



Bloque IV: El nivel de red

Tema 13: Enrutamiento IP avanzado



Índice

- Bloque IV: El nivel de red
 - Tema 13: Enrutamiento avanzado
 - Introducción
 - Estructura de un router
 - Tabla de enrutamiento
 - ICMP máquina o red inalcanzable
 - ICMP redirect
 - Ejemplo resumen
 - Protocolos de enrutamiento
- **Referencias**
 - Capítulo 4 de “Redes de Computadores: Un enfoque descendente basado en Internet”. James F. Kurose, Keith W. Ross. Addison Wesley, 2ª edición. 2003.
 - Capítulos 9 y 10 de “TCP/IP Illustrated, Volume 1: The Protocols”, W. Richard Stevens, Addison Wesley, 1994.

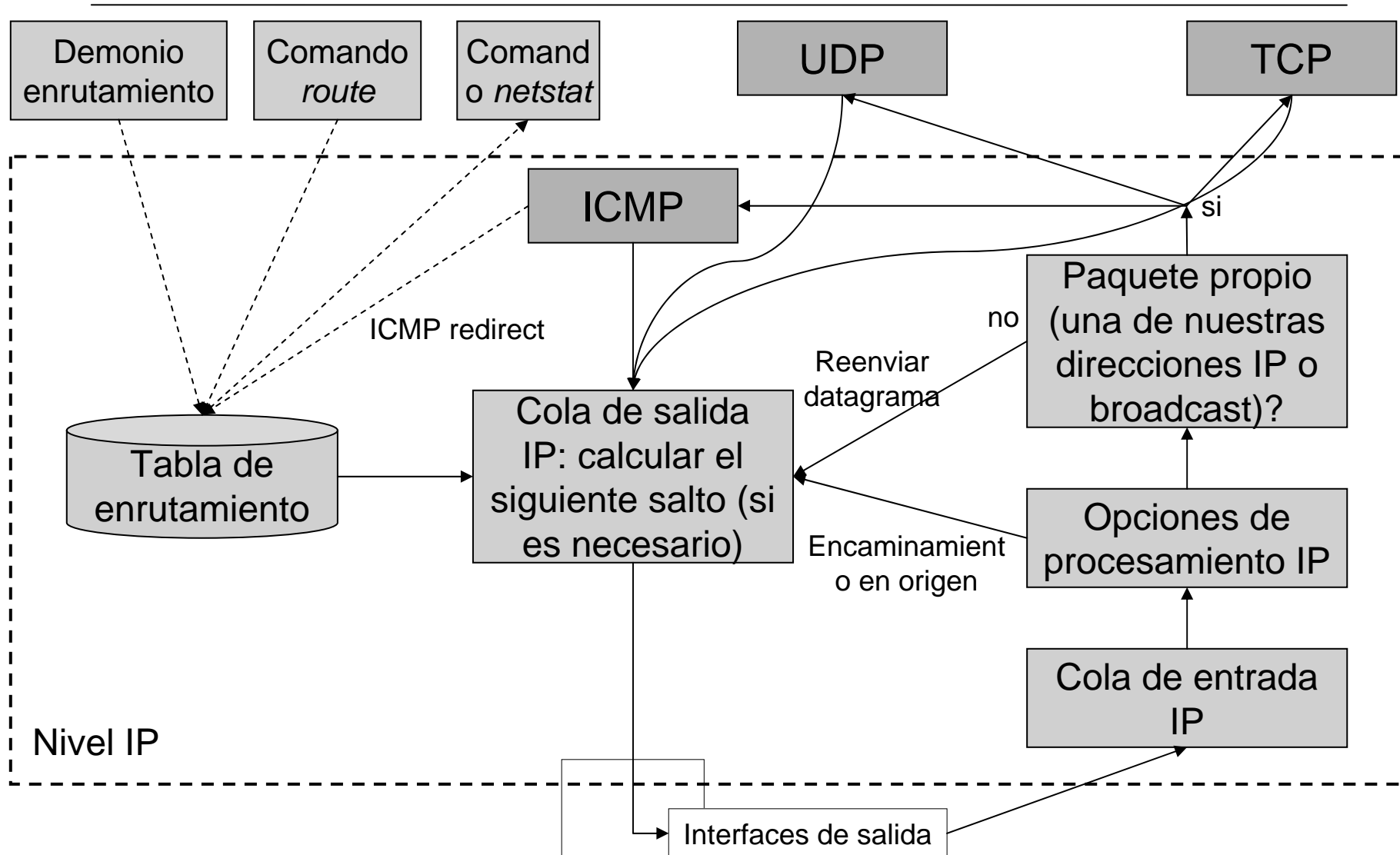


Introducción

- La función más importante del protocolo IP es la de enrutamiento.
- Los datagramas a enrutar pueden ser:
 - Generados en la máquina local.
 - O de otras máquinas → La máquina debe ser configurada como router, sino serán descartados.
- Componentes:
 - Tabla de enrutamiento: contiene la información para el enrutamiento (destino, gateway, flags, interfaz, ...)
 - Algoritmo de enrutamiento: busca en la tabla de enrutamiento una entrada que se corresponda con la dirección de destino (1º dirección exacta, 2º dirección de red, 3º default, 4º error).
 - **Demonio de enrutamiento**: proceso que se ejecuta en el router para comunicarse con sus routers vecinos.
 - Determina los cambios (altas, bajas y modificaciones) sobre la tabla de enrutamiento.
 - No cambia el algoritmo de enrutamiento.
 - Pero determina la política de enrutamiento del sistema → Elige las rutas a almacenar en la tabla de enrutamiento en función de la situación de la red.



Introducción





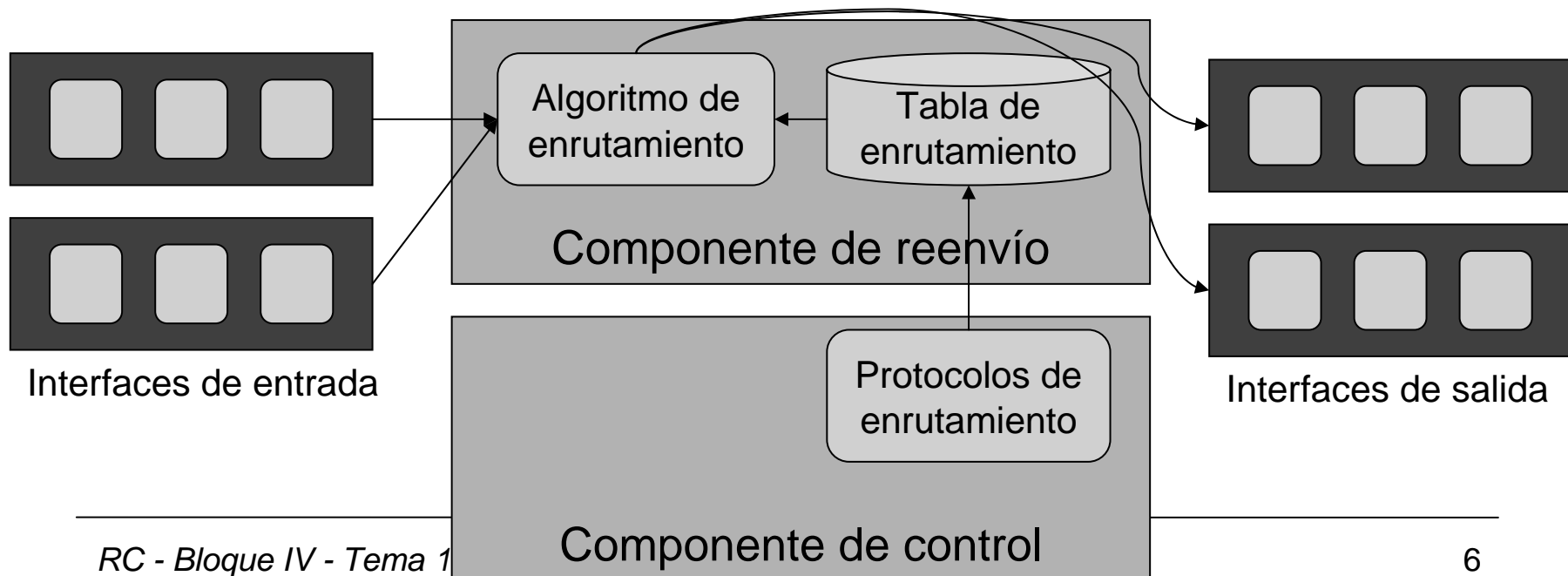
Introducción

- La tabla de enrutamiento es consultada con frecuencia por el nivel IP (del orden de 100 veces/seg.)
- Y es actualizada con menos frecuencia por el demonio de enrutamiento (del orden de cada 30 seg.).
- La tabla de enrutamiento también puede ser actualizada al recibir mensajes ICMP redirect o por medio del comando route.
 - El comando route se ejecuta con frecuencia cuando la máquina arranca para instalar rutas iniciales.
- El comando netstat permite visualizar la tabla de enrutamiento.
- **Algoritmo de enrutamiento:** busca en la tabla de enrutamiento y decide la interfaz de salida del paquete.
 1. Búsqueda de una dirección de máquina que se corresponda con la dirección IP de destino.
 2. Búsqueda de una dirección de red que se corresponda con la dirección IP de destino.
 3. Búsqueda de entrada por defecto. (Se especifica como una entrada de red, con ID = 0).
- **Política de enrutamiento:** determina que rutas se almacenan en la tabla de enrutamiento.
 - Se establece mediante el demonio de enrutamiento.
 - No cambia el algoritmo de enrutamiento.



Estructura de un router

- Componente de reenvío: reenviar los paquetes desde la interfaz de entrada a la interfaz de salida.
 - Tabla de enrutamiento + información del paquete (cabecera)
- Componente de control: responsable de la construcción y mantenimiento de la tabla de reenvío.
 - Protocolos de enrutamiento: RIP, OSPF, BGP, ...





Estructura de un router

- Componente de control:
 - Uno o más protocolos de enrutamiento para intercambio de información de enrutamiento (OSPF, BGP, ...).
 - Procedimientos para convertir esta información en las tablas de reenvío (enrutamiento): vectores de distancia, estado de los enlaces, ...
 - Se encarga de las tareas de: mantener la tabla de enrutamiento, clasificar los paquetes (en IP no se clasifican) y organizar las colas (en IP no se organizan – cola FIFO).
- Componente de reenvío:
 - Procedimientos usados por un router para decidir el reenvío de un paquete a la interfaz de salida correcta.
 - Define la información utilizada de un paquete para encaminar el paquete + el proceso de búsqueda en la tabla de enrutamiento.
 - Tareas: decrementar el TTL y re-calcular el checksum, re-escribir la cabecera del nivel de enlace, regenerar la señal física.



Tabla de enrutamiento

- Red 194.27.89.0

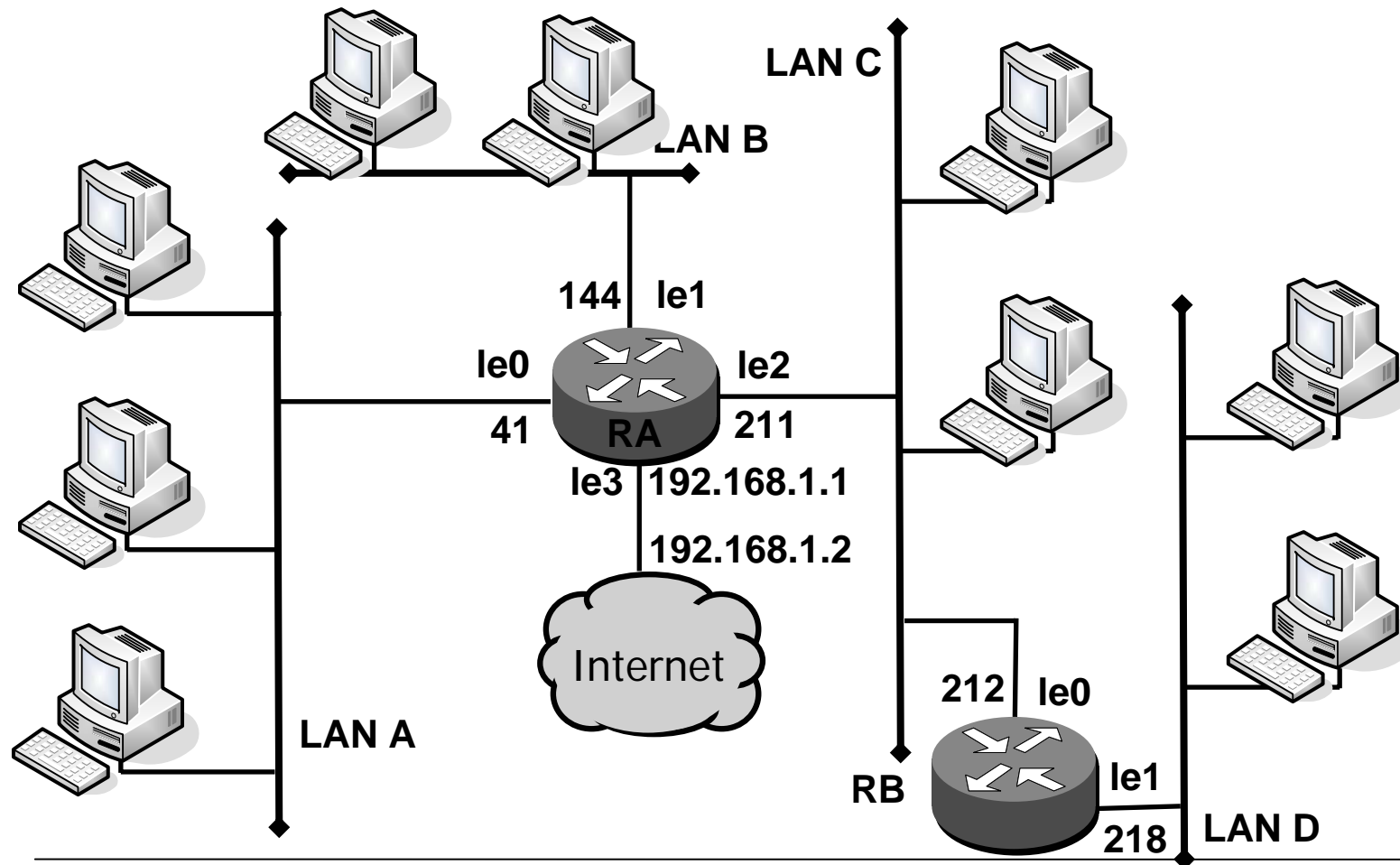




Tabla de enrutamiento

Subred	Máscara	Dir. subred	Dir. subred	Broadcast dirigido subred
A (00)	255.255.255.192	00 000000	194.27.89.0	194.27.89.63
B (10)	255.255.255.192	10 000000	194.27.89.128	194.27.89.191
C (11 010)	255.255.255.248	11 010 000	194.27.89.208	194.27.89.215
D (11 011)	255.255.255.248	11 011 000	194.27.89.216	194.27.89.223

- En la máquina 194.27.89.210/29 ejecutamos el comando que permite visualizar la tabla de enrutamiento:
- 194.27.89.210 % netstat -rn

Routing tables

Destination	Gateway	Flags	Refcnt	Use	Interface
194.27.89.216	194.27.89.212	UG	0 0		emd0
127.0.0.1	127.0.0.1	UH	1 0		lo0
default	194.27.89.211	UG	0 0		emd0
194.27.89.208	194.27.89.210	U	4 25043		emd0



Tabla de enrutamiento

- Cada entrada de la tabla de enrutamiento contiene la siguiente información:
 - **Destination:** dirección IP de destino, que puede ser un host (host ID != 0) o una dirección de red (host ID =0).
 - **Gateway:**
 - Si directamente conectado al destino → dirección IP de la interfaz de salida
 - Sino, dirección IP del siguiente router.
 - **Flags:**
 - U: La ruta está funcionando (up).
 - G: El siguiente salto es un router (gateway). Si no está este flag, indica que el destino está directamente conectado.
 - H: La ruta es hacia una máquina (host), es decir, el destino es una dir. IP completa. En caso de no estar este flag, la ruta es hacia una red.
 - D: Ruta creada por un ICMP “redirect”.
 - M: Ruta modificada por un ICMP “redirect”.
 - **Rfcnt:** columna de “Reference Count”
 - Indica el número de usos activos en cada ruta. Por ejemplo: conexiones TCP que la utilizan.
 - **Use:** número de paquetes enviados a través de esa ruta.
 - **Interface:** especificación de la interfaz de red a la que se debe pasar el datagrama para su envío.



Tabla de enrutamiento

- Flag G:
 - Afecta a la columna Gateway
 - Determina si la ruta es directa (si no está presente) o indirecta (si está presente).
 - Ruta indirecta: columna Gateway contiene la dirección IP del siguiente router → Dir. destino enlace = dir. enlace siguiente router.
 - Ruta directa: columna Gateway contiene la dirección IP de la interfaz de salida → Dir. destino enlace y dir. IP destino especifican la misma máquina.
- Flag H:
 - Afecta a la columna Destination
 - Si está presente → la dirección se corresponde con una dirección IP de un host
 - Si no está presente → la dirección se corresponde con una dirección IP de red (o subred).
- Entrada default: es la ruta por defecto.
 - Indica el router al que se envían los paquetes cuando no se encuentra una ruta específica para ese destino.
 - Cada máquina puede tener una o más rutas por defecto.



Tabla de enrutamiento

- 194.27.89.210 % netstat -rn

Routing tables

Destination	Gateway	Flags	Refcnt	Use	Interface	Interfaz de
194.27.89.216	194.27.89.212	UG	0	0	emd0	loopback
127.0.0.1	127.0.0.1	UH	1	0	lo0	loopback
default	194.27.89.211	UG	0	0	emd0	Ethernet
194.27.89.208	194.27.89.210	U	4	25043	emd0	Ethernet

Directamente conectados

- Datagrama destino 194.27.89.213 → 194.27.89.213 & 255.255.255.248 = 194.27.89.208
- Datagrama destino 194.27.89.44 → Id. red = 194.27.89.0 → Default



Tabla de enrutamiento: Ejemplo

- ¿Cómo es la tabla de enrutamiento de 194.27.89.217?

Routing tables

Destination	Gateway	Flags	Refcnt	Use	Interface
127.0.0.1	127.0.0.1	UH	0	0	lo0
194.27.89.216	194.27.89.217	U	0	0	emd0
default	194.27.89.218	UG	0	0	emd0

- ¿Y la de 194.27.89.137?

Routing tables

Destination	Gateway	Flags	Refcnt	Use	Interface
127.0.0.1	127.0.0.1	UH	0	0	lo0
194.27.89.128	194.27.89.137	U	0	0	emd0
default	194.27.89.144	UG	0	0	emd0



Tabla de enrutamiento: Ejemplo

- ¿Cómo es la tabla de enrutamiento de RB?

Routing tables

Destination	Gateway	Flags	Refcnt	Use	Interface
127.0.0.1	127.0.0.1	UH	0 0		lo0
194.27.89.208	194.27.89.212	U	0 0		le0
194.27.89.216	194.27.89.218	U	0 0		le1
default	194.27.89.211	UG	0 0		le0

- ¿Cómo es la tabla de enrutamiento de RA?

Routing tables

Destination	Gateway	Flags	Refcnt	Use	Interface
127.0.0.1	127.0.0.1	UH	0	0	lo0
194.27.89.0	194.27.89.41	U	0	0	le0
194.27.89.128	194.27.89.144	U	0	0	le1
194.27.89.208	194.27.89.211	U	0	0	le2
192.168.1.2	192.168.1.1	UH	0	0	le3
default	192.168.1.2	UG	0	0	le3
194.27.89.216	194.27.89.212	UG	0	0	le2



Tabla de enrutamiento: Ejemplo

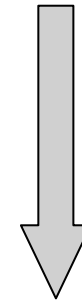
- RA recibe un datagrama destinado a 194.27.89.217, ¿qué máscara aplicará?
- Cada entrada de la tabla de enrutamiento tiene una máscara de subred implícitamente asociada:
 - IP conoce la **interfaz** de red asociada con cada entrada de la tabla de enrutamiento (le0, le1, ...)
 - Cada interfaz tiene asociada una dirección IP y una **máscara de subred**.



Tabla de enrutamiento: Ejemplo

Routing tables

Destination	Gateway	Flags	Refcnt	Use	Interface
127.0.0.1	127.0.0.1	UH	0	0	lo0
<u>194.27.89.0</u>	194.27.89.41	U	0	0	le0 → 255.255.255.192
194.27.89.128	194.27.89.144	U	0	0	le1
194.27.89.208	194.27.89.211	U	0	0	le2
192.168.1.2	192.168.1.1	UH	0	0	le3
default	192.168.1.2	UG	0	0	le3
194.27.89.216	194.27.89.212	UG	0	0	le2



& 194.27.89.217

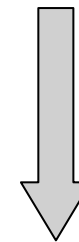
→ 194.27.89.0 != 194.27.89.192



Tabla de enrutamiento: Ejemplo

Routing tables

Destination	Gateway	Flags	Refcnt	Use	Interface
127.0.0.1	127.0.0.1	UH	0	0	lo0
194.27.89.0	194.27.89.41	U	0	0	le0
194.27.89.128	194.27.89.144	U	0	0	le1 → 255.255.255.192
194.27.89.208	194.27.89.211	U	0	0	le2
192.168.1.2	192.168.1.1	UH	0	0	le3
default	192.168.1.2	UG	0	0	le3
194.27.89.216	194.27.89.212	UG	0	0	le2



& 194.27.89.217

→ 194.27.89.128 != 194.27.89.192



Tabla de enrutamiento: Ejemplo

Routing tables

Destination	Gateway	Flags	Refcnt	Use	Interface
127.0.0.1	127.0.0.1	UH	0	0	lo0
194.27.89.0	194.27.89.41	U	0	0	le0
194.27.89.128	194.27.89.144	U	0	0	le1
194.27.89.208	194.27.89.211	U	0	0	le2 → 255.255.255.248
192.168.1.2	192.168.1.1	UH	0	0	le3
default	192.168.1.2	UG	0	0	le3
194.27.89.216	194.27.89.212	UG	0	0	le2



& 194.27.89.217

→ 194.27.89.208 != 194.27.89.216



Tabla de enrutamiento: Ejemplo

Routing tables

Destination	Gateway	Flags	Refcnt	Use	Interface
127.0.0.1	127.0.0.1	UH	0	0	lo0
194.27.89.0	194.27.89.41	U	0	0	le0
194.27.89.128	194.27.89.144	U	0	0	le1
194.27.89.208	194.27.89.211	U	0	0	le2
192.168.1.2	192.168.1.1	UH	0	0	le3
default	192.168.1.2	UG	0	0	le3
194.27.89.216	194.27.89.212	UG	0	0	le2 → 255.255.255.248



& 194.27.89.217

→ **194.27.89.216 == 194.27.89.216**



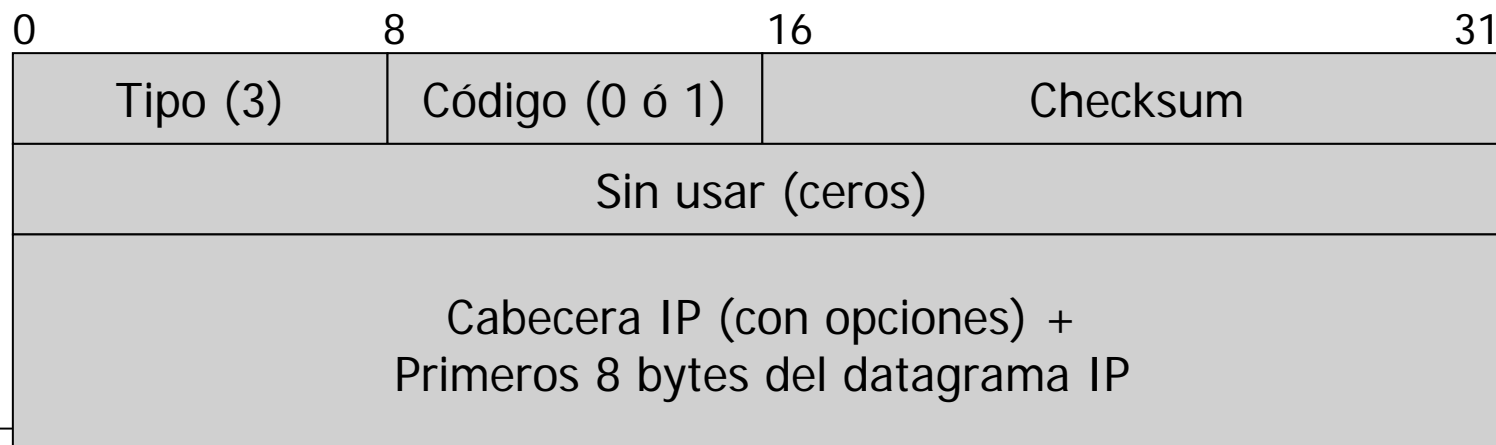
Tabla de enrutamiento: Inicialización

- Rutas directas:
 - Se crea una ruta para cada interfaz → Durante el proceso de arranque, mediante el comando `ifconfig`.
 - Si es de broadcast, se creará una entrada en la tabla de enrutamiento con la dirección de la red.
 - Si es de loopback o punto a punto, se creará una entrada con la dirección de la máquina del otro extremo.
- Rutas indirectas:
 - Se definen explícitamente mediante el comando `route`:
 - `route add default 192.168.1.2 1`
 - `route add 194.27.89.216 194.27.89.212 1`
- Otras formas de inicializar la tabla de enrutamiento
 - Ejecución de un demonio de enrutamiento.
 - Usar un protocolo de descubrimiento de nuevos routers.



ICMP máquina o red inalcanzable

- Paso 4 del algoritmo de enrutamiento → Lo envía un router cuando no puede entregar o reenviar un datagrama IP.
- El router que reenvíe el mensaje no debe contener una entrada por defecto en su tabla de enrutamiento → Esto sólo sucede en los routers del *top-level routing domain*. Estos son algunos:
 - NFSNET backbone
 - CIX: Commercial Internet Exchange
 - NSI: NASA Science Internet
 - SprintLink
 - EBONE: European IP Backbone
- Mensaje ICMP de máquina (código 1) o red inalcanzable (código 0)





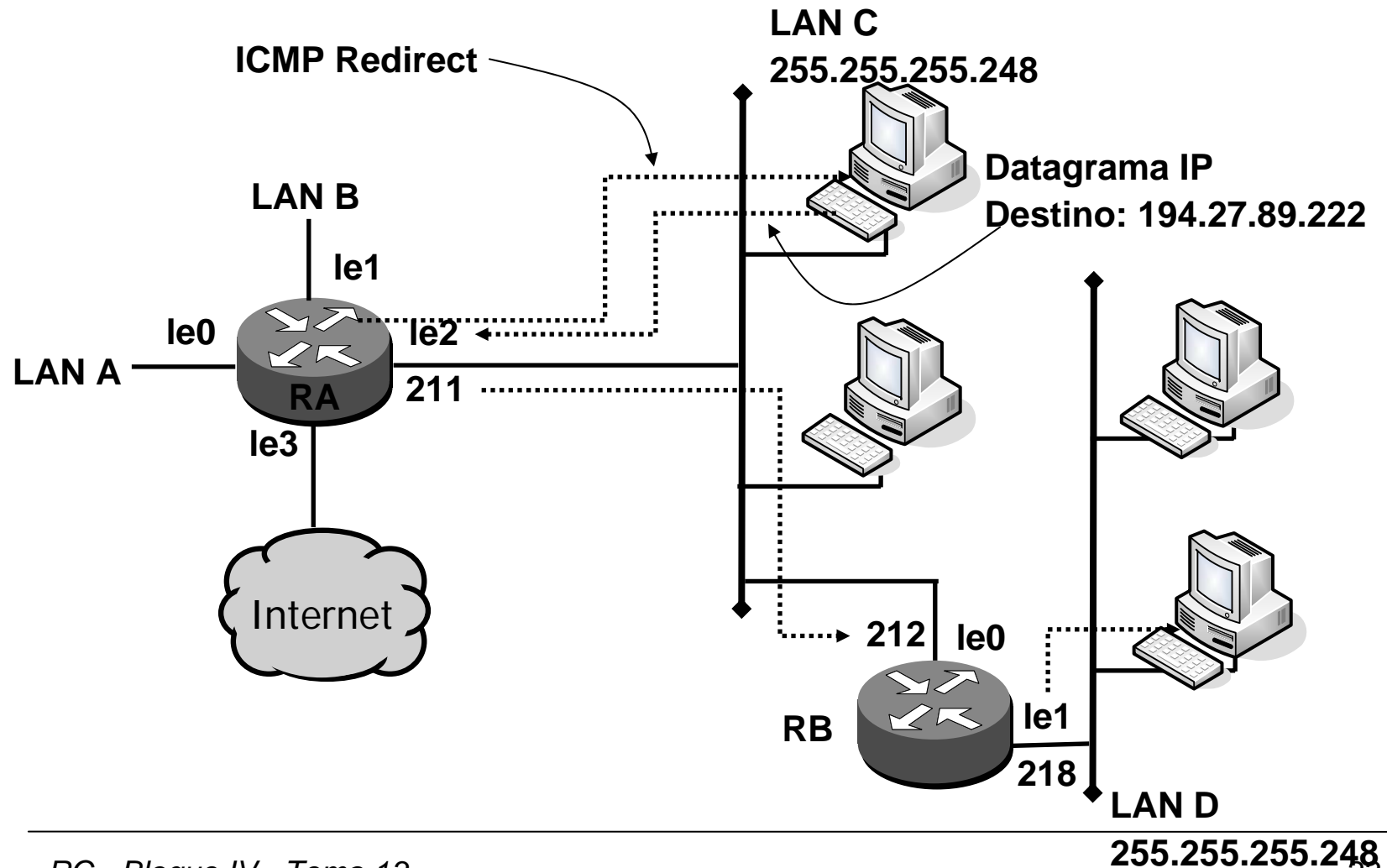
ICMP Redirect

- Mensaje de error ICMP que envía un router al remitente de un datagrama IP que debería haber sido enviado a otro router.
 - Sólo generados por routers, no por máquinas.
 - Sólo son utilizados por máquinas, no por routers.
- Esto sólo puede ocurrir cuando haya varias posibilidades de router intermedio para la máquina que hace el envío.
- De esta forma, una máquina puede comenzar con una tabla de enrutamiento mínima (sólo el router por defecto), y construir una tabla más completa usando los ICMP redirects.
- Flags de la tabla de enrutamiento del redirect:
 - D: Ruta creada por un ICMP redirect
 - M: Ruta modificada por un ICMP redirect
- Se genera un mensaje ICMP redirect cuando:
 - La interfaz de salida = interfaz de entrada
 - La ruta utilizada por un redirect no se ha modificado o creado por un redirect y no es la ruta por defecto.
 - El datagrama no usa enrutamiento en origen



ICMP Redirect

- Red 194.27.89.0 (ping desde 210 a 222)





ICMP Redirect

- 194.27.89.210 % netstat -rn (antes ping)

Routing tables

Destination	Gateway	Flags	Refcnt	Use	Interface
127.0.0.1	127.0.0.1	UH	1	0	lo0
default	194.27.89.211	UG	0	0	emd0
194.27.89.208	194.27.89.210	U	4	25043	emd0

- 194.27.89.210 % netstat -rn (después redirect)

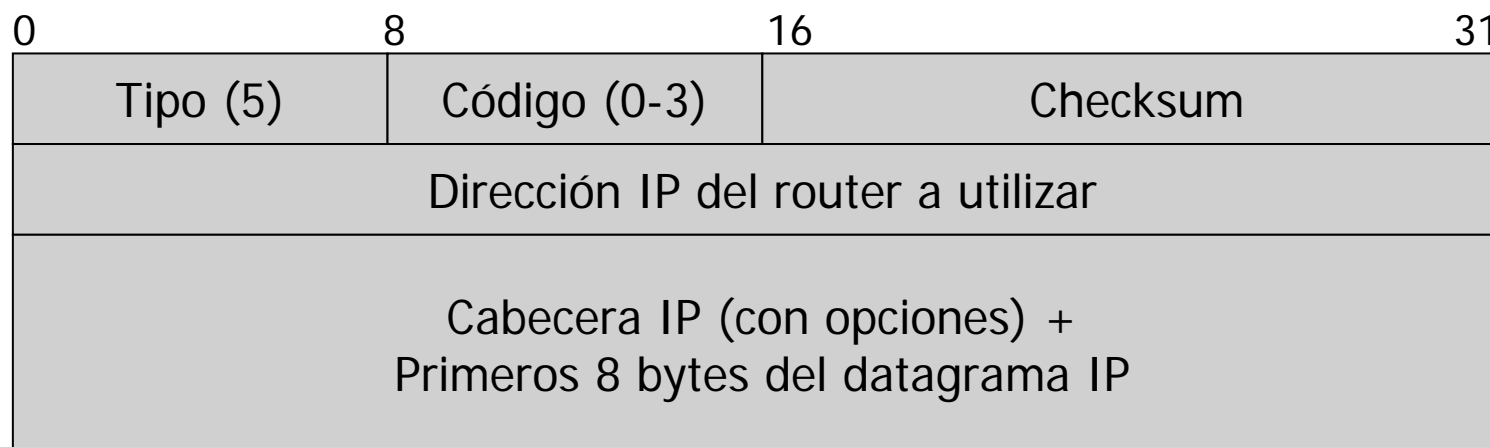
Routing tables

Destination	Gateway	Flags	Refcnt	Use	Interface
194.27.89.216	194.27.89.212	UG D	0	0	emd0
127.0.0.1	127.0.0.1	UH	1	0	lo0
default	194.27.89.211	UG	0	0	emd0
194.27.89.208	194.27.89.210	U	4	25043	emd0



ICMP Redirect

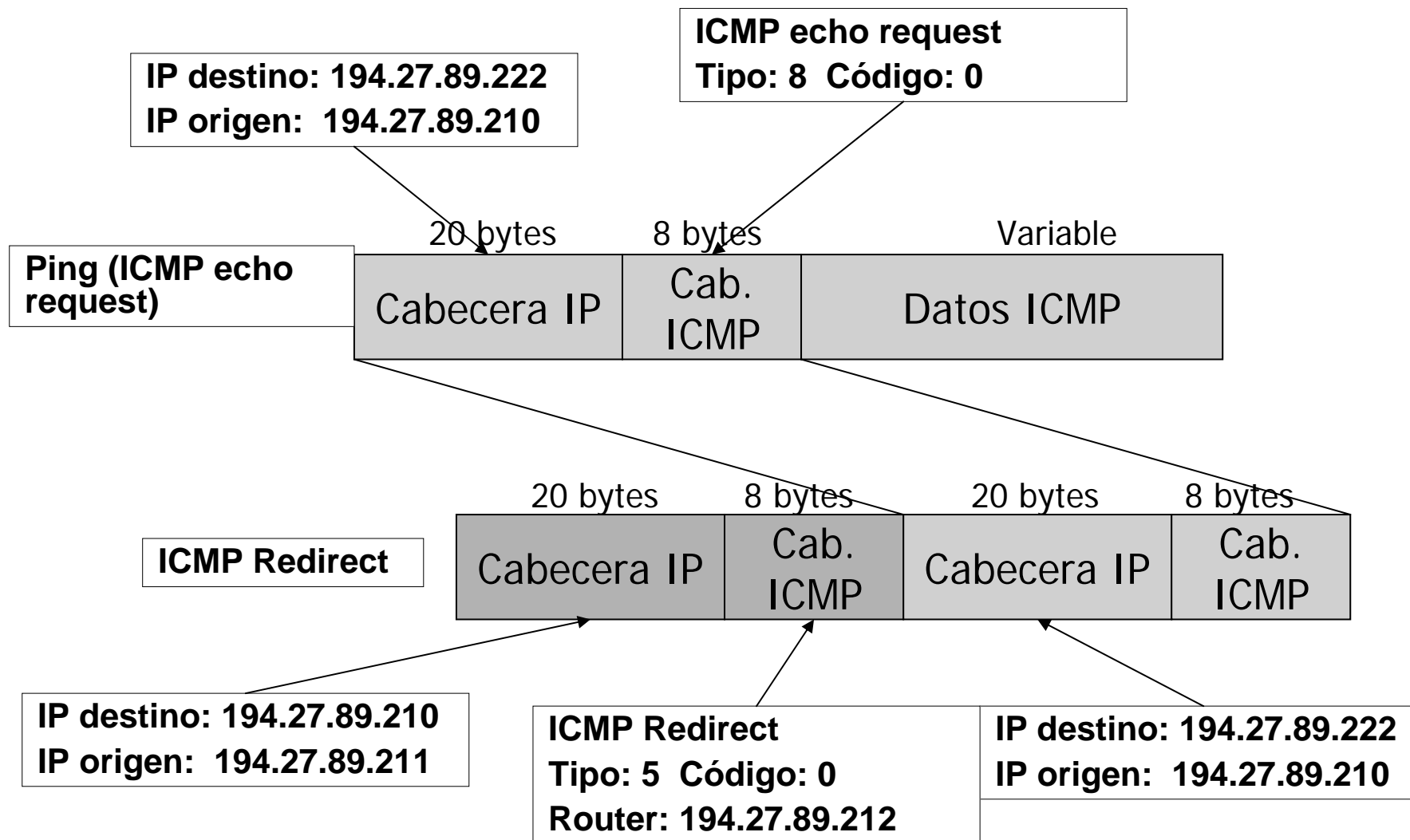
- Mensaje ICMP Redirect
 - Código 0: redirect para una red
 - Código 1: redirect para un host
 - Código 2: redirect para TOS y red
 - Código 3: redirect para TOS y host



- El receptor de un mensaje ICMP de redirect debe mirar a tres direcciones IP:
 - La dirección IP que causó la redirección (en la cabecera IP de la porción de datos del ICMP redirect).
 - La dirección IP del router que envió el redirect (dirección IP fuente del datagrama IP que contiene el redirect).
 - La dirección IP del router que deber ser utilizado.



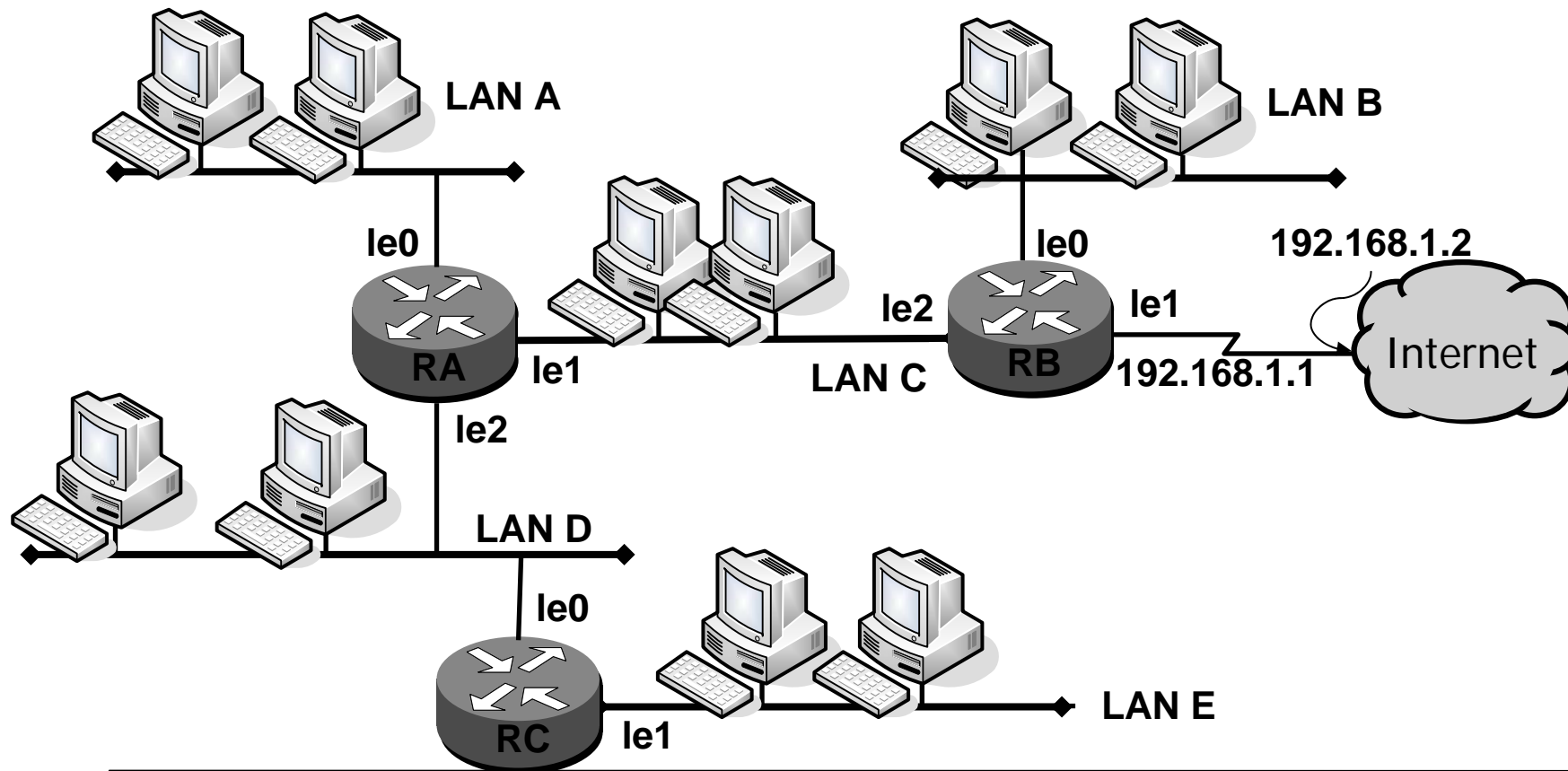
ICMP Redirect





Enrutamiento IP avanzado: Ejemplo

- Red 193.43.67.0





Enrutamiento IP avanzado: Ejemplo resumen

• 50 = 0011 0010
• 62 = 0011 1110
• 177 = 1011 0001
• 190 = 1011 1110
• 67 = 0100 0011
• 73 = 0100 1001
• 129 = 1000 0001
• 141 = 1000 1101
• 147 = 1001 0011
• 154 = 1001 1010

- Todas las subredes misma máscara de subred.
- Solución:
 - Id. de subred: 4 bits → Identificamos a la subredes A, B, C, D y E.
- Máscara para LAN A, B, C, D y E: 4 bits
 - 1111 0000 (240) → 255.255.255.240

Enrutamiento IP avanzado: Ejemplo resumen



Subred	Máscara	Dir. subred	Broadcast dirigido subred
A (0011)	255.255.255.240	193.43.67.48	193.43.67.63
B (1011)	255.255.255.240	193.43.67.176	193.43.67.191
C (0100)	255.255.255.240	193.43.67.64	193.43.67.79
D (1000)	255.255.255.240	193.43.67.128	193.43.67.143
E (1001)	255.255.255.240	193.43.67.144	193.43.67.159

- Direcciones RA:
 - le0: 193.43.67.49
 - le1: 193.43.67.65
 - le2: 193.43.67.130
- Direcciones RC
 - le0: 193.43.67.131
 - le1: 193.43.67.145

- Direcciones RB:
 - le0: 193.43.67.178
 - le2: 193.43.67.66



Enrutamiento IP avanzado: Ejemplo resumen

- ¿Cómo es la tabla de enrutamiento de RA?

Routing tables

Destination	Gateway	Flags	Refcnt	Use	Interface
127.0.0.1	127.0.0.1	UH	0	0	lo0
193.43.67.48	193.43.67.49	U	0	0	le0
193.43.67.64	193.43.67.65	U	0	0	le1
193.43.67.128	193.43.67.130	U	0	0	le2
default	193.43.67.66	UG	0	0	le1
193.43.67.144	193.43.67.131	UG	0	0	le2

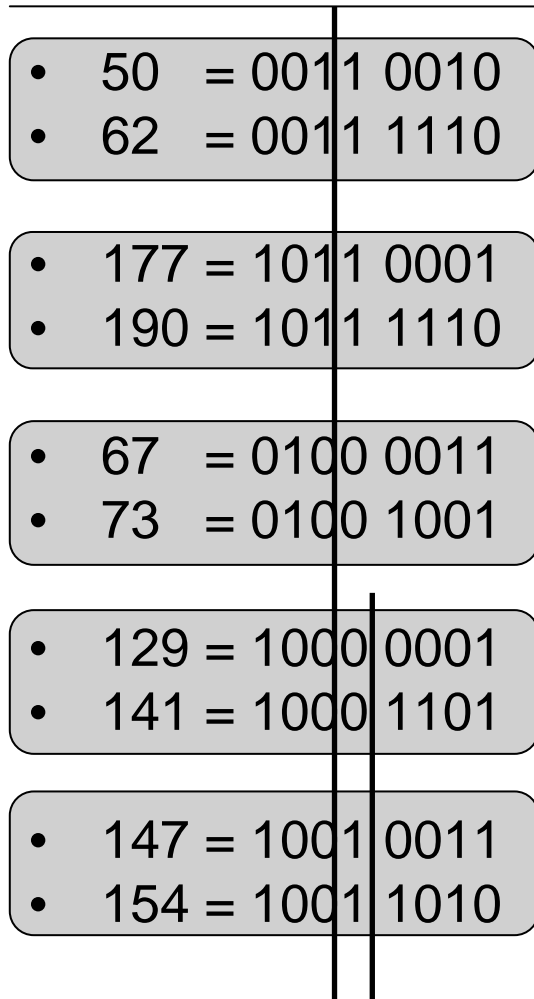
- ¿Cómo es la tabla de enrutamiento de RB?

Routing tables

Destination	Gateway	Flags	Refcnt	Use	Interface
127.0.0.1	127.0.0.1	UH	0	0	lo0
193.43.67.176	193.43.67.178	U	0	0	le0
192.168.1.2	192.168.1.1	UH	0	0	le1
193.43.67.64	193.43.67.66	U	0	0	le2
default	192.168.1.2	UG	0	0	le1
193.43.67.48	193.43.67.65	UG	0	0	le2
193.43.67.128	193.43.67.65	UG	0	0	le2
193.43.67.144	193.43.67.65	UG	0	0	le2



Enrutamiento IP avanzado: Ejemplo resumen



- Las subredes D y E deben ser vistas como una única subred desde RB.
- Solución:
 - Primer nivel: 3 bits.
 - Identificamos a las subredes A, B, C y D+E.
 - Segundo nivel: 4 bits (D y E)
 - Identificamos a las subredes D y E
- Máscara para LAN A, B y C: 3 bits
 - 111 00000 (224) → 255.255.255.224
- Máscara para LAN D y E: 4 bits
 - 1111 0000 (240) → 255.255.255.240

Enrutamiento IP avanzado: Ejemplo resumen



Subred	Máscara	Dir. subred	Broadcast dirigido subred
A (001)	255.255.255.224	193.43.67.32	193.43.67.63
B (101)	255.255.255.224	193.43.67.160	193.43.67.191
C (010)	255.255.255.224	193.43.67.64	193.43.67.95
D (1000)	255.255.255.240	193.43.67.128	193.43.67.143
E (1001)	255.255.255.240	193.43.67.144	193.43.67.159

- Direcciones RA:
 - le0: 193.43.67.49
 - le1: 193.43.67.65
 - le2: 193.43.67.130
- Direcciones RC
 - le0: 193.43.67.131
 - le1: 193.43.67.145
- Direcciones RB:
 - le0: 193.43.67.178
 - le2: 193.43.67.66
- Siguen siendo válidas las de antes.

Enrutamiento IP avanzado: Ejemplo resumen



- ¿En qué cambia la tabla de enrutamiento de RA?

Routing tables

Destination	Gateway	Flags	Refcnt	Use	Interface
127.0.0.1	127.0.0.1	UH	0	0	lo0
193.43.67.32	193.43.67.49	U	0	0	le0
193.43.67.64	193.43.67.65	U	0	0	le1
193.43.67.128	193.43.67.130	U	0	0	le2
default	193.43.67.66	UG	0	0	le1
193.43.67.144	193.43.67.131	UG	0	0	le2

- ¿ En qué cambia la tabla de enrutamiento de RB?

Routing tables

Destination	Gateway	Flags	Refcnt	Use	Interface
127.0.0.1	127.0.0.1	UH	0	0	lo0
193.43.67.160	193.43.67.178	U	0	0	le0
192.168.1.2	192.168.1.1	UH	0	0	le1
193.43.67.64	193.43.67.66	U	0	0	le2
default	192.168.1.2	UG	0	0	le1
193.43.67.32	193.43.67.65	UG	0	0	le2
193.43.67.128	193.43.67.65	UG	0	0	le2
193.43.67.144	193.43.67.65	UG	0	0	le2

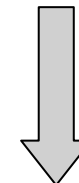


Enrutamiento IP avanzado: Ejemplo resumen

- RA recibe un datagrama destinado a 193.43.67.154. ¿Qué máscara aplicará y por qué entrada se enrutará?

Routing tables

Destination	Gateway	Flags	Refcnt	Use	Interface
127.0.0.1	127.0.0.1	UH	0	0	lo0
193.43.67.32	193.43.67.49	U	0	0	le0 → 255.255.255.224
193.43.67.64	193.43.67.65	U	0	0	le1
193.43.67.128	193.43.67.130	U	0	0	le2
default	193.43.67.66	UG	0	0	le1
193.43.67.144	193.43.67.131	UG	0	0	le2



& 193.43.67.154

→ 193.43.67.32 != 193.43.67.128



Enrutamiento IP avanzado: Ejemplo resumen

- RA recibe un datagrama destinado a 193.43.67.154. ¿Qué máscara aplicará y por qué entrada se enrutará?

Routing tables

Destination	Gateway	Flags	Refcnt	Use	Interface
127.0.0.1	127.0.0.1	UH	0	0	lo0
193.43.67.32	193.43.67.49	U	0	0	le0
193.43.67.64	193.43.67.65	U	0	0	le1 → 255.255.255.224
193.43.67.128	193.43.67.130	U	0	0	le2
default	193.43.67.66	UG	0	0	le1
193.43.67.144	193.43.67.131	UG	0	0	le2

↓

& 193.43.67.154

→ 193.43.67.64 != 193.43.67.128



Enrutamiento IP avanzado: Ejemplo resumen

- RA recibe un datagrama destinado a 193.43.67.154. ¿Qué máscara aplicará y por qué entrada se enrutará?

Routing tables

Destination	Gateway	Flags	Refcnt	Use	Interface
127.0.0.1	127.0.0.1	UH	0	0	lo0
193.43.67.32	193.43.67.49	U	0	0	le0
193.43.67.64	193.43.67.65	U	0	0	le1
193.43.67.128	193.43.67.130	U	0	0	le2 → 255.255.255.224
default	193.43.67.66	UG	0	0	le1
193.43.67.144	193.43.67.131	UG	0	0	le2

↓
& 193.43.67.154
→ 193.43.67.128 != 193.43.67.144



Enrutamiento IP avanzado: Ejemplo resumen

- RA recibe un datagrama destinado a 193.43.67.154. ¿Qué máscara aplicará y por qué entrada se enrutará?

Routing tables

Destination	Gateway	Flags	Refcnt	Use	Interface
127.0.0.1	127.0.0.1	UH	0	0	lo0
193.43.67.32	193.43.67.49	U	0	0	le0
193.43.67.64	193.43.67.65	U	0	0	le1
193.43.67.128	193.43.67.130	U	0	0	le2
default	193.43.67.66	UG	0	0	le1
193.43.67.144	193.43.67.131	UG	0	0	le2 → 255.255.255.224 & <u>193.43.67.154</u>

→ 193.43.67.144 == 193.43.67.144



Protocolos de enrutamiento

- Protocolos de enrutamiento (dinámico): utilizado por los routers para comunicarse entre ellos:
 - Necesarios con redes grandes, cuando hay más de un punto de conexión o hay routers redundantes (backup).
 - Un router informa a los routers adyacentes de qué redes tiene conectadas en ese momento.
 - El demonio de enrutamiento es el proceso que corre en el router que ejecuta el protocolo de enrutamiento y comunica con sus routers vecinos.
 - El demonio de enrutamiento no cambia el algoritmo de enrutamiento, pero añade una política de enrutamiento al sistema, eligiendo las rutas a almacenar en la tabla de enrutamiento en función de la situación de la red.
- Internet está formada por una colección de sistemas autónomos (AS) administrados por un único responsable.
- Un Sistema Autónomo (AS) está formado por un conjunto de routers que tienen:
 - Un protocolo de enrutamiento común
 - Una gestión común
- Normalmente cada proveedor u organización tiene al menos un sistema autónomo (a veces varios).



Protocolos de enrutamiento

- El AS se identifica por un número de 16 bits. Los números de AS los asignan los RIR (Registros Regionales).
- Sistema autónomo y dominios de enrutamiento
 - SA: red de una organización, posiblemente con varios protocolos de enrutamiento.
 - Dominio de enrutamiento: routers y redes que comparten un mismo protocolo de enrutamiento.
- Cada sistema autónomo elige el protocolo de enrutamiento que le interesa a nivel interno – IGP (Interior Gateway Protocol):
 - RIP: Routing Information Protocol
 - OSPF: Open Shortest Path First
- Y también se intercambia información entre AS's – EGP (Exterior Gateway Protocol):
 - BGP: Border Gateway Protocol
- Además se ha definido CIDR (Classless Interdomain Routing), que surge como medida para solucionar temporalmente el aumento de tamaño de las tablas de enrutamiento



Protocolos de enrutamiento

- Los distintos protocolos de enrutamiento se basan en medir el coste asociado a cada ruta.
- Algunas medidas de costes asociadas a las rutas son:
 - Saltos: número de redes que atraviesa un datagrama.
 - Ancho de banda: en bits por segundo.
 - Retardo: tiempo empleado por un router en procesar, poner en cola y transmitir un datagrama (en microsegundos).
 - Fiabilidad: mide errores en los enlaces (caídas, pérdidas de paquetes, ...). Se mide dinámicamente a lo largo de un período (p.e. 5 segs). Valores entre 255 (muy fiable) y 1 (poco fiable).
 - Carga: medida de la carga de un enlace durante un período determinado (p.e. 5 segs). Valores entre 255 (100% de carga) y 1.
 - Coste: valores arbitrarios especificados por los administradores. Cuanto más bajo mejor es el camino.



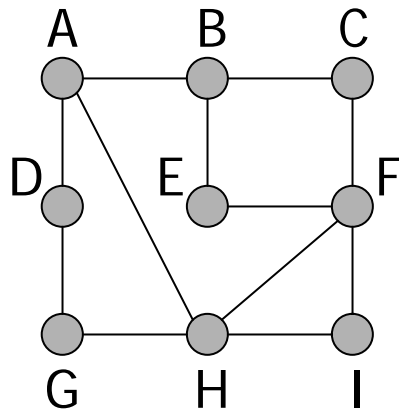
Protocolos de enrutamiento

- Las características más relevantes a la hora de seleccionar un protocolo de enrutamiento son:
 - Actualización de las rutas: broadcast o multicast; y actualizaciones periódicas o ante eventos.
 - Medidas usadas para determinar el mejor camino a un destino.
 - Máscaras de subredes: posibilidad de trabajar con subredes y superredes.
 - ToS: capacidad para tomar decisiones de enrutamiento en base al campo ToS de IP.
 - Balanceo de carga ante caminos con un coste igual o similar.
 - Diámetro máximo de la red: distancia que puede recorrer un datagrama antes de ser descartado.
 - Autenticación: todos los routers deben utilizar la misma password para intercambiar información.
 - Convergencia: tiempo desde que todos los routers han procesado las actualizaciones de las rutas y modificado sus tablas de enrutamiento.



IGP: RIP

- Routing Information Protocol
 - Especificación RFC 1058
- Protocolo de Enrutamiento por Vector de Distancias:
 - Desarrollado por Bellman, 1957 y Ford y Fulkerson, 1962.
 - Propaga rápido las buenas noticias pero lentamente las malas.



	A	F	G	I
A	0	30	21	51
B	12	21	29	43
C	25	9	40	25
D	14	52	14	27
E	40	11	40	23
F	45	0	38	14
G	18	35	0	21
H	26	15	13	12
I	42	12	22	0

Nueva tabla de enrutamiento de H

8	A
20	A
19	F
22	A
21	F
10	F
12	G
-	-
6	I

Retardo desde H 8 10 12 6

Nuevo retardo desde H⁴²



IGP: RIP

- Los mensajes RIP se transmiten como datagramas UDP (puerto 520).
- Las entradas se mantienen en la tabla hasta ser actualizadas cuando una mejor distancia es recibida.
- Si no se recibe información sobre un router en 180 segundos la entrada en la tabla es borrada.
- La selección de las rutas se hace en base al número de saltos.
- Inconvenientes de RIPv1:
 - Difusiones basadas en broadcast.
 - Envío de las tablas de enrutamiento completas.
 - Tiempo de convergencia bastante elevado → Creación de bucles.
 - Válido para redes pequeñas → Rutas de máximo 15 saltos.
 - No entiende los conceptos de subredes y máscaras de subred. Sólo las clases de direcciones IP (A, B, C).
 - Las rutas óptimas se calculan únicamente en base al número de saltos.
- RIP v2 (RFC-2453) define extensiones para RIP.
 - Es compatible con RIP v1.
 - Incorpora la máscara para las direcciones destino en la tabla de enrutamiento, permitiendo el uso de subredes y superredes (CIDR).
 - Permite autenticación de los routers durante los mensajes de actualización.
 - Permite la definición de dominios de enrutamiento (Sistemas Autónomos).
 - Introduce la opción de utilizar multicast para el envío de mensajes de actualización sólo a los miembros del grupo de routers en un segmento (224.0.0.9).



IGP: OSPF

- OSPF: Open Shortest Path First
- OSPF es un protocolo basado en los estados de los enlaces mientras que RIP se basa en vectores de distancias.
- El hecho de estar basado en el estado de los enlaces hace que las estabilizaciones por caídas temporales de nodos se realicen con mucha mayor velocidad.
 - Además OSPF utiliza IP directamente, sin TCP o UDP.
- Trata de paliar las deficiencias de RIP.
- Especificado en su versión 2 en el RFC 1247.
- Principales características características:
 - Soporta multicast (224.0.0.5 para todos los routers OSPF y 224.0.0.6 para los routers designados y backup).
 - Rápida convergencia: triggered updates e inundación.
 - Soporte de máscaras de subred.
 - Soporte de varias métricas: ancho de banda, fiabilidad, carga y retardo.
 - QoS
 - Autenticación
 - Balanceo de carga a través de varias rutas hacia un mismo destino.



IGP: OSPF

- Ventajas OSPF sobre RIP:
 - En función del TOS IP puede calcular rutas alternativas.
 - No hay un límite en el número de saltos de la red.
 - Cada interfaz tiene asignado un “coste de comunicaciones” basado en criterios de conectividad, capacidad, RTT, ...
 - A igualdad de costes el tráfico se distribuye entre las rutas (balanceo de las rutas).
 - Soporta máscaras de subred.
 - Los enlaces entre routers punto a punto no precisan de dirección IP (redes sin numeración).
 - Se puede utilizar un esquema de autenticación bastante simple, similar al de RIP-2.
 - Utiliza multicasting en lugar de broadcasting.



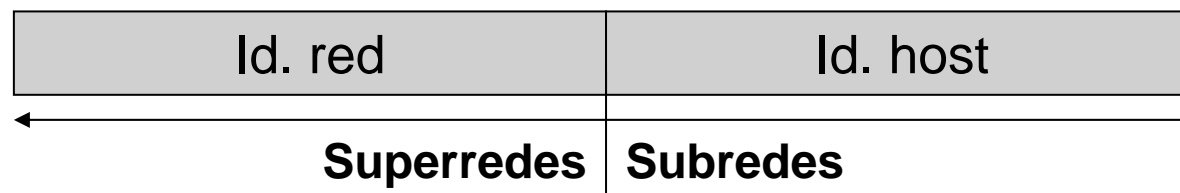
EGP: BGP

- Border Gateway Protocol
- Especificación:
 - RFC 1267 (versión 3) y RFC 1771 (versión 4)
 - RFC 1268 (uso de BGP en Internet)
- Un sistema BGP intercambia información de accesibilidad de red con otros sistemas BGP.
 - Permite un grafo de conectividad de AS's.
- La topología global de la Internet se puede ver como una interconexión arbitraria de sistemas autónomos.
- Tipos de sistemas autónomos (AS's):
 - AS stub: tiene una única conexión con otro sistema autónomo. Sólo soporta tráfico local.
 - AS multihomed: tiene conexiones a más de un sistema autónomo pero rehúsa soportar tráfico de tránsito.
 - AS de tránsito: tiene más de una conexión a otros AS's y está diseñado para soportar tráfico local y de tránsito.
- Objetivo de BGP: reducir al máximo el tráfico de tránsito → Sólo utilizan BGP los SAs de tránsito.



CIDR

- Classless Interdomain Routing
- Direcciones IP de clase B se están agotando → Se asignan direcciones clase C a sitios con demandas de redes tipo B → Aumento vertiginoso de las tablas de enrutamiento.
- CIDR (especificado en los RFC 1518 y 1519), también denominado superredes (“supernetting”) previene este problema (aunque no deja de ser una solución temporal).
- Las superredes se definen mediante máscaras:
 - Red 194.10.160.0/20 (máscara 255.255.240.0)
 - Incluye las redes clase C: 194.10.160.0/24 hasta 194.10.175.0/24 (16 redes)





CIDR

- La base de CIDR es la agregación: colocar redes tipo C conectadas a un mismo punto con los mismos bits más significativos.
- Por ejemplo, el RFC 1466 propone la siguiente división por zonas geográficas:
 - Europa: 194.0.0.0 - 195.255.255.255
 - Otros: 196.0.0.0 - 197.255.255.255
 - Norteamérica: 198.0.0.0 - 199.255.255.255
 - Centro y Sudamérica: 200.0.0.0 - 201.255.255.255
 - Anillo Pacífico: 202.0.0.0 - 203.255.255.255
- Las redes tipo C europeas serían las 194.0.0.0/7 (máscara 254.0.0.0)
 - Con una sola entrada en las tablas de enrutamiento (fuera de Europa) se engloban 65535 redes tipo C.
- La palabra classless viene dada ya que las clases de direcciones IP (A, B o C) no se tienen en cuenta → Se utiliza la dirección completa y máscaras de 32 bits.
- Enrutamiento basado en **longest match prefix**: en caso de dos entradas correctas en una tabla de enrutamiento se selecciona la máscara de “mayor longitud” (más unos).
- Por ejemplo:
 - Europa → 194.0.0.0/7
 - Galicia → 194.10.160.0/20
- Se selecciona la entrada 194.10.160.0/20 → Proporciona un acceso más directo