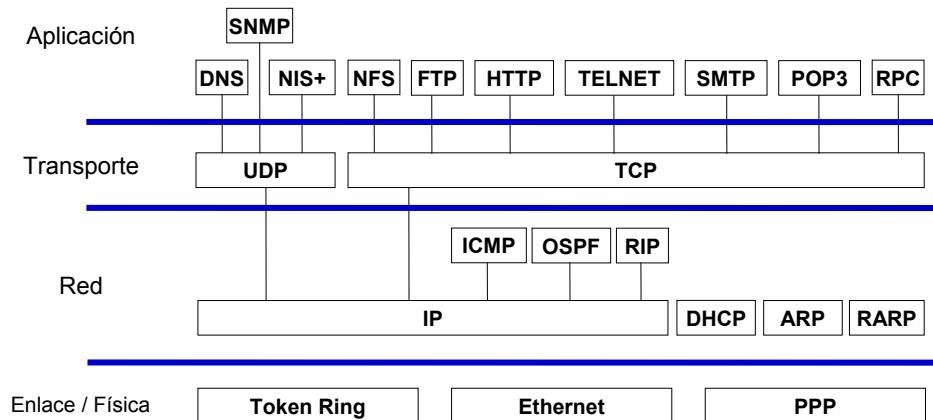
■ Repaso de arquitecturas de redes: OSI vs. TCP/IP



Arquitectura TCP/IP

3

■ Repaso de protocolos de la arquitectura TCP/IP



Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento. Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

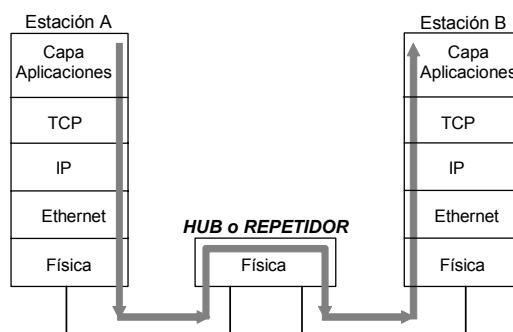
Principales dispositivos de red

4

■ Repaso de dispositivos de red (1)

■ Repetidores y Hubs

- Son dispositivos que trabajan a nivel de la capa física
 - Retransmiten bit a bit la información que les llega por una entrada al resto de salidas
 - Pueden interconectar estaciones o segmentos de red del mismo tipo (por ejemplo, Ethernet) y velocidad



Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento. Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

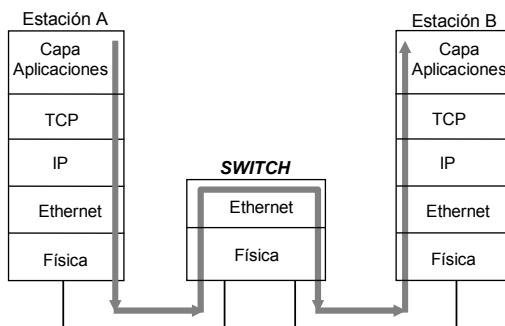
Principales dispositivos de red

5

■ Repaso de dispositivos de red (2)

■ Switches

- Son dispositivos que trabajan a nivel de la capa MAC
 - Reenvía la trama por la salida adecuada en función de la dir. MAC destino
 - Pueden almacenar la trama completa y realizar detección de errores
 - Pueden interconectar estaciones y redes del mismo tipo, aunque pueden trabajar con implementaciones de distinta velocidad (por ejemplo, 100Base-TX y 1000Base-T)



Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento. Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

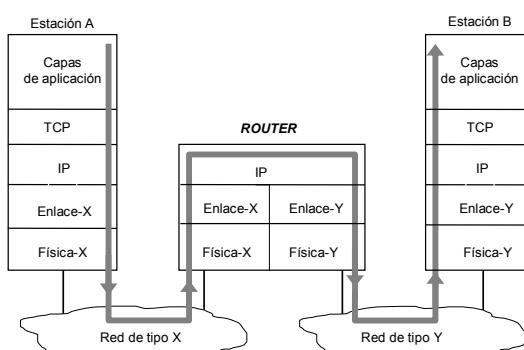
Principales dispositivos de red

6

■ Repaso de dispositivos de red (2)

■ Routers o encaminadores

- Son dispositivos que trabajan a nivel de la capa de red (IP)
 - Pueden interconectar redes de distinto tipo
 - Realizan dos funciones básicas:
 - Conversión de formatos
 - Encaminamiento



Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento. Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Funciones principales de IP

7

■ Protocolo de red de Internet

- Proporciona un servicio básico de entrega de paquetes
 - Sobre el que se construyen las redes TCP/IP.
- Protocolo **no orientado a conexión (no fiable)**
 - No realiza detección ni recuperación de paquetes perdidos o erróneos
 - No garantiza que los paquetes lleguen en orden
 - No garantiza la detección de paquetes duplicados

■ Funciones básicas del protocolo IP

- Direccionamiento
 - Esquema global de direccionamiento
- Fragmentación y reensamblaje de paquetes
 - División del paquetes en fragmentos de un tamaño aceptable por la red
- Encaminamiento de datagramas
 - Encaminado de paquetes atendiendo a información de tabla de rutas
 - La construcción de tablas de rutas puede ser
 - Manual (routing estático)
 - Mediante algún protocolo de routing dinámico: RIP, OSPF, BGP, etc.

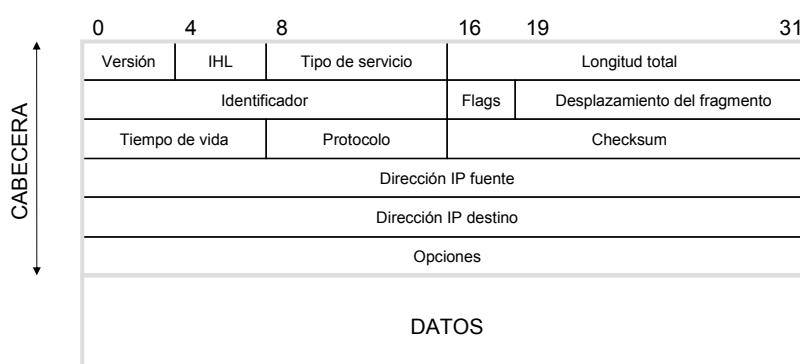
Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Formato de datagramas

8

■ Formato del paquete IP (datagrama)



Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Formato de datagramas

9

■ Campos de la cabecera IP (i)

- Versión
 - Valor=4 (IPv4)
- IHL
 - Longitud de la cabecera, en palabras de 32 bits.
 - Campo IHL ocupa 4 bits
 - Tamaño máximo de la cabecera = 15 palabras (60 bytes)
- Tipo de servicio

0	1	2	3	4	5	6	7
Prioridad		Calidad de servicio (QoS)			Reserv.		

- Prioridad
 - Especifica la prioridad del datagrama (hasta 8 niveles).
 - Un paquete de alta prioridad debe ser reexpedido por un router antes que un paquete de baja prioridad (aunque este llegase antes)
- QoS: Puede tomar los siguientes valores
 - 1000 → Minimizar retardo
 - 0100 → Maximizar rendimiento (velocidad de transmisión)
 - 0010 → Maximizar fiabilidad (seguridad en la entrega)
 - 0001 → Minimizar coste monetario
 - 0000 → Servicio normal

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento. Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Formato de datagramas

10

■ Campos de la cabecera IP (ii)

- Longitud total
 - Longitud del datagrama (cabecera + datos) medida en bytes.
 - Campo Longitud Total ocupa 16 bits
 - Longitud máxima del datagrama: 2^{16} bytes = 64 Kbytes
- Identificador
 - Número de 16 bits que identifica al datagrama
- Flags
 - MF (More Fragments): si está a 1 indica que no es el último fragmento
 - DF (Don't Fragment): si es 1 prohíbe la fragmentación
- Desplazamiento del fragmento
 - N° secuencia del fragmento (unidades = 8 bytes)
- Tiempo de vida (TTL, *Time To Live*)
 - N° encaminadores que puede atravesar el paquete
 - Cuando TTL=0 el paquete debe ser descartado

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento. Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Formato de datagramas

11

■ Campos de la cabecera IP (iii)

- Protocolo
 - Protocolo de la capa superior al que deben entregarse los datos
 - Ejemplos
 - 1: Internet Control Message Protocol (ICMP)
 - 2: Internet Group Management Protocol (IGMP)
 - 6: Transmission Control Protocol (TCP)
 - 8: Exterior Gateway Protocol (EGP)
 - 17: User Datagram Protocol (UDP)
 - 41: IP Version 6 (IPv6)
 - 89: Open Shortest Path First (OSPF)
- Checksum
 - Suma de control de la cabecera
- Direcciones IP origen y destino
 - Identifican al host emisor y receptor del paquete
- Opciones
 - Campo opcional, con opciones especiales
 - Ejemplos: encaminamiento de origen, sello de ruta, sello de tiempo, etc.
 - Tamaño máximo del campo opciones: 10 palabras

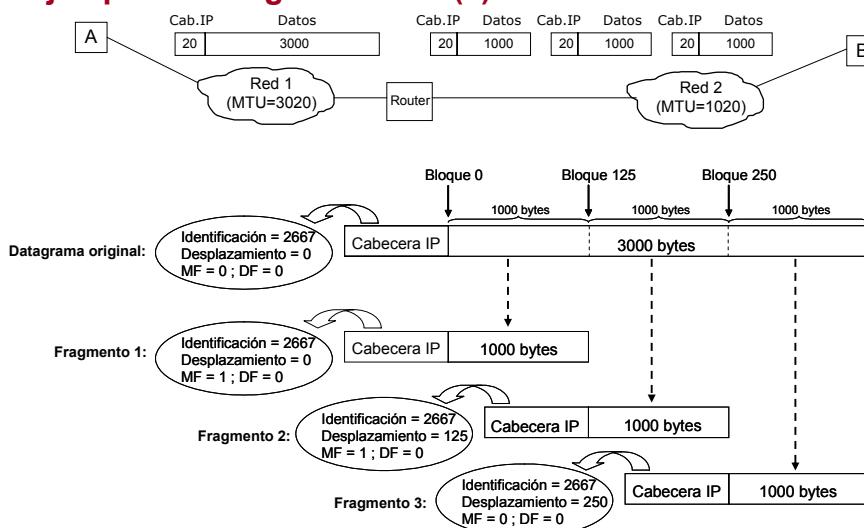
Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Fragmentación

12

■ Ejemplos de fragmentación (1)



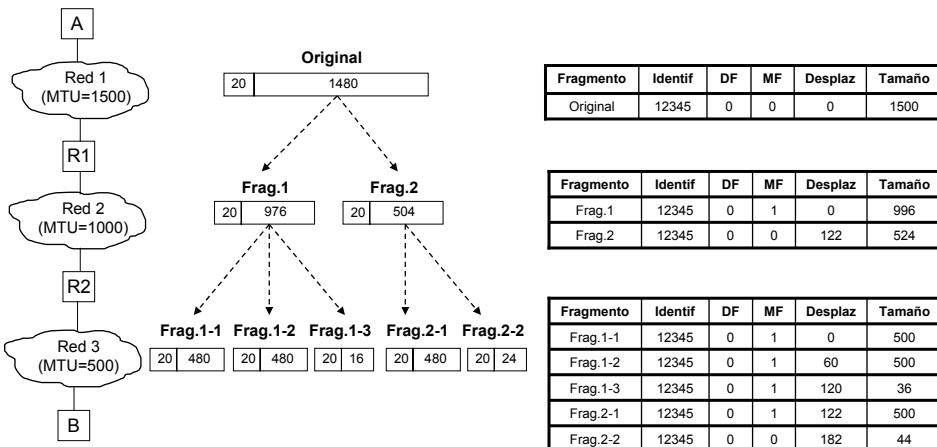
Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Fragmentación

13

■ Ejemplos de fragmentación (2)



Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento. Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Opciones del paquete IP

14

■ Posibles contenidos del campo opciones (1)

■ Encaminamiento estricto de origen (Strict Source Routing)

- Proporciona un medio para que el emisor del paquete pueda especificar la ruta explícita que debe seguir el datagrama
- Contiene la siguiente información:

Código	Longitud	Puntero	Información de ruta (lista de direcciones IP)
--------	----------	---------	---

- Código = 10001001 → Código de la opción “encaminamiento estricto de origen”
- Longitud → Longitud total del campo opciones
- Puntero → Contiene un puntero a la siguiente dirección IP de la lista de direcciones de la ruta que debe ser procesada por el router. El puntero indica el nº de byte, por tanto en cada salto debe incrementarse en 4 posiciones.
- Información de ruta: contiene una lista de tamaño variable de direcciones IP (de 32 bits cada una)

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento. Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Opciones del paquete IP

15

■ Posibles contenidos del campo opciones (2)

■ Registro de ruta (Record Route)

- Proporciona un medio para registrar la ruta exacta que ha seguido el datagrama en el camino hacia su destino (direcciones de los routers por los que ha pasado el datagrama)
- Contiene la siguiente información:

Código	Longitud	Puntero	Información de ruta (lista de direcciones IP)
--------	----------	---------	---

- Código = 00000111 → Código de la opción “Registro de ruta”
- Longitud → Longitud total del campo opciones (se va incrementando en cada salto)
- Puntero → Contiene un puntero a la última dirección IP insertada en la información de ruta. El puntero indica el nº de byte, por tanto en cada salto debe incrementarse en 4 posiciones.
- Información de ruta: contiene una lista de las direcciones IP de los routers que atraviesa el paquete. Inicialmente esta lista está vacía

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Opciones del paquete IP

16

■ Posibles contenidos del campo opciones (3)

■ Sello de tiempo de Internet (Internet Timestamp)

- Proporciona un medio para registrar los instantes temporales en los que el paquete ha pasado por cada router y, adicionalmente, las direcciones de estos routers.
- Contiene la siguiente información:

Código	Longitud	Puntero	Overflow	Flag
Dirección IP 1				
Sello de tiempo 1				
Dirección IP 2				
Sello de tiempo 2				
.....				

- Código = 01000100 → Código de la opción “Sello de tiempo”
- Longitud → Longitud total del campo opciones (se va incrementando en cada salto)
- Puntero → Contiene un puntero al último sello de tiempo insertado en el paquete.
- Overflow → Nº de routers que no pudieron registrar sello de tiempo por estar campo opciones lleno
- Flag: 0 → Registrar únicamente el sello de tiempo
 - 1 → Registrar el sello de tiempo precedido de la dirección IP
 - 2 → Direcciones IP de la ruta prefijadas. El router sólo debe registrar el sello de tiempo
- Dirección IP → una dirección de 32 correspondiente a un router
- Sello de tiempo → Información de la hora GMT, con precisión de milisegundos

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Direcciones IP y máscaras de red

17

■ Direcciones IPv4

- Las direcciones IP constan de 4 bytes (32 bits)
- Para expresarlas se utiliza la “notación de punto”
 - Ejemplo: 128.2.7.9 = 10000000 . 00000010 . 00000111 . 00001001

■ Tipos de direcciones IPv4

- Unicast
 - Un único host
- Multicast
 - Un grupo de hosts
- Broadcast
 - Todos los hosts dentro de mi red local

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Direcciones IP y máscaras de red

18

■ Administración y registro de direcciones

- Entidades regionales de registro de Internet
 - La parte que identifica a la red es fija para cada red y es necesario solicitarla a una de las entidades regionales de registro de Internet (RIR, Regional Internet Registries):
 - **ARIN (American Registry for Internet Numbers)**: es responsable de administrar y registrar las direcciones IP en NorteAmérica
 - **RIPE (Reseaux IP Europeens)**: es responsable de administrar y registrar las direcciones IP en Europa y Oriente Medio
 - **APNIC (Asia Pacific Network Information Center)**: es responsable de administrar y registrar las direcciones IP en la región de Asia-Pacífico
 - **LACNIC (Latin American and Caribbean Network Information Center)**: es responsable de administrar y registrar las direcciones IP en Sudamérica y países caribeños
 - **AfriNIC (African Network Information Center)**: De reciente creación, es responsable de administrar y registrar las direcciones IP en Africa

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Direcciones IP y máscaras de red

19

■ Direcciones IPv4 basadas en clases (classfull)

Clase	bits red	bits host	Redes	Hosts	Ejemplo
Clase A	7 bits	24 bits	$2^7 = 128$ redes	$2^{24} = 16.777.216$ hosts	Ejemplo: 26.56.120.9
Clase B	14 bits	16 bits	$2^{14} = 16.384$ redes	$2^{16} = 65.536$ hosts	Ejemplo: 147.96.50.110
Clase C	21 bits	8 bits	$2^{21} = 2.097.152$ redes	$2^8 = 256$ hosts	Ejemplo: 217.6.95.44
Clase D	28 bits				Ejemplo: 224.0.0.1
Clase E	28 bits				

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Direcciones IP y máscaras de red

20

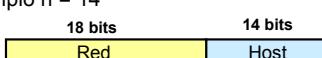
■ Direcciones IPv4 sin clases (classless)

- Problema de las direcciones con clases
 - Supongamos que una empresa/institución necesita aprox. 15.000 direcciones IP
 - Con el direccionamiento con clase se ve obligada a contratar una clase B completa (65.536 direcciones)
 - El coste es muy elevado (se contratan más direcciones de las necesarias)
 - Se desaprovechan las mayoría de las direcciones contratadas (más de 50.000 direcciones desaprovechadas)
 - Usando direcciones sin clases
 - Es posible contratar un conjunto de direcciones que se ajuste más a sus necesidades (siempre en potencias de 2)
 - En este caso, se pueden contratar $2^{14} = 16.384$ direcciones

■ Formato de las direcciones sin clase

- Los campos que identifican a la red y al host no están limitados a un número entero de bytes
 - (32 - n) bits Red n bits Host

- En nuestro ejemplo n = 14



Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

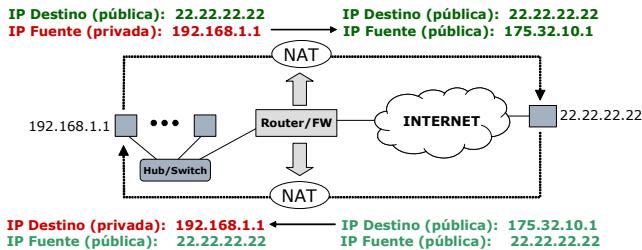
Direcciones IP y máscaras de red

21

■ Direcciones IP especiales (1)

■ Direcciones reservadas para redes privadas

- Existen un conjunto de direcciones reservadas para uso privado.
 - No se puede salir a Internet con una dirección IP privada
 - Se pueden asignar a redes aisladas de Internet
 - Se pueden asignar redes conectadas a través de un router que hace traducción de direcciones de red (NAT)



- Los rangos de direcciones IP privadas son los siguientes:

- 10.0.0.0 – 10.255.255.255 → equivale a 1 red privada de clase A
- 172.16.0.0 – 172.31.255.255 → equivale a 16 redes privadas de clase B
- 192.168.0.0 – 192.168.255.255 → equivale a 256 redes privadas de clase C

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento. Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Direcciones IP y máscaras de red

22

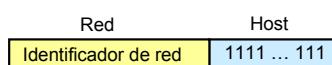
■ Direcciones IP especiales (2)

■ Direcciones de loopback (127.x.y.z)

- Direcciones de bucle interno (loopback)
- Casi todas las máquinas tienen como dirección de loopback la 127.0.0.1

■ Direcciones broadcast (terminadas en 11...111)

- Se utilizan para enviar un paquete a todas las máquinas de la red local
- Formato de las direcciones broadcast
 - Todos los bits de identificador de host se ponen a valor 1
 - Último valor del rango de direcciones de la red



Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento. Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Direcciones IP y máscaras de red

23

■ Direcciones IP especiales (3)

■ Ejemplos de direcciones broadcast

- Red de clase A:

Red (8)	Host (24)
00011011	1111111.1111111.11111111

 = 27.255.255.255
- Red de clase B:

Red (16)	Host (16)
10001110.01011000	1111111.11111111

 = 142.88.255.255
- Red de clase C:

Red (24)	Host (8)
11000111.01000011	11101111.11111111

 = 199.67.239.255
- Red sin clase (n=14):

Red (18)	Host (14)
01011010.00100000.10	111111.11111111

 = 90.32.191.255
- Red sin clase (n=5):

Red (27)	Host (5)
10001111.00011010.00000111.011	11111

 = 143.26.7.127
- Dir. broadcast universal: 255.255.255.255

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento. Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Direcciones IP y máscaras de red

24

■ Direcciones IP especiales (4)

■ Direcciones de red (terminadas en 00...000)

- Se utilizan para representar a una red completa en las tablas de encaminamiento
 - Nunca se utilizan como dirección destino ni se asignan a un host concreto
 - Ejemplo de tabla de rutas en Linux (orden `netstat -nr`)

Kernel IP routing table					
Destination	Gateway	Genmask	Flags	Iface	
192.168.1.0	0.0.0.0	255.255.255.0	U	eth0	
192.168.2.0	0.0.0.0	255.255.255.0	U	eth1	
0.0.0.0	192.168.1.1	255.255.255.0	UG	eth0	

- Formato de las direcciones de red
 - Todos los bits de identificador de host se ponen a valor 0
 - Primer valor del rango de direcciones de la red

Red	Host
Identificador de red	000 ... 000

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento. Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Direcciones IP y máscaras de red

25

■ Direcciones IP especiales (5)

■ Ejemplos de direcciones de red

	Red (8)	Host (24)	
- Red de clase A:	00011011 .00000000.00000000.00000000		= 27.0.0.0
- Red de clase B:	10001110.01011000 .00000000.00000000		= 142.88.0.0
- Red de clase C:	11000111.01000111.11101111 .00000000		= 199.67.239.0
- Red sin clase (n=14):	01011010.00100000.10 000000.00000000		= 90.32.128.0
- Red sin clase (n=5):	10001111.00011010.00000111.011 00000		= 143.26.7.96

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento. Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Direcciones IP y máscaras de red

26

■ Máscaras de red (1)

■ La máscara de red indica:

- Qué parte de la dirección IP identifican a la red
 - Bits de la máscara a 1
- Qué parte de la dirección IP identifican al host dentro de la red
 - Bits de la máscara a 0
- Ejemplo

- Dirección de clase C: 221.98.22.2

- Máscara: 255.255.255.0

Red Host
IP: 11011101.01100010.00010110.00000010 = 221.98.22.2
Máscara: 11111111.11111111.11111111.00000000 = 255.255.255.0

- Notación alternativa: 221.98.22.2/24

- El valor **/24** indica la longitud de la parte de red (nº de unos de la máscara)
- Esta notación se denomina **Dirección IP Extendida**
o notación **CIDR** (Classless Interdomain Routing)

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento. Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Direcciones IP y máscaras de red

27

■ Máscaras de red (2)

■ Ejemplos de máscaras

Notación CIDR
(Dir. IP extendida)

Red (8)	Host (24)		
Dir. de clase A = 00011011.00000111.10000010.00000011	= 27.7.130.3	= 27.7.130.3/8	
Máscara = 11111111.00000000.00000000.00000000	= 255.0.0.0		
Red (16)	Host (16)		
Dir. de clase B = 10001110.01011000.00001100.00000100	= 142.88.12.4	= 142.88.12.4/16	
Máscara = 11111111.11111111.00000000.00000000	= 255.255.0.0		
Red (24)	Host (8)		
Dir. de clase C = 11000111.01000011.11101111.00000110	= 199.67.239.6	= 199.67.239.6/24	
Máscara = 11111111.11111111.11111111.00000000	= 255.255.255.0		
Red (18)	Host (14)		
Dir. sin clase = 01011010.00100000.10000011.00000101	= 90.32.131.5	= 90.32.121.5/18	
Máscara = 11111111.11111111.11000000.00000000	= 255.255.192.0		
Red (27)	Host (5)		
Dir. sin clase = 10001111.00011010.00000111.01100011	= 143.26.7.99	= 143.26.7.99/27	
Máscara = 11111111.11111111.11111111.11100000	= 255.255.255.224		

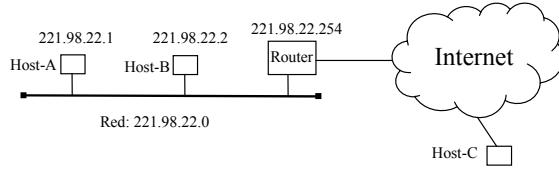
Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento. Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Direcciones IP y máscaras de red

28

■ Máscaras de red y tablas de encaminamiento (1)

■ Ejemplo



- Enviar paquete Host-A → Host-B
 - Host-A envía paquete directamente a través de su red local
- Enviar paquete Host-A → Host-C
 - Host-A envía el paquete al router y este se encargará de encaminarlo hasta su destino
- Para saber como tiene que tratar el paquete, el Host-A tiene que realizar las siguientes operaciones:
 - Aplicar la máscara de red a la dirección destino
 - convierte la dirección del host destino en una dirección de red
 - Consultar la tabla de encaminamiento
 - decide a quien debe entregar el paquete (host destino o router)
- La máscara de red es en nuestro caso el siguiente valor:
 - 255.255.255.0

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento. Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Direcciones IP y máscaras de red

29

■ Máscaras de red y tablas de encaminamiento (2)

■ Ejemplo (cont)

- Aplicación de la máscara: realizar Y-lógica bit a bit entre la dirección destino y la máscara:

Dirección del Host-B

221.98.22.2	= 11011101 . 01100010 . 00010110 . 00000010
255.255.255.0	= 11111111 . 11111111 . 11111111 . 00000000
221.98.22.0	= 11011101 . 01100010 . 00010110 . 00000000

Dirección del Host-C

32.99.131.7	= 00100000 . 01100010 . 10000011 . 00000111
255.255.255.0	= 11111111 . 11111111 . 11111111 . 00000000
32.99.131.0	= 00100000 . 01100010 . 10000011 . 00000000

- El Host-A consulta su tabla de encaminamiento (orden **netstat -nr**)

Destination	Gateway

221.98.22.0	0.0.0.0
0.0.0.0 (default)	221.98.22.254
127.0.0.1	127.0.0.1

- Si la dirección de Gateway asociada es el propio remitente (0.0.0.0), el paquete se debe enviar directamente a través de la red local
- Si la dirección de Gateway asociada es la de un router, se usa ese router para enviar el paquete a su destino
- Si la dirección no aparece en la tabla se usa el **Default Router** para enviar el paquete a su destino

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

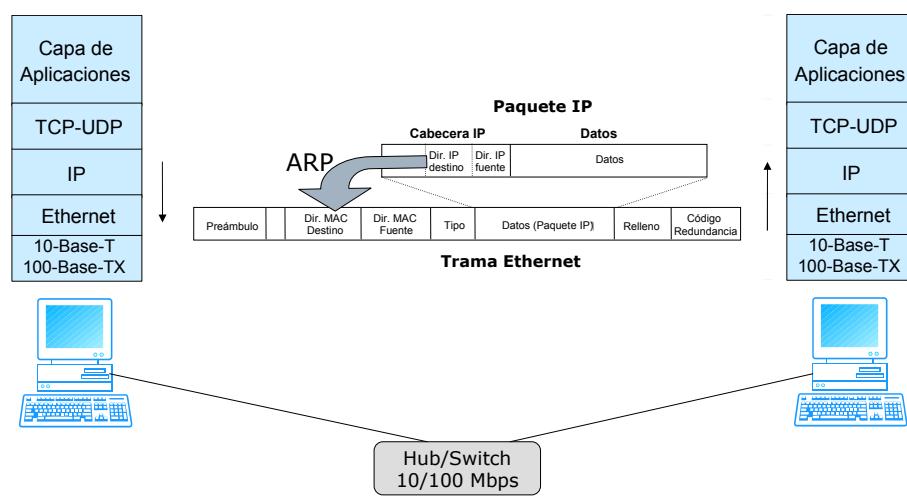
Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Protocolo de resolución de direcciones (ARP)

30

■ ARP: Address Resolution Protocol

- Traducción: Dirección IP → Dirección MAC



Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Protocolo de resolución de direcciones (ARP)

31

■ El protocolo ARP (Address Resolution Protocol)

■ La tabla ARP

- Mantiene las direcciones IP de las últimas máquinas con las que nos hemos comunicado y las direcciones Ethernet asociadas
- Ver la tabla arp: orden `arp -a`
- Ejemplo de tabla ARP

Net to Media Table					
Device	IP Address	Mask	Flags	Phys Addr	
le0	147.96.48.203	255.255.255.255		00:00:b4:c3:c8:f4	
le0	147.96.37.196	255.255.255.255		00:a0:24:57:78:3e	
le0	147.96.48.217	255.255.255.255		00:20:18:2f:1d:60	

■ Funcionamiento de ARP

- Si Host A quiere enviar un paquete a Host B
 - Host A consulta su tabla ARP para ver si la dirección MAC de Host B está contenida en dicha tabla
 - Si la dirección MAC de Host B no está en la tabla entonces envía un mensaje **broadcast** preguntando por la dirección MAC de Host B → **ARP Request**
 - Host B responde a Host A informándole de su dirección IP → **ARP Response**

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

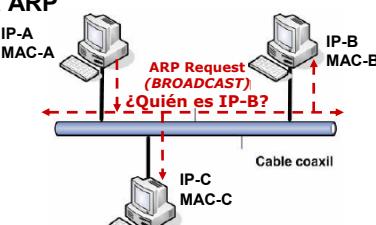
Protocolo de resolución de direcciones (ARP)

32

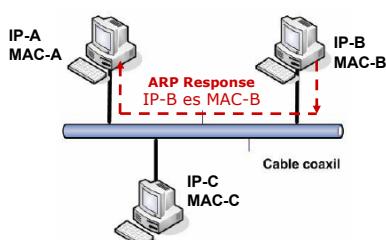
■ Esquema de Funcionamiento de ARP

■ Host A quiere enviar paquete a Host B

■ Pregunta ARP



■ Respuesta ARP



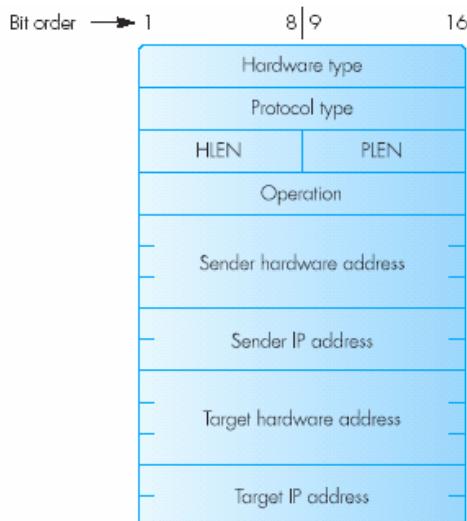
Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Protocolo de resolución de direcciones (ARP)

33

■ Formato de paquetes ARP



HLEN = Hardware address length
PLEN = IP address length
Operation = 1 ARP request
= 2 ARP response
= 3 RARP request
= 4 RARP response

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Protocolo de resolución de direcciones (ARP)

34

■ Ejemplos de paquetes ARP (1)

■ Pregunta ARP

```
ETHER: ----- Ether Header -----  
ETHER:  
ETHER: Destination = ff:ff:ff:ff:ff:ff, (broadcast)  
ETHER: Source      = 8:0:20:88:c9:ee, Sun  
ETHER: Ethertype = 0806 (ARP)  
ETHER:  
ARP: ----- ARP/RARP Frame -----  
ARP:  
ARP: Hardware type = 1  
ARP: Protocol type = 0800 (IP)  
ARP: Length of hardware address = 6 bytes  
ARP: Length of protocol address = 4 bytes  
ARP: Opcode 1 (ARP Request)  
ARP: Sender's hardware address = 8:0:20:88:c9:ee  
ARP: Sender's protocol address = 147.96.21.31  
ARP: Target hardware address = ?  
ARP: Target protocol address = 147.96.21.120
```

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Protocolo de resolución de direcciones (ARP)

35

■ Ejemplos de paquetes ARP (2)

■ Respuesta ARP

```
ETHER: ----- Ether Header -----
ETHER:
ETHER: Destination = 8:0:20:88:c9:ee, Sun
ETHER: Source      = 0:3:ba:d:e7:e,
ETHER: Ethertype = 0806 (ARP)
ETHER:
ARP: ----- ARP/RARP Frame -----
ARP:
ARP: Hardware type = 1
ARP: Protocol type = 0800 (IP)
ARP: Length of hardware address = 6 bytes
ARP: Length of protocol address = 4 bytes
ARP: Opcode 2 (ARP Reply)
ARP: Sender's hardware address = 0:3:ba:d:e7:e
ARP: Sender's protocol address = 147.96.21.120
ARP: Target hardware address = 8:0:20:88:c9:ee
ARP: Target protocol address = 147.96.21.31
```

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

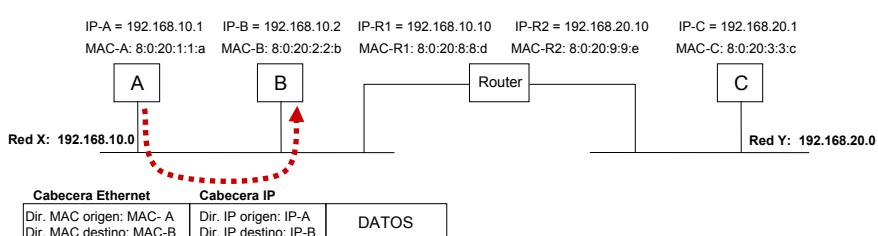
Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Protocolo de resolución de direcciones (ARP)

36

■ Procedimiento completo de comunicación (1)

■ Comunicación entre dos máquinas de la misma red (A→B)



■ La estación A aplica el siguiente procedimiento:

- Aplica la máscara de red a la dirección IP destino (IP-B)
- Consulta la tabla de encaminamiento → la máquina destino está en la misma red (Red X)
- Utiliza el protocolo ARP para averiguar la MAC asociada a IP-B (MAC-B)
- Envía el paquete IP a la estación B, a través de la Red X, dentro de una trama Ethernet, con las siguientes direcciones:

Cabecera IP

Dir. IP origen: IP-A
Dir. IP destino: IP-B

Cabecera Ethernet

Dir. física origen: MAC- A
Dir. física destino: MAC-B

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

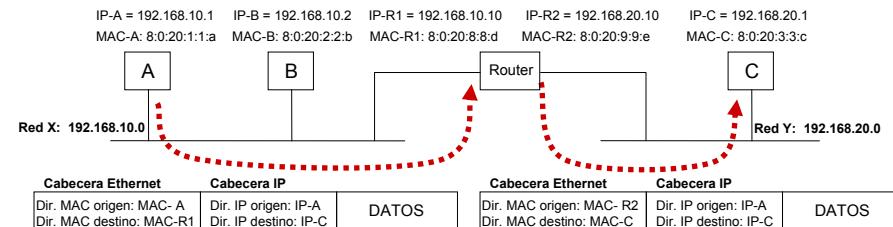
Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Protocolo de resolución de direcciones (ARP)

37

■ Procedimiento completo de comunicación (2)

- Comunicación entre dos máquinas de distinta red (A→C)



Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento. Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Protocolo de resolución de direcciones (ARP)

38

■ Procedimiento completo de comunicación (3)

- Comunicación entre dos máquinas de distinta red (A→C, continúa)

- La estación A aplica el siguiente procedimiento:
 - Aplica la máscara de red a la dirección IP destino (IP-C)
 - Consulta la tabla de encaminamiento → la máquina destino está en una red diferente (Red Y)
 - Utiliza el protocolo ARP para averiguar la MAC asociada al default router (MAC-R1)
 - Envía el paquete IP al router, a través de la Red X, dentro de una trama Ethernet, con las siguientes direcciones:

Cabecera IP	Cabecera Ethernet
Dir. IP origen: IP-A	Dir. física origen: MAC- A
Dir. IP destino: IP-B	Dir. física destino: MAC-R1

- Cuando el router recibe el paquete, aplica el siguiente procedimiento:
 - El paquete no va dirigido al propio router, sino a una máquina distinta (IP-C), por tanto el router debe reexpedir el paquete hacia el destino adecuado
 - Aplica la máscara de red a la dirección IP destino (IP-C)
 - Consulta la tabla de encaminamiento → la máquina destino está en la misma red (Red Y)
 - Utiliza el protocolo ARP para averiguar la MAC asociada a IP-C (MAC-C) (MAC-C)
 - El router envía un paquete IP a través de la Red Y, encapsulado en una trama Ethernet, con las siguientes direcciones:

Cabecera IP	Cabecera Ethernet
Dir. IP origen: IP-A	Dir. física origen: MAC- A
Dir. IP destino: IP-B	Dir. física destino: MAC-R1

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento. Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Organización de redes: subredes y superredes

39

■ Subredes (1)

■ Ventajas de las subredes

- Permite aislar el tráfico entre las distintas subredes
 - Se reduce el tráfico global
- Permite limitar y proteger el acceso a las distintas subredes
 - La comunicación entre éstas se realiza mediante un router
- Permite organizar la red en áreas o departamentos
 - Se asigna a cada departamento un subconjunto de direcciones IP
 - La gestión de las direcciones IP se puede delegar en el propio área o departamento
 - Se descentraliza la tarea de asignación de direcciones
 - Se facilita la tarea del administrador de la red

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

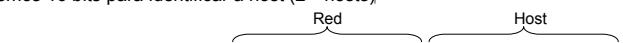
Organización de redes: subredes y superredes

40

■ Subredes (2)

■ Ejemplo 1

- Supongamos la red de la clase B: 150.23.0.0
 - Tenemos 16 bits para identificar a host (2^{16} hosts)

IP: 150. 23. 5. 7 = 
Máscara: 255.255.0.0 = 11111111.11111111.00000000.00000000

- Esta red se puede dividir, por ejemplo, en 256 subredes con 256 hosts cada una
 - Usamos 8 bits para identificar a la subred ($2^8 = 256$ subredes)
 - Usamos 8 bits para identificar a host ($2^8 = 256$ hosts)
- Nos queda la siguiente organización:
 - Subred 0: 150.23.0.0 (Dpto. de administración)
 - Subred 1: 150.23.1.0 (Dpto. de RRHH)
 -
 - Subred 255: 150.23.255.0 (Dpto. comercial)

- Por tanto la máscara de subred adecuada es la siguiente:

IP: 150. 23. 5. 7 = 
Máscara: 255.255.255.0 = 11111111.11111111.11111111.00000000

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Organización de redes: subredes y superredes

41

■ Subredes (3)

■ Ejemplo 2

- Supongamos la red de la clase C: 192.168.44.0
- Queremos dividir la red en 8 subredes
 - 3 bits para identificar la subred ($2^3 = 8$ subredes)
 - 5 bits para identificar el host ($2^5 = 32$ hosts por subred)
- Máscara de subred:

IP: 192.168.44.x = 11000000.10101000.00101100.ssshhhhh
Máscara: 255.255.255.224 = 11111111.11111111.11111111.11100000

▪ Organización resultante:

Subred	Host
192.168.44.0	
192.168.44.1 al 192.168.44.30	
192.168.44.31	
192.168.44.32	
192.168.44.33 al 192.168.44.62	
192.168.44.63	
192.168.44.64	
192.168.44.65 al 192.168.44.94	
192.168.44.95	
192.168.44.96	
192.168.44.97 al 192.168.44.126	
192.168.44.127	
192.168.44.128	
192.168.44.129 al 192.168.44.158	
192.168.44.159	
192.168.44.160	
192.168.44.161 al 192.168.44.190	
192.168.44.191	
192.168.44.192	
192.168.44.193 al 192.168.44.222	
192.168.44.223	
192.168.44.224	
192.168.44.225 al 192.168.44.254	
192.168.44.255	

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Organización de redes: subredes y superredes

42

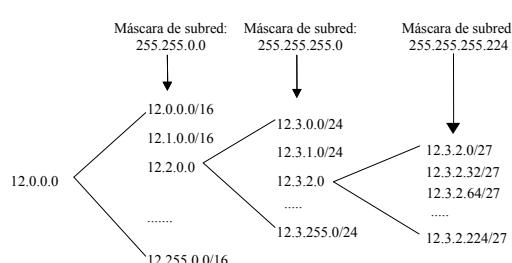
■ VLSM: Máscaras de subred de dirección variable (1)

■ Necesidad de VLSM (Variable Length Subnet Mask)

- Muchas organizaciones utilizan un sistema de organización jerárquica de direcciones de red
 - La red se divide en subredes, las cuales, a su vez se pueden dividir en varias sub-subredes
 - La longitud de la máscara de subred puede ser variable, en función de la subred en la que nos encontramos

■ Ejemplo 1

- Supongamos la red de clase A 12.0.0.0, organizada de la siguiente manera:



Dirección de subred	Máscara de subred
12.0.0.0	255.255.0.0
12.1.0.0	255.255.0.0
12.2.0.0	255.255.0.0
....
12.255.0.0	255.255.0.0
12.3.0.0	255.255.255.0
12.3.1.0	255.255.255.0
12.3.2.0	255.255.255.0
....
12.3.255.0	255.255.255.0
12.3.2.0	255.255.255.224
12.3.2.32	255.255.255.224
....
12.3.2.224	255.255.255.224

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Organización de redes: subredes y superredes

43

■ VLSM: Máscaras de subred de dirección variable (2)

■ Ejemplo 2

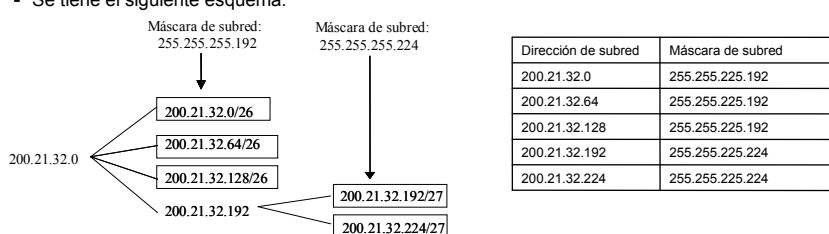
- Supongamos que una empresa con una red de clase C (200.21.32.0) quiere dividir el espacio de direcciones en cinco subredes del siguiente tamaño:

- Subred 1: 50 hosts
- Subred 2: 50 hosts
- Subred 3: 50 hosts
- Subred 4: 30 hosts
- Subred 5: 30 hosts

- Se puede adoptar la siguiente solución

- Dividir la red en 4 (2^2) subredes de 62 (2^6-2) hosts cada una
 - Máscara = 11111111 . 11111111 . 11111111 . 11000000 = **255.255.255.192**
- Subdividir una de las redes en dos subredes de 30 (2^5-2) hosts cada una
 - Máscara = 11111111 . 11111111 . 11111111 . 11000000 = **255.255.255.224**

- Se tiene el siguiente esquema:



Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Organización de redes: subredes y superredes

44

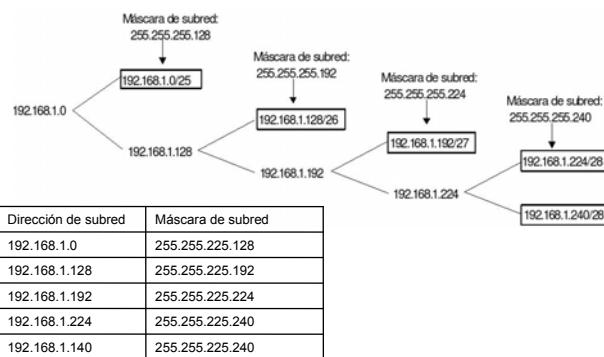
■ VLSM: Máscaras de subred de dirección variable (3)

■ Ejemplo 3

- Supongamos que una empresa con una red de clase C (200.21.32.0) quiere dividir el espacio de direcciones en cinco subredes del siguiente tamaño:

- Una subred de 126 hosts
- Una subred de 62 hosts
- Una subred de 30 hosts
- Dos subredes de 14 hosts cada una

- Se puede adoptar la siguiente solución



Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Organización de redes: subredes y superredes

45

■ Superredes (1)

- El problema del agotamiento de direcciones IP
 - Durante los años 80 y 90 la mayoría de direcciones solicitadas eran de clase B
 - Al ritmo de crecimiento de Internet (el nº de redes se duplicaba cada año) las direcciones de clase B se hubieran agotado en el año 1994
 - Para evitar este problema en 1990 se estableció una política estricta de asignación de direcciones de clase A y B
 - La mitad del espacio de direcciones de clase A (números 64 a 127) se reservan para un uso futuro, que permita la transición a un nuevo esquema de direccionamiento (IPv6)
 - El resto de direcciones de clase A están agotadas
 - Sólo en casos particulares, y estudiados de forma individual, se podría asignar una dirección de clase A reservada
 - Las direcciones de clase B sólo se asignan a organizaciones que puedan demostrar la necesidad real de este tipo de dirección. Estas organizaciones deben cumplir los siguientes requisitos mínimos:
 - Tener al menos 4096 hosts
 - Tener al menos 32 subredes distintas
 - Las organizaciones que no cumplen estos requisitos se les asigna varias direcciones de clase C consecutivas

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

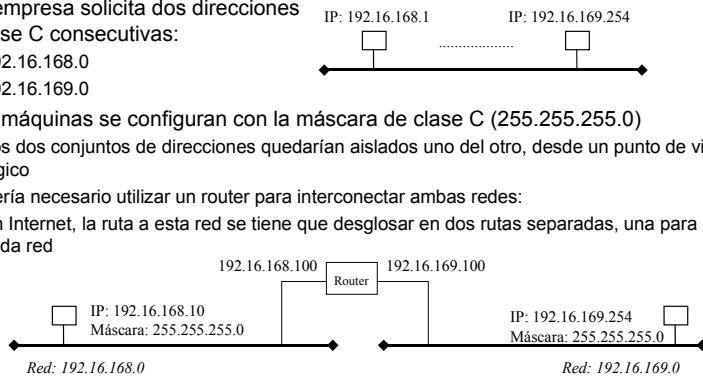
Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Organización de redes: subredes y superredes

46

■ Superredes (2)

- Necesidad de usar superredes (*supernetting*)
 - El supernetting surge por la necesidad de agrupar varias direcciones consecutivas de clase C, de manera que un router pueda verlas como una única dirección
- Ejemplo 1
 - Una empresa dispone de 500 hosts conectados a una misma red local
 - Esta empresa solicita dos direcciones de clase C consecutivas:
 - 192.16.168.0
 - 192.16.169.0
 - Si las máquinas se configuran con la máscara de clase C (255.255.255.0)
 - Los dos conjuntos de direcciones quedarían aislados uno del otro, desde un punto de vista lógico
 - Sería necesario utilizar un router para interconectar ambas redes:
 - En Internet, la ruta a esta red se tiene que desglosar en dos rutas separadas, una para cada red



Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Organización de redes: subredes y superredes

47

■ Superredes (3)

■ Ejemplo 1 (cont)

- Si queremos que las máquinas puedan estar ubicadas en la misma red local y se vean unas a otras sin necesidad de usar ningún router, es necesario utilizar una máscara de red distinta

192.16.168.1	=	11000000.00010000.1010100	0.00000001
192.16.169.254	=	11000000.00010000.1010100	1.1111110
Máscara	=	11111111.11111111.1111111	0.00000000 = 255.255.254.0
Direcc. de Red	=	11000000.00010000.1010100	0.00000000 = 192.16.168.0/23

ID de red ID de Host

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Organización de redes: subredes y superredes

48

■ Superredes (4)

■ Ejemplo 2

- Una empresa dispone de 1000 hosts conectados a una misma red local
 - Esta empresa solicita cuatro direcciones de clase C consecutivas:
 - 200.45.64.0
 - 200.45.65.0
 - 200.45.66.0
 - 200.45.67.0
 - Estas cuatro redes se une en una única superred de la siguiente forma:

200.45.64.0	=	11001000 00101101 01000000 00000000
200.45.65.0	=	11001000 00101101 01000001 00000000
200.45.66.0	=	11001000 00101101 01000010 00000000
200.45.67.0	=	11001000 00101101 01000011 00000000
Máscara	=	11111111 11111111 11111100 00000000 = 255.255.255.252.0
Dir. de Red	=	11001000 00101101 01000000 00000000 = 200.45.64.0/22

ID de red ID de Host

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Organización de redes: subredes y superredes

49

■ CIDR (Classless Interdomain Routing)

- CIDR = Encaminamiento inter-dominio sin clases
 - Respuesta a los problemas que estaba teniendo Internet de:
 - Agotamiento de direcciones
 - Crecimiento de las tablas de ruta
 - CIDR es el resultado de unir VLSM y Supernetting
 - Elimina el concepto de clases (A, B y C)
 - Tablas de rutas en CIDR
 - Las entradas en las tablas de rutas de los routers deben tener no solo la dirección de la red destino, sino también su máscara
 - Ventajas de CIDR :
 - Asignar redes ajustadas al tamaño necesario.
 - Se asigna un identificador de red y una máscara del tamaño deseado
 - Reducir el número de entradas en las tablas de rutas "resumiendo" varias entradas en una (mediante supernetting)

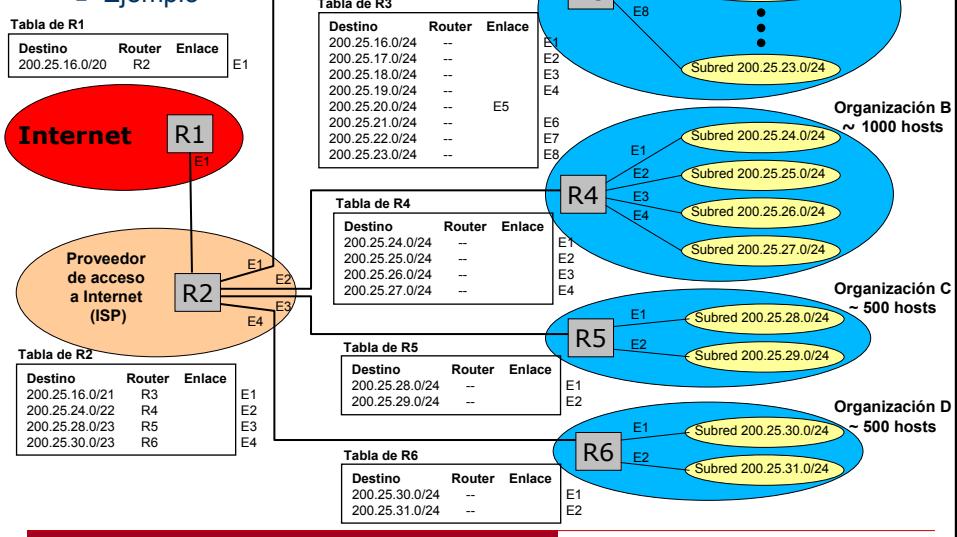
Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento. Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Organización de redes: subredes y superredes

50

■ CIDR (2)

■ Ejemplo



Protocolo ICMP

51

■ Introducción

■ ICMP = Internet Control Message Protocol

- Es un protocolo para el intercambio de mensajes de control en la red.
- Los mensajes ICMP se pueden clasificar en dos tipos:
 - **Mensajes de error**
 - Permiten informar de situaciones de error en la red
 - Ejemplos: destino inalcanzable, tiempo excedido, problema de parámetro, etc.
 - **Mensajes informativos**
 - Permiten intercambiar información sobre la presencia o el estado de un determinado sistema
 - Ejemplos: mensajes de ECHO, anuncio o solicitud de router, redirecciones, etc.

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento. Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

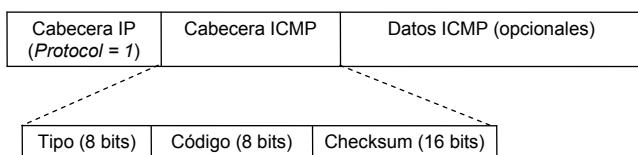
Protocolo ICMP

52

■ Formato de mensajes ICMP

■ Los mensajes ICMP se transmiten dentro de paquetes IP

- El protocolo ICMP se corresponde con el identificador 1
- El formato de los mensajes ICMP es el siguiente



- La cabecera ICMP contiene la siguiente información:

- Tipo (8 bits): Indica el tipo del mensaje ICMP
- Código (8 bits): Ofrece información adicional sobre el contenido del mensaje. Su significado depende del tipo del mensaje.
- Checksum (16 bits): Es un campo para detectar errores en el mensaje ICMP.

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento. Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Mensajes ICMP

53

■ Tipos de mensajes ICMP

	Tipo	Significado
Mensajes Informativos	0	Echo Reply
	5	Redirect
	8	Echo Request
	9	Router Solicitation
	10	Router Advertisement
Mensajes de error	3	Destination Unreachable
	4	Source Quench
	11	Time Exceeded
	12	Parameter Problem

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento. Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Mensajes ICMP

54

■ Mensajes ICMP Echo Request y Echo Reply

■ Descripción

- Se utilizan para ver si un computador es alcanzable
- Para generar este tipo de paquetes se utiliza la orden **ping**

■ Formato de los mensajes Echo Request/Echo Reply

- Tipo = 8 → Echo Request

Tipo (0/8)	Código (0)	Checksum
Identificador		Nº de secuencia
Datos		

- Código = 0

- Identificador

- Permite establecer la correspondencia entre mensajes de Echo Request y Echo Reply
- Cada mensaje Echo Reply contiene el mismo identificador que su correspondiente Echo Request

- Secuencia

- También se utiliza para establecer la correspondencia entre el Echo Request y el Echo Reply, cuando se envían varios Echo Requests consecutivos con el mismo identificador
- El mensaje Echo Reply contiene el mismo nº de secuencia que su correspondiente Echo Request

- Datos

- Contiene un número determinado de bytes, generados aleatoriamente por la herramienta de diagnóstico.
- El tamaño de este campo se puede especificar como un parámetro de la orden **ping**

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento. Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Mensajes ICMP

55

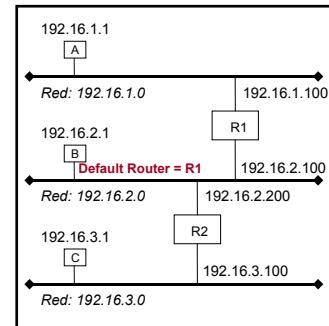
■ Mensajes ICMP Redirect (1)

■ Descripción

- Los mensajes de redirección los envía un router cuando un host no está eligiendo la ruta adecuada hacia un determinado destino
- El mensaje de redirección le indica a host cual es el camino más adecuado para alcanzar dicho destino

■ Ejemplo

- Supongamos que, en el ejemplo de la figura el Host B tiene mal configurada su tabla de rutas
 - Tiene como Default Router a R1
- Si el host B quiere enviar un paquete al host C, lo hará a través del router R1 (ruta incorrecta)
 - El router R1 devolverá un mensaje ICMP Redirect al host B indicando que la ruta correcta al host C es a través de R2
- El host B añadirá una nueva entrada en su tabla de rutas con el camino correcto al host C



Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Mensajes ICMP

56

■ Mensajes ICMP Redirect (2)

■ Formato del mensaje ICMP Redirect

- Tipo = 5
- Código
 - Código = 0 → redirección a una red
 - Código = 1 → redirección a un host

Tipo (5)	Código	Checksum
Dirección IP del router aconsejado		
Cabecera IP del datagrama original		
+ 64 primeros bits de datos		

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Mensajes ICMP

57

■ Mensajes ICMP Router Advertisement y Router Solicitation (1)

- Descripción
 - Estos mensajes implementan el protocolo RDISC (Router Discovery) para descubrimiento del router predeterminado
 - Un router periódicamente anuncia su dirección en la red mediante un mensaje ICMP Router Advertisement
 - Los anuncios se envían a la dirección multicast 224.0.0.1 (All-systems multicast address)
 - Por defecto los anuncios se envían cada 10 minutos y tienen una validez de 30 minutos (TTL=1800 segundos)
 - Un router también puede enviar un mensaje de Router Advertisement a un host específico como respuesta a un mensaje Router Solicitation
 - Cuando un host activa su interfaz de red envía tres mensajes ICMP Router Solicitation con intervalos de tres segundos
 - Los paquetes Router Solicitation se envían a la dirección multicast 224.0.0.2 (All-routers multicast address)
 - Cuando un host recibe un paquete de Router Advertisement realiza las siguientes acciones
 - Comprueba si el campo Preferencia es mayor que la Preferencia del default router actual. En caso afirmativo sustituye configura el nuevo router como default router
 - Si es el mismo router que tiene configurado como predeterminado, el host reinicializa el valor de TTL al valor indicado en el anuncio.

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Mensajes ICMP

58

■ Mensajes ICMP Router Advertisement y Router Solicitation (2)

- Formato de los mensajes
 - Tipo = 9 → Router Advertisement
 - Tipo = 10 → Router Solicitation
 - Número:
 - Indica cuantas direcciones se anuncian en el paquete (un router puede tener varias IPs)
 - Longitud
 - Indica la longitud (en palabras de 32 bits) de cada una de las entradas que se anuncian
 - Normalmente tiene valor 2 (32 bits para la dirección IP + 32 bits para la Preferencia)
 - TTL
 - Tiempo de validez (en segundos) de la dirección anunciada
 - Por defecto son 1800 segundos (30 minutos)
 - Dirección del router
 - Dirección IP del anunciente
 - Preferencia
 - Valor de 32 bits que indica el nivel de preferencia o prioridad de la dirección anunciada
 - Por defecto toma valor 0
 - Si toma el valor mínimo (0x80000000 en C'2) indica que la ruta no debe ser usada

Tipo (9/10)	Código (0)	Checksum
Número	Longitud	TTL
Dirección de router 1		
Preferencia 1		
.....		
Dirección de router n		
Preferencia n		

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Mensajes ICMP

59

■ Mensajes ICMP Destination Unreachable (1)

■ Descripción

- Estos mensajes los envía el router cuando el destino de un paquete es inalcanzable, para informar al host emisor del paquete de esta situación

■ Formato del mensaje

- Tipo = 3

■ Código

- Especifica la razón por la cual el destino es inalcanzable
- Véase a continuación la lista de códigos

Tipo (3)	Código	Checksum
No usado (cero)		
Cabecera IP del datagrama original + 64 primeros bits de datos		

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Mensajes ICMP

60

■ Mensajes ICMP Destination Unreachable (2)

■ Valores del campo Código

0: Network unreachable

- Fallo en el link hacia la red
- Routing incorrecto

1: Host unreachable

- Máquina apagada o desconectada de la red
- Dirección IP incorrecta

2: Protocol unreachable

- N° de protocolo incorrecto en el paquete IP
- Protocolo no disponible (por ej. OSPF, BGP, etc.)

3: Port unreachable

- Puerto UDP cerrado

4: Fragmentation needed but the Do Not Fragment bit was set

5: Source route failed

6: Destination network unknown

- Routing incorrecto
- Dirección IP incorrecta

7: Destination host unknown

- Routing incorrecto
- Dirección IP incorrecta

9: Destination network administratively prohibited

- Red protegida con un Firewall

10: Destination host administratively prohibited

- Host protegido con un Firewall

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Mensajes ICMP

61

■ Mensajes ICMP Source Quench

- Descripción
 - Son mensajes de control de congestión
 - Los puede enviar un router intermedio o el host destinatario
 - Si proceden de un router intermedio
 - Indican que éste no tiene espacio suficiente en buffer para almacenar el datagrama
 - El datagrama será descartado
 - Si proceden del host destinatario
 - Indican que los datagramas están llegando demasiado deprisa para poder ser procesados
 - Los datagramas serán descartados
 - En ambos casos el emisor deberá ralentizar el ritmo de envío de paquetes

■ Formato del mensaje

- Tipo = 4
- Código = 0

Tipo (4)	Código (0)	Checksum
No usado		
Cabecera IP del datagrama original + 64 primeros bits de datos		

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Mensajes ICMP

62

■ Mensajes ICMP Time Exceeded

- Descripción
 - Este paquete lo puede enviar un router intermedio o el host destinatario:
 - Los envía un router al host origen cuando descarta el paquete por haber agotado su tiempo de vida (**TTL de tránsito**)
 - Lo envía el host destinatario en el caso de un paquete fragmentado, cuando no puede reensamblar por falta de algún fragmento y se agota el tiempo de espera para reensamblado (**TTL de reensamblado**)
 - Orden *traceroute*
 - Hace uso de este tipo de mensajes para descubrir la ruta usada para alcanzar un determinado destino

■ Formato del mensaje

- Tipo = 11
- Código = 0 → Agotado TTL de tránsito
- Código = 1 → Agotado TTL de reensamblado

Tipo (11)	Código	Checksum
No usado		
Cabecera IP del datagrama original + 64 primeros bits de datos		

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

■ Mensajes ICMP Parameter Problem

■ Descripción

- Indica que se ha encontrado algún tipo de problema durante el procesamiento de los parámetros de la cabecera IP
 - Valor inválido en la cabecera o checksum erróneo
 - Campo opción necesario, pero no presente

■ Formato del mensaje

- Tipo = 12
- Código = 0 → Error sin especificar
- Código = 1 → Opción requerida no presente
- Puntero
 - Indica el nº de byte de la cabecera IP donde se localiza el problema

Tipo (12)	Código	Checksum
Puntero		No usado
Cabecera IP del datagrama original + 64 primeros bits de datos		

El problema del encaminamiento: técnicas generales

■ El problema del encaminamiento

■ ¿Qué es el encaminamiento o routing?

- En una red de conmutación de paquetes, el encaminamiento consiste en encontrar un camino, desde el origen al destino, a través de nodos de conmutación o encaminadores (routers) intermedios
- En caso de que existan varios caminos alternativos
 - Es necesario decidir cual es el mejor camino posible → “camino más corto”
 - Para decidir cual es el camino más corto es necesario definir una métrica de encaminamiento
- Posibles métricas
 - **Número de saltos:** tiene en cuenta el número de routers y/o redes intermedias que tiene que atravesar el paquete para alcanzar el destino.
 - **Distancia geográfica:** tiene en cuenta la distancia (en Km) que tiene que recorrer el paquete para alcanzar el destino
 - **Retardo promedio:** tiene en cuenta el retardo de las líneas. Dado que éste es proporcional a la distancia, esta métrica es similar a la anterior
 - **Ancho de banda:** tiene en cuenta la velocidad de transmisión de las líneas por las que tiene que circular el paquete.
 - **Nivel de tráfico:** tiene en cuenta el nivel de uso de las líneas, para intentar utilizar aquellas líneas con menor nivel de saturación.
- **Función de varias métricas**

El problema del encaminamiento: técnicas generales

65

■ Técnicas de encaminamiento

- Encaminamiento local
 - Estas técnicas no tienen en cuenta la topología de la red
 - Las decisiones de encaminamiento se basan en información aleatoria o local
 - Las técnicas más comunes son:
 - Encaminamiento aleatorio
 - Encaminamiento aislado
 - Inundación
- Encaminamiento estático
 - Las decisiones de encaminamiento se basan en el conocimiento de la topología de la red, por parte del administrador
 - El administrador construye manualmente las tablas de encaminamiento
 - No se adapta de forma automática a los cambios en la topología o estructura de la red
- Encaminamiento dinámico
 - Las tablas de encaminamiento se construyen de forma automática, mediante el intercambio periódico de información entre los nodos de conmutación o encaminadores
 - No necesitan intervención de un administrador
 - Se adaptan automáticamente a los cambios en la topología de la red
 - Las técnicas más comunes son:
 - Encaminamiento por vectores de distancia
 - Encaminamiento por estado de los enlaces

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

El problema del encaminamiento: técnicas generales

66

■ Técnicas de encaminamiento local (1)

- Encaminamiento aleatorio
 - Un nodo de conmutación selecciona aleatoriamente un camino de salida para retransmitir cada paquete entrante
 - Ventajas
 - Sencillo de implementar
 - Los nodos de conmutación no necesitan usar información global sobre la red
 - Desventajas
 - La ruta utilizada no corresponderá necesariamente con la del camino más corto
 - Pueden utilizarse rutas incorrectas que no permiten alcanzar el destino
- Encaminamiento aislado
 - Un nodo de conmutación toma una decisión de encaminamiento usando únicamente información local
 - Ejemplos
 - Enviar el paquete por la línea de salida de mayor ancho de banda
 - Enviar el paquete por la línea de salida menos congestionada (menor nº de paquetes esperando en cola de salida)
 - Enviar el paquete cada vez por una salida distinta, de forma rotatoria, para equilibrar el uso de las líneas de salida
 - Ventajas y desventajas
 - Igual que en el caso anterior

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

El problema del encaminamiento: técnicas generales

67

■ Técnicas de encaminamiento local (2)

- Encaminamiento por inundación
 - Un nodo de conmutación origen envía cada paquete a todos sus nodos vecinos.
 - Los nodos vecinos, a su vez, lo transmiten sobre todos los enlaces de salida excepto por el que llegó.
 - El destinatario recibirá un número indeterminado de copias duplicadas
 - Cada paquete contiene un identificador único → el receptor puede descartar los duplicados
 - Para reducir el número de copias
 - Los nodos pueden recordar la identidad de los paquetes que han retransmitido con anterioridad, de manera que se evitan las cargas de la red
 - Puede incluir un campo de cuenta de saltos en cada paquete
- Ventajas
 - Técnica muy robusta
 - Se prueban todos los posibles caminos entre los nodos origen y destino
 - Garantiza que al menos una copia del paquete habrá usado el camino más corto
 - Se visitan todos los nodos
 - Puede resultar útil para llevar a cabo la propagación de información relevante para todos los nodos (por ejemplo, encaminamiento)
- Desventajas
 - Se generan un gran número de paquetes duplicados que pueden llegar a saturar la red

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

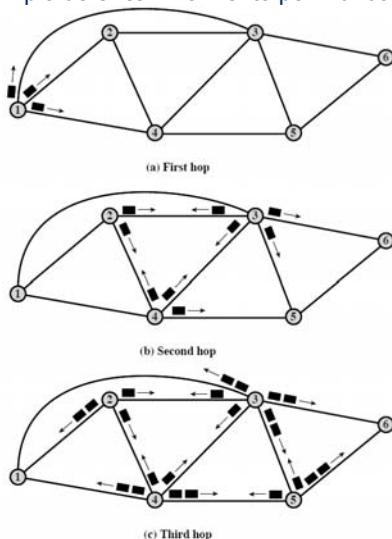
Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

El problema del encaminamiento: técnicas generales

68

■ Técnicas de encaminamiento local (3)

- Ejemplo de encaminamiento por inundación



Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

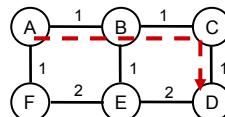
El problema del encaminamiento: técnicas generales

69

■ Encaminamiento estático (1)

■ Fundamento

- Se basa en la construcción manual de tablas de rutas por parte del administrador de la red
- La construcción de tablas de encaminamiento debe cumplir el **principio de optimización**
 - Si el camino más corto entre dos encaminadores A y D es a través de un encaminador intermedio B, entonces el camino más corto de B a D es a través de la misma ruta.
- Ejemplo
 - A→D: ruta A-B-C-D
 - B→D: ruta B-C-D
 - C→D: ruta C-D



▪ Como consecuencia del principio de optimización

- Para encaminar un paquete a lo largo del camino más corto, sólo es necesario conocer la identidad del siguiente encaminador inmediato a lo largo del camino.
- Este modo de encaminamiento se denomina **encaminamiento por siguiente salto** (*next-hop routing*) o **encaminamiento salto a salto** (*hop-by-hop routing*).

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento. Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

El problema del encaminamiento: técnicas generales

70

■ Encaminamiento estático (2)

■ Ejemplo de encaminamiento estático

- Supongamos la siguiente red
 - Los pesos de los arcos representan el coste o métrica de cada enlace
 - El camino más corto entre cada par de nodos es que tiene un coste total (suma de costes) mínimo
- Las tablas de encaminamiento de los distintos nodos de la red, serían las siguientes:

Destination	Next Node
2	2
3	4
4	4
5	4
6	4

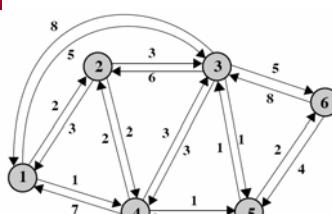
Destination	Next Node
1	1
3	3
4	4
5	4
6	4

Destination	Next Node
1	5
2	5
4	5
5	5
6	5

Destination	Next Node
1	2
2	2
3	5
5	5
6	5

Destination	Next Node
1	4
2	4
3	3
4	4
6	6

Destination	Next Node
1	5
2	5
3	5
4	5
5	5



Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento. Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

El problema del encaminamiento: técnicas generales

71

■ Encaminamiento dinámico por vectores de distancia (1)

- Fundamentos
 - Cada encaminador o nodo de commutación mantiene una tabla de encaminamiento con una entrada por cada posible destino en la red
 - Cada entrada de la tabla contiene:
 - El destino
 - El siguiente nodo para alcanzar dicho destino
 - La distancia o métrica a al destino
 - Para construir la tabla de encaminamiento los nodos intercambian periódicamente información con sus vecinos (vectores de distancia)
 - Nodos alcanzables
 - Distancia a la que se encuentran
 - El método de encaminamiento por vetores de distancia también recibe el nombre de algoritmo de Bellman-Ford
- Algoritmos de encaminamiento basados en vectores de distancia
 - RIP (Routing Information Protocol)

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

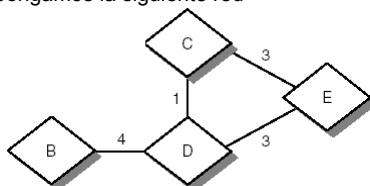
Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

El problema del encaminamiento: técnicas generales

72

■ Encaminamiento dinámico por vectores de distancia (2)

- Ejemplo
 - Supongamos la siguiente red



- La métrica puede representar, por ejemplo, el retardo de las líneas
 - Para determinar el retardo de cada enlace se puede enviar un ping al vecino y calcular el tiempo de ida y vuelta

- Las tablas de encaminamiento de los nodos son las siguientes

Tabla del nodo B

Destino	Siguiente Nodo	Distan- cia
C	D	5
D	D	4
E	D	7

Tabla del nodo C

Destino	Siguiente Nodo	Distan- cia
B	D	5
D	D	1
E	E	3

Tabla del nodo D

Destino	Siguiente Nodo	Distan- cia
B	B	4
C	C	1
E	E	3

Tabla del nodo E

Destino	Siguiente Nodo	Distan- cia
B	D	7
C	C	3
D	D	3

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

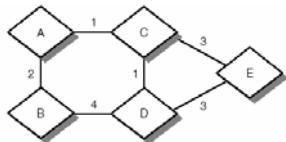
Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

El problema del encaminamiento: técnicas generales

73

■ Encaminamiento dinámico por vectores de distancia (3)

- Ejemplo (cont)
 - Supongamos que se incluye un nuevo nodo en la red (nodo A)



- Inicialmente el nodo A sólo conoce los nodos que tiene directamente conectados
 - Debe determinar la métrica a cada destino (por ejemplo, enviando un ping para determinar el retardo)

Tabla de encaminamiento inicial del nodo A

Destino	Siguiente Nodo	Distancia
B	B	2
C	C	1

- A continuación, el nodo A recibe de sus nodos vecinos (B y C) información de encaminamiento (vectores de distancia)

Vectores de distancia B → A

Destino	Distancia
C	5
D	4
E	7

Vectores de distancia C → A

Destino	Distancia
B	5
D	1
E	3

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

El problema del encaminamiento: técnicas generales

74

■ Encaminamiento dinámico por vectores de distancia (4)

- Ejemplo (cont)
 - A partir de esta información, el nodo A construye su tabla de encaminamiento

Tabla del nodo A (final)

Destino	Siguiente Nodo	Distancia
B	B	2
C	C	1
D	C	2
E	C	4

- El nodo A difunde información de encaminamiento (vectores de distancia) a sus nodos vecinos
 - El resto de nodos recalculan sus tablas de encaminamiento, que finalmente quedan de la siguiente forma:

Tabla del nodo B

Destino	Siguiente Nodo	Distancia
A	A	2
C	A	3
D	A/D*	4
E	A	6

Tabla del nodo C

Destino	Siguiente Nodo	Distancia
A	A	1
B	A	3
D	D	1
E	E	3

Tabla del nodo D

Destino	Siguiente Nodo	Distancia
A	C	2
B	A/B*	4
C	C	1
E	E	3

Tabla del nodo E

Destino	Siguiente Nodo	Distancia
A	C	4
B	C	6
C	C	3
D	D	3

- Las rutas marcadas con asterisco (*) son equivalentes. Para elegir entre una u otra, normalmente se usa alguno de estos criterios:
 - Se usa siempre la ruta que primero se aprende
 - Se usa siempre la ruta cuyo siguiente nodo tiene el identificador más bajo (o el más alto)

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

El problema del encaminamiento: técnicas generales

75

■ Encaminamiento dinámico por estado de los enlaces (1)

■ Fundamentos

- Cada encaminador o nodo de commutación mantiene una base de datos que contiene información sobre la topología exacta de la red
 - Se denomina base de datos del estado de los enlaces (*link state database*)
- Para construir esta base de datos se utiliza el siguiente proceso:
 - Cada encaminador o nodo de commutación identifica a todos nodos vecinos
 - Cada nodo determina la distancia o métrica a cada uno de sus vecinos (estado del enlace)
 - Cada nodo anuncia esta información a TODOS los nodos de la red
 - Habitualmente esto se hace mediante un mecanismo de inundación
 - Con toda la información recopilada (información de los enlaces locales más información recibida del resto de nodos de la red)
 - Cada nodo construye una base de datos con toda la información de todos los enlaces de la red (**base de datos del estado de los enlaces**)
 - Todos los nodo manejan exactamente la misma base de datos
 - A partir de la base de datos del estado de los enlaces:
 - Cada nodo construye un **mapa o árbol de rutas** de la red desde "su punto de vista"
 - La construcción del árbol o mapa de rutas se basa en el algoritmo de Dijkstra
 - En este árbol de rutas, cada nodo selecciona las rutas más cortas a cada destino y se eliminan posibles bucles

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

El problema del encaminamiento: técnicas generales

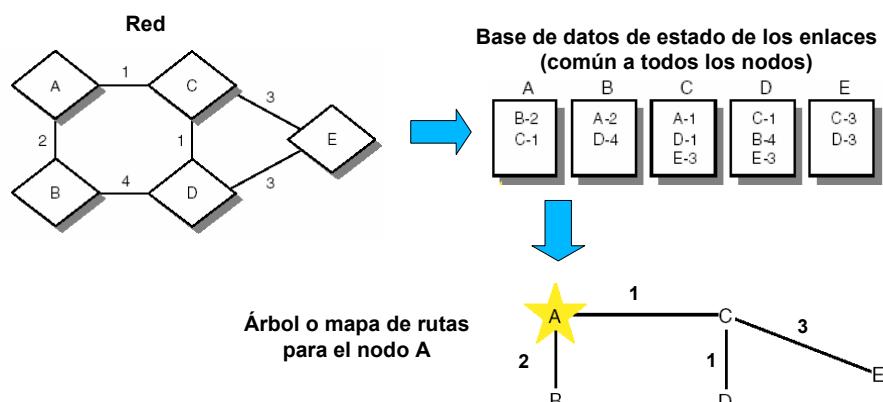
76

■ Encaminamiento dinámico por estado de los enlaces (2)

■ Algoritmos de encaminamiento basados en estado de los enlaces

- OSPF (Open Shortest Path First)

■ Ejemplo ilustrativo



Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

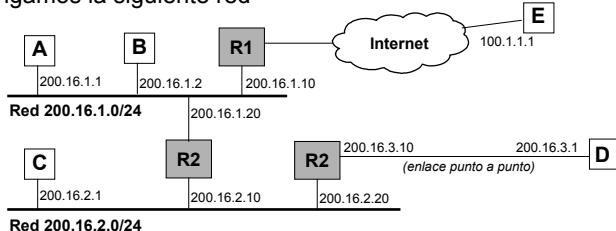
Encaminamiento en Internet

77

■ Interpretación de tablas de encaminamiento en redes IP (1)

■ Ejemplo

- Supongamos la siguiente red



- La tabla de encaminamiento de la **estación A**, podría ser de la siguiente forma:

```
# route -n
```

Kernel IP routing table				
	Destination	Gateway	Genmask	Flags
Entrada 1 →				
Entrada 2 →	200.16.1.0	0.0.0.0	255.255.255.0	U
Entrada 3 →		eth0		
Entrada 4 →	200.16.2.0	200.16.1.20	255.255.255.0	UG

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento. Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Encaminamiento en Internet

78

■ Interpretación de tablas de encaminamiento en redes IP (2)

■ Campos principales de la tabla de encaminamiento

- **Destination:** Red o host destino
- **Gateway:** El host o router que debe entregar o reexpedir el paquete
- **Genmask:** Máscara de red asociada a la red destino
- **Flags:** Indican el estado de la ruta
 - U** → La interfaz está activada (en uso)
 - H** → El campo Destination representa un Host y no una red
 - G** → El host de entrega es un router (un camino indirecto)
 - D** → La ruta es consecuencia de una redirección ICMP
- **Iface:** Enlace o interfaz de red por el que se alcanza la red destino

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento. Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Encaminamiento en Internet

79

■ Interpretación de tablas de encaminamiento en redes IP (3)

■ Entradas de la tabla de encaminamiento de la estación A

■ Entrada 1

Destination	Gateway	Genmask	Flags	Iface
200.16.1.0	0.0.0.0	255.255.255.0	U	eth0

- El destino es la propia red local de la estación A
- Para enviar un paquete a cualquier máquina de esa red destino (por ej. estación B), no es necesario utilizar ningún router (Gateway = 0.0.0.0), sino que se realiza la **entrega directa** del paquete a través de la propia red
- Esta entrada aparece automáticamente en la tabla de rutas, en el momento en que se configura la interfaz de red (eth0)

■ Entrada 2

Destination	Gateway	Genmask	Flags	Iface
200.16.2.0	200.16.1.20	255.255.255.0	UG	eth0

- El destino es una red diferente alcanzable de forma indirecta a través de un router
- Para enviar un paquete a cualquier máquina de esa red destino (por ej. estación C), es necesario entregar el paquete al router indicado (Gateway = 200.16.1.20)
- Esta entrada hay que añadirla a la tabla de rutas de forma manual o mediante algún protocolo de routing

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento. Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Encaminamiento en Internet

80

■ Interpretación de tablas de encaminamiento en redes IP (3)

■ Entradas de la tabla de encaminamiento de la estación A (cont.)

■ Entrada 3

Destination	Gateway	Genmask	Flags	Iface
200.16.3.1	200.16.1.20	255.255.255.255	UGH	eth0

- El campo destino no se corresponde con una red sino con un host
- Para enviar un paquete al host destino (en este caso, la estación D), es necesario entregar el paquete al router indicado (Gateway = 200.16.1.20)
- Esta entrada hay que añadirla a la tabla de rutas de forma manual o mediante algún protocolo de routing

■ Entrada 4

Destination	Gateway	Genmask	Flags	Iface
0.0.0.0	200.16.1.10	255.255.255.0	UG	eth0

- Esta entrada, cuyo campo destino tiene valor 0.0.0.0, se utiliza para definir el router predeterminado (**default router**)
- Esta entrada se utiliza cuando la red o host destino no coincide con ninguna de las entradas anteriores de la tabla de rutas (por ejemplo, en el caso de la estación E). En esta situación, el paquete se debe entregar al router predeterminado (200.16.1.10)
- Normalmente, esta entrada se añade a la tabla de rutas de forma manual o mediante la lectura de un fichero de configuración.

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento. Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Encaminamiento en Internet

81

■ Encaminamiento estático o manual (1)

- Órdenes para construcción manual de tablas de encaminamiento en Linux
 - Añadir una ruta a una red

Ejemplo: para añadir la entrada 2 de la tabla de encaminamiento de la estación A
`route add -net 200.16.2.0 netmask 255.255.255.0 gw 200.16.1.20`
 - Añadir una ruta a un host

Ejemplo: para añadir la entrada 3 de la tabla de encaminamiento de la estación A
`route add -host 200.16.3.1 gw 200.16.1.20`
 - Añadir la entrada del router predeterminado (*default router*)

Ejemplo: para añadir la entrada 4 de la tabla de rutas de la estación A
`route add default gw 200.16.1.10`
 - Eliminar una ruta a una red

Ejemplo: para eliminar la entrada 2 de la tabla de encaminamiento de la estación A
`route delete -net 200.16.2.0 netmask 255.255.255.0 gw 200.16.1.20`
 - Eliminar una ruta a un host

Ejemplo: para eliminar la entrada 3 de la tabla de encaminamiento de la estación A
`route delete -host 200.16.3.1 gw 200.16.1.20`
 - Eliminar la entrada del router predeterminado (*default router*)

Ejemplo: para eliminar la entrada 4 de la tabla de encaminamiento de la estación A
`route delete default gw 200.16.1.10`

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

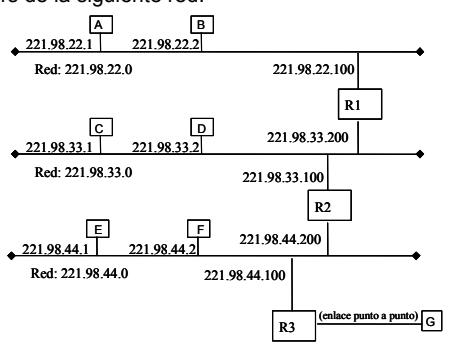
Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Encaminamiento en Internet

82

■ Encaminamiento estático (2)

- Ejercicio: Construir manualmente las tablas de encaminamiento de todos los hosts y todos los routers de la siguiente red:



- Ejemplos:

- Tabla de encaminamiento de Host C
 - `route add -net 221.98.22.0 netmask 255.255.255.0 gw 221.98.33.200`
 - `route add -net 221.98.44.0 netmask 255.255.255.0 gw 221.98.33.100`
 - `route add -host 221.98.55.1 gw 221.98.33.100`
- Tabla de encaminamiento del Router R2
 - `route add -net 221.98.22.0 netmask 255.255.255.0 gw 221.98.33.200`
 - `route add -host 221.98.55.1 gw 221.98.44.100`

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Encaminamiento en Internet

83

■ Encaminamiento dinámico

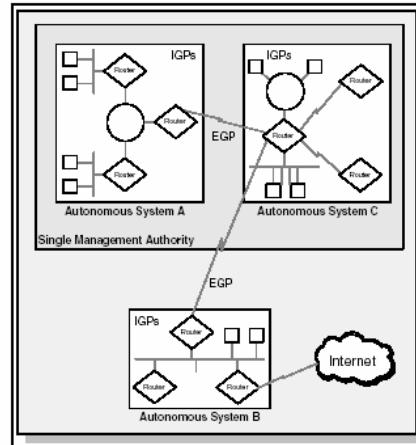
■ Organización jerárquica de Internet: SISTEMAS AUTÓNOMOS

■ Protocolos Internos (IGP)

- Lo utilizan los routers internos, para el encaminamiento dentro de un sistema autónomo
 - **RIP**: Routing Information Protocol
 - **OSPF**: Open Shortest Path First
 - **IGRP**: Internal Gateway Routing Protocol (de CISCO)

■ Protocolos Externos (EGP)

- Lo utilizan los routers frontera, para el encaminamiento entre distintos sistemas autónomos
 - **EGP**: External Gateway Protocol (actualmente en desuso)
 - **BGP**: Border Gateway Protocol



Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Encaminamiento en Internet

84

■ RIP: Routing Information Protocol (1)

■ Características generales

- Protocolo de interior usado en redes de tamaño reducido, ampliamente utilizado al incluirse en la distribución BSD de UNIX
- Basado en el protocolo de routing XNS de Xerox
- RIP es un protocolo de vector de distancia (basado en algoritmo Bellman-Ford)

■ Funcionamiento:

- El protocolo RIP se basa en el intercambio periódico (cada 30 seg.) de información de rutas (vectores de distancia) entre routers vecinos
 - Estos vectores de distancia incluyen las redes que son alcanzables por cada router y a qué distancia se encuentran
- A partir de esta información los routers construyen y actualizan sus tablas de encaminamiento
- La información se difunde mediante broadcast.
 - Los paquetes RIP se envían usando el protocolo UDP
- La métrica utilizada en el protocolo RIP es el número de saltos

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

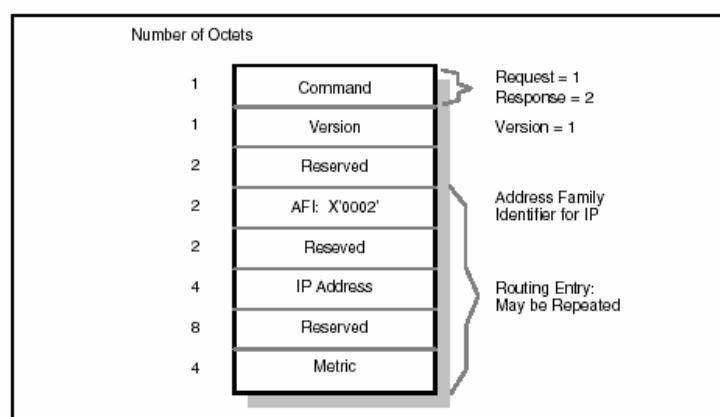
Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

■ RIP: Routing Information Protocol (2)

- Tipos de mensajes RIP
 - Mensajes de solicitud (**REQUEST**)
 - Cuando un router nuevo se conecta, envía un mensaje REQUEST para solicitar información de encaminamiento al resto de routers
 - Mensajes de respuesta (**RESPONSE**)
 - Los mensajes **RESPONSE** se utilizan para enviar la información sobre las redes alcanzables por un router y las distancias a las mismas
 - Estos mensajes se envían en las siguientes circunstancias:
 - Periódicamente (cada 30 segundos), los routers difunden mediante broadcast sus tablas de rutas a la red
 - Como respuesta a un mensaje de REQUEST, los routers envían un paquete de respuesta dirigido al router solicitante
 - En caso de que estén habilitada el mecanismo de "actualización forzada", los routers anuncian las tablas de vectores de distancia siempre que se detecta alguna modificación

■ RIP: Routing Information Protocol (3)

- Formato de los mensajes RIP



Encaminamiento en Internet

87

■ RIP: Routing Information Protocol (4)

- Ejemplo de funcionamiento de RIP
- Supongamos la siguiente red

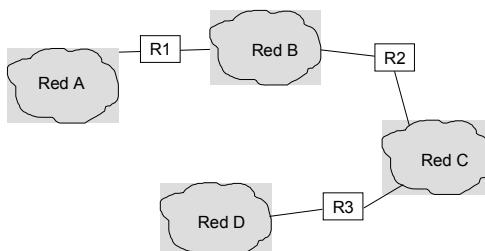


Tabla de rutas de R1

Destino	Router	Metric
Red A	Direct	1
Red B	Direct	1
Red C	R2	2
Red D	R2	3

Tabla de rutas de R2

Destino	Router	Metric
Red A	R1	2
Red B	Direct	1
Red C	Direct	1
Red D	R3	2

Tabla de rutas de R3

Destino	Router	Metric
Red A	R2	3
Red B	R2	2
Red C	Direct	1
Red D	Direct	1

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

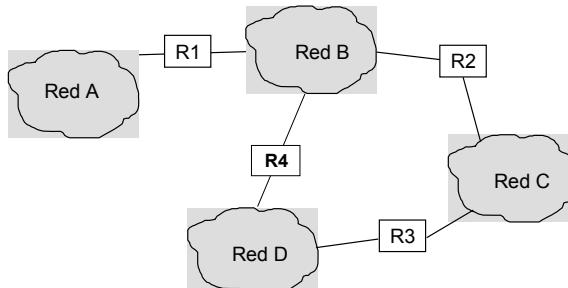
Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Encaminamiento en Internet

88

■ RIP: Routing Information Protocol (5)

- Ejemplo de funcionamiento de RIP (cont)
- Supongamos que el router R4 se conecta por primera vez



- Inicialmente su tabla de rutas sólo contiene información de las redes a las que está conectado:

Tabla de rutas de R4 (initial)

Destino	Router	Metric
Red B	Direct	1
Red D	Direct	1

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Encaminamiento en Internet

89

■ RIP: Routing Information Protocol (6)

- Ejemplo de funcionamiento de RIP (cont)
 - El router R4 envía un mensaje RIP de tipo REQUEST solicitando información de rutas a sus vecinos
 - Los routers vecinos le envían la siguiente información (vectores de distancia) mediante mensajes RESPONSE

RESPONSE de R1

Red A - Distancia 1
Red B - Distancia 1
Red C - Distancia 2
Red D - Distancia 3

RESPONSE de R2

Red A - Distancia 2
Red B - Distancia 1
Red C - Distancia 1
Red D - Distancia 2

RESPONSE de R3

Red A - Distancia 3
Red B - Distancia 2
Red C - Distancia 1
Red D - Distancia 1

- A partir de esta información R4 completa su tabla de encaminamiento:

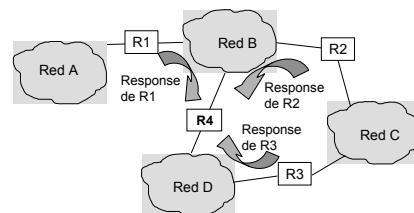


Tabla de rutas de R4

Destino	Router	Metric
Red A	R1	2
Red B	R4	1
Red C	R4	1
Red D	R2 ó R3	2

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento. Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Encaminamiento en Internet

90

■ RIP: Routing Information Protocol (7)

- Ejemplo de funcionamiento de RIP (cont)

- El router R4 también transmite sus vectores de distancia a sus vecinos, los cuales modificarán sus propias tablas para adaptarlas a la nueva situación

RESPONSE de R4

Red A - Distancia 2
Red B - Distancia 1
Red C - Distancia 2
Red D - Distancia 1

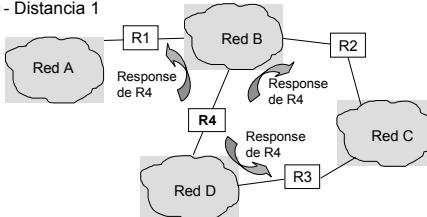


Tabla de rutas de R1

Destino	Router	Metric
Red A	Direct	1
Red B	Direct	1
Red C	R2	2
Red D	R4	2

Tabla de rutas de R2

Destino	Router	Metric
Red A	R1	2
Red B	Direct	1
Red C	Direct	1
Red D	R3	2

Tabla de rutas de R3

Destino	Router	Metric
Red A	R2	3
Red B	R2	2
Red C	Direct	1
Red D	Direct	1

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Encaminamiento en Internet

91

■ RIP: Routing Information Protocol (8)

- Problema de convergencia y cuenta a infinito
 - Cuando se producen cambios en la topología de la red (se añaden nuevas rutas o se eliminan rutas), los cambios tardan en propagarse cierto tiempo a todos los routers de la red
 - El tiempo que tardan en actualizarse todas las tablas de rutas se llama **tiempo de convergencia**
 - Durante este periodo las tablas de rutas pueden presentar inconsistencias, y la información de rutas puede ser incorrecta
 - El periodo de convergencia puede ser especialmente lento y problemático cuando se elimina algún router o se pierde un enlace con una red, ya que se produce el fenómeno de cuenta a infinito
 - Para aliviar estos problemas se emplean distintas técnicas:
 - Limitar el infinito
 - En RIP una red se considera alcanzable si la distancia es ≤ 15 saltos
 - Si la distancia es > 16 saltos, la red se considera inalcanzable (distancia infinita)
 - Rutas obsoletas
 - Si un router no recibe información sobre una determinada ruta en 6 períodos de actualización (180 seg), la ruta se marca como inalcanzable (distancia infinita)
 - Horizonte dividido y horizonte dividido con respuesta envenenada
 - Actualizaciones forzadas

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Encaminamiento en Internet

92

■ RIP: Routing Information Protocol (9)

- Problema de convergencia y cuenta a infinito (cont)

- Ejemplo

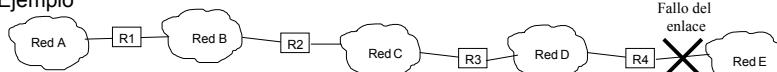


Tabla de R1

Dest.	Router	Metric
E	R2	4
E	R2	6
E	R2	6
E	R2	8
E	R2	8
E	R2	10
E	R2	10
E	R2	12
E	R2	12
E	R2	12
E	R2	14
E	R2	14
E	R2	∞
E	R2	∞

Tabla de R2

Dest.	Router	Metric
E	R3	3
E	R3	3
E	R3	3
E	R3	5
E	R3	5
E	R3	7
E	R3	7
E	R3	9
E	R3	9
E	R3	11
E	R3	11
E	R3	13
E	R3	13
E	R3	15
E	R3	15
E	R3	∞
E	R3	∞

Tabla de R3

Dest.	Router	Metric
E	R4	2
E	R4	2
E	R4	4
E	R4	4
E	R4	6
E	R4	6
E	R4	8
E	R4	8
E	R4	10
E	R4	10
E	R4	12
E	R4	12
E	R4	14
E	R4	14
E	R4	∞
E	R4	∞

Tabla de R4

Dest.	Router	Metric
E	Direct	1
E	R3	∞
E	R3	3
E	R3	5
E	R3	5
E	R3	7
E	R3	7
E	R3	9
E	R3	9
E	R3	11
E	R3	11
E	R3	13
E	R3	13
E	R3	15
E	R3	15
E	R3	∞

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Encaminamiento en Internet

93

■ RIP: Routing Information Protocol (10)

- Técnica del horizonte dividido (“*split horizon*”)
 - Permite reducir el problema de cuenta a infinito
 - Consiste en imponer la siguiente regla:
 - La información de rutas aprendida a través de un determinado enlace nunca se difunde a través de dicho enlace
 - Por ejemplo, el router R3 del ejemplo anterior:
 - Difundirá en la red D información únicamente sobre las rutas hacia las redes A, B y C (nunca información sobre las rutas hacia las redes D y E)
 - Difundirá en la red C información únicamente sobre las rutas hacia las redes D y E (nunca información sobre las rutas hacia las redes A, B y C)
 - Ejemplo
 - La actualización de las tablas de rutas para los routers del ejemplo anterior es la siguiente:

Antes del fallo
Fallo (T = 0)
T = 0,5 min.
T = 1 min.
T = 1,5 min.

Tabla de R1		
Dest.	Router	Metric
E	R2	4
E	--	∞

Tabla de R2		
Dest.	Router	Metric
E	R3	3
E	R3	3
E	R3	3
E	--	∞
E	R3	5

Tabla de R3		
Dest.	Router	Metric
E	R4	2
E	R4	2
E	--	∞
E	R4	4
E	R3	5

Tabla de R4		
Dest.	Router	Metric
E	Direct	1
E	--	∞
E	R3	3
E	R3	5
E	R3	5

- El tiempo de actualización pasa de 7 minutos a 1,5 minutos

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Encaminamiento en Internet

94

■ RIP: Routing Information Protocol (11)

- Horizonte dividido con respuesta envenenada (“*poison reverse*”)
 - Es una variante de la técnica del horizonte dividido
 - Cuando un router R aprende una ruta al destino D a través del enlace E
 - El router R anuncia a través del enlace E que el destino X está a distancia infinita
 - Por ejemplo, el router R3 del ejemplo anterior:
 - Anunciará a la red D que la distancia a las redes D y E a través de R3 es infinito
 - Anunciará a la red C que la distancia a las redes A, B y C a través de R3 es infinito
- La técnica de las actualizaciones forzadas (“*Triggered Updates*”)
 - Permite reducir el tiempo de convergencia cuando se produce un cambio en la topología de la red
 - Cuando un router aprende el camino a una nueva red o detecta un cambio en la métrica hacia una red conocida, inmediatamente difunde esta información a sus routers vecinos, sin esperar a que transcurran el periodo de 30 segundos establecido.
 - De esta forma los cambios en la topología se propagan de forma rápida a todos los puntos de la red.

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Encaminamiento en Internet

95

■ RIP: Routing Information Protocol (12)

- Limitaciones del protocolo RIP
 - Puede generar gran cantidad de tráfico, debido a la difusión periódica de las tablas de encaminamiento
 - No admite métricas alternativas al número de saltos
 - Una vez calculadas las tablas, no se admiten caminos alternativos para equilibrar la carga de la red
 - Cuando la red crece, los cambios pueden tardar bastante tiempo en propagarse hasta todos los puntos de la red
 - Problema de la convergencia y la cuenta a infinito
 - El límite de saltos es de 15.
 - Cuando una red se encuentra a más de 15 saltos se considera inalcanzable
 - Para redes de tamaño medio/grande, este límite puede ser demasiado restrictivo
 - Los mensajes RIP de RESPONSE no incluyen información sobre máscaras
 - No soporta subredes, superredes, VLSM ni CIDR

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Encaminamiento en Internet

96

■ RIP versión 2 (1)

■ Características generales

- RIP versión 2 (RIP-2) es un protocolo de routing similar a RIP-1, pero incluye ciertas mejoras, entre las que cabe destacar las siguientes:
 - Soporte para máscaras de red
 - Permite enviar información de máscaras junto con la dirección IP
 - Soporta subredes, superredes, VLSM y CIDR
 - Soporte para multicasting
 - La difusión de información de rutas puede realizarse mediante multicasting (también mediante broadcasting)
 - Esto reduce la carga de procesamiento en aquellos routers y hosts que no están escuchando mensajes RIP-2
 - Soporte para autenticación
 - RIP-2 permite realizar la autenticación de cualquier nodo que anuncie rutas en la red
 - Esto puede evitar información de rutas fraudulenta que pueda corromper la tabla de rutas
 - Compatibilidad con RIP-1
 - Los nodos que ejecutan RIP-2 son compatibles RIP-1

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

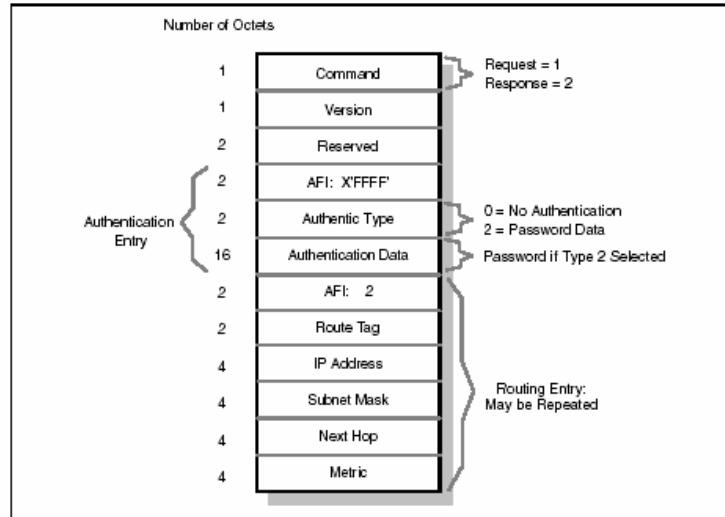
Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Encaminamiento en Internet

97

■ RIP versión 2 (2)

■ Formato del paquete RIP-2



Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano

Encaminamiento en Internet

98

■ RIP versión 2 (3)

■ Formato del paquete RIP-2 (cont)

- Version:
 - Contiene el valor 2. Los routers de tipo RIP-1 ignorarán la información de estos paquetes
- AFI (Address Family):
 - El valor hexadecimal 0x0002 indica que los campos siguientes contienen información de rutas
 - El valor hexadecimal 0xFFFF indica que el campo siguiente contiene información de autenticación
- Authentication Type:
 - El valor 0 indica no authentication.
 - El valor 2 indica que el campo siguiente contiene datos de contraseña de autenticación.
- Authentication Data:
 - Contiene una contraseña de 16 bytes
- Route Tag:
 - Este campo permite distinguir entre routers internos y externos
- IP Address
 - Dirección IP de la red destino
- Subnet Mask:
 - Este campo incluye la máscara de red asociada a la dirección IP de la red destino previamente indicada
- Next Hop:
 - Contiene una recomendación acerca de el siguiente salto (router) para los paquetes dirigidos a la red destino especificada
- Metric:
 - Distancia a la red destino (expresada en número de saltos)

Tema 5. La capa de red: el protocolo de Internet (IP); técnicas de encaminamiento.

Profesor: Rafael Moreno Vozmediano