

Internetworking

IP



Teoría de las Comunicaciones



Departamento de Computación
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Buenos Aires

Parte II
13.09.2017

Sumario

- ¿Dónde estamos? Revisión de conceptos.
- Internetworking IP.
- Direcciones IP.
- Forwarding (o ruteo) de datagramas en IP.
- Configuraciones típicas.
- Subredes IP.
- Bibliografía:
 - Principal: Computer Networks. Peterson & Davie. 5º edición.
 - Complementaria: Computer Networks. Tanenbaum & Wetherall. 5º edición.

ICMP (Internet Control Message Protocol)

- ICMP permite **reportar** diversas incidencias o situaciones excepcionales que pueden producirse en el envío de un datagrama.
- Todos los mensajes ICMP se envían en datagramas IP (valor 1 en el campo protocolo).
- ICMP permite implementar dos **herramientas** fundamentales para **diagnosticar problemas** en la red:
 - **ping**
 - **traceroute**

Mensajes ICMP utilizados por las herramientas ping y traceroute

Mensaje	Significado
Echo request y Echo reply	Sirve para comprobar la accesibilidad de la IP remota (usado en comando ping).
Time exceeded (Tiempo excedido)	Datagrama descartado por agotamiento del TTL (usado en comando traceroute)

ICMP Echo Request/Reply (ping)

```
$ ping -s www.uv.edu 64 4
PING video.ci.uv.edu: 64 bytes packets
64 bytes from 147.156.1.46: icmp_seq=0. time=1. ms
64 bytes from 147.156.1.46: icmp_seq=1. time=1. ms
64 bytes from 147.156.1.46: icmp_seq=2. time=1. ms
64 bytes from 147.156.1.46: icmp_seq=3. time=1. ms
---video.ci.uv.edu PING Statistics ---
4 packets transmitted, 4 packets received, 0% packet loss
Round-trip (ms) min/avg/max = 1/1/1
```

```
$ ping -s www.cmu.edu 64 4
PING server.andrew.cmu.edu: 64 bytes packets
64 bytes from 128.2.72.5: icmp_seq=0. time=287. ms
64 bytes from 128.2.72.5: icmp_seq=1. time=290. ms
64 bytes from 128.2.72.5: icmp_seq=2. time=285. ms
64 bytes from 128.2.72.5: icmp_seq=3. time=277. ms
---server.andrew.cmu.edu PING Statistics ---
4 packets transmitted, 4 packets received, 0% packet loss
Round-trip (ms) min/avg/max = 277/285/290
```

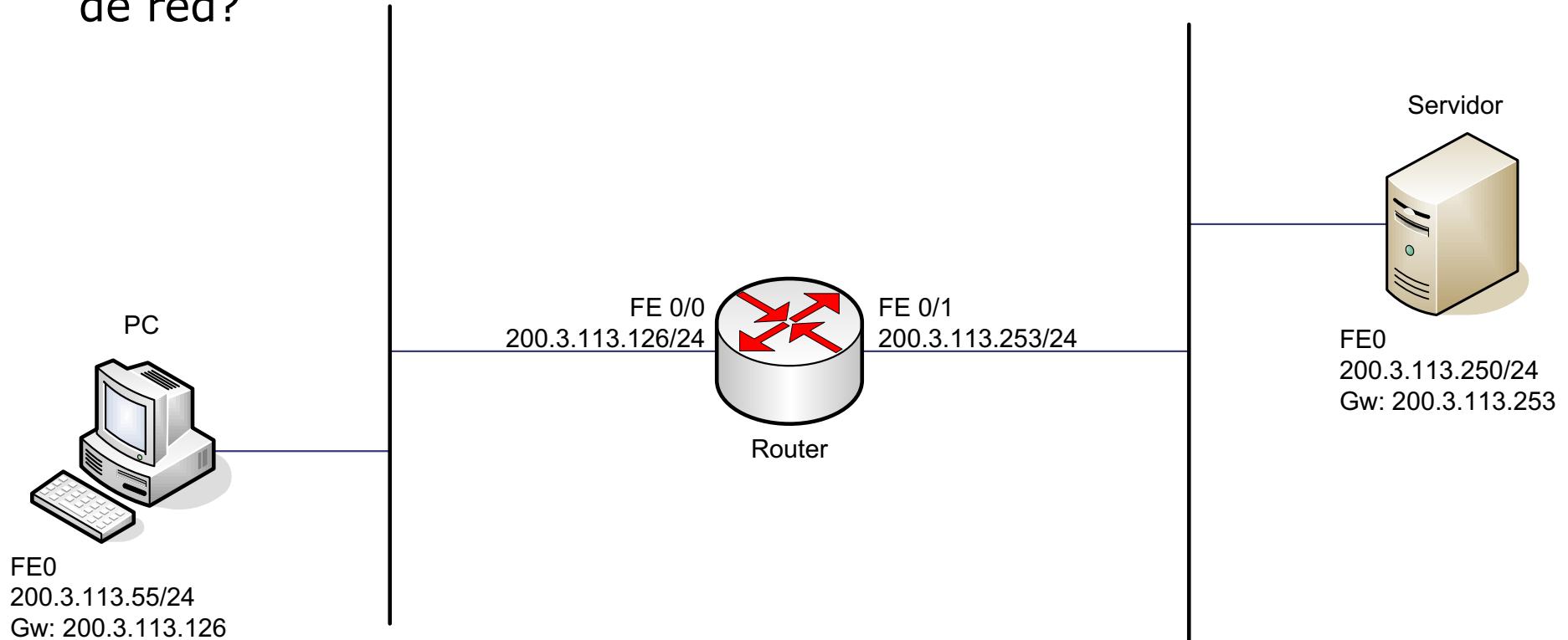
Por cada paquete enviado se recibe una respuesta. El tiempo indicado es el de ida y vuelta

Resumen

- **ICMP** es un protocolo auxiliar de control que permite reportar incidencias que pueden producirse en el envío de un datagrama.
- **ping** es una herramienta de diagnóstico basada en ICMP que nos permite verificar la conectividad IP entre dos puntos de la red.
- **traceroute** es una herramienta de diagnóstico basada en ICMP que nos permite determinar la ruta efectuada por un paquete hacia un destino determinado en la red.

Ejercicio

- Un usuario en la PC realiza un ping al servidor. El ping no responde. Explicar a qué puede deberse esta situación. ¿Qué cambia si se reemplaza el router por un servidor con dos tarjetas de red?



Resolución

1. El utilitario ping de la PC tratará de enviar un paquete **ICMP echo-request** al Servidor.
2. Para transportarlo encapsulará el paquete ICMP dentro de un paquete IP, <origen 200.3.113.55; destino 200.3.113.250>.
3. Para enviar el paquete IP la PC revisará todas las entradas de su tabla de ruteo:
200.3.113.0/24 | FE0 (directamente conectada)
0.0.0.0/0 | 200.3.113.126
comparando la dirección destino con la máscara de cada entrada, buscando encontrar la ruta más específica. En este caso usará la primer entrada, encontrando que el destino está en su misma red (dicho de otra forma, está en una red directamente conectada a su interface FE0).
4. Encapsulará el paquete IP dentro de un paquete Ethernet, dirección origen la MAC de la PC, dirección destino la MAC correspondiente con la IP de destino. Revisará su tabla ARP buscando la correspondencia MAC-IP y al no encontrar la entrada correspondiente, realizará el requerimiento ARP (broadcast).
5. El requerimiento quedará restringido a la red local (no pasará más allá del router) y nunca llegará a la PC destino. Por lo tanto **no se obtendrá respuesta**.
6. En conclusión, el ICMP echo-request no podrá ser enviado por la PC.
7. Si se reemplaza el router por un servidor con dos tarjetas de red y **se habilita el ruteo IP** en el servidor no cambia nada. Son funcionalmente equivalentes, lo único que cambia es el hardware y software utilizado.

Algunas direcciones IP especiales

Dirección	Significado	Ejemplo
255.255.255.255	Broadcast en la LAN propia	255.255.255.255
Parte Host a ceros	Identifica una red	147.156.0.0 255.255.0.0
Parte Host a unos	Broadcast en una red remota	147.156.255.255 255.255.0.0
127.0.0.1	Dirección Loopback (para pruebas)	127.0.0.1

- La primera y la última direcciones de una red están siempre reservadas y no deben asignarse nunca a un host.

Direcciones IP privadas

Existen tres rangos de direcciones IP que han sido declarados como **privados**. Las organizaciones pueden utilizarlos internamente como deseen. La única regla es que los paquetes que contienen estas direcciones **no pueden aparecer** en Internet. Los tres rangos reservados son:

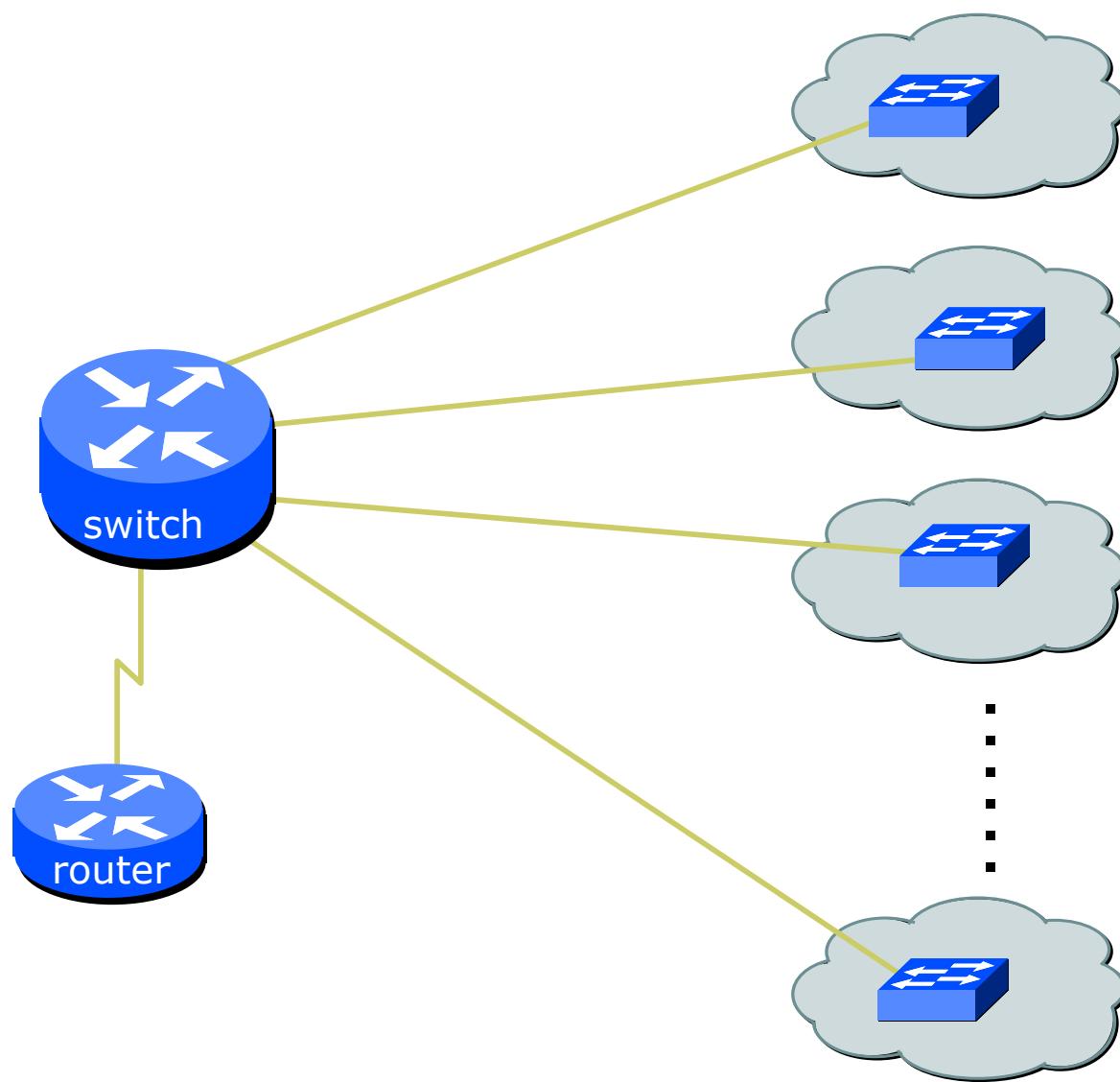
10.0.0.0	–	10.255.255.255/8	(16.777.216)
172.16.0.0	–	172.31.255.255/12	(1.048.576)
192.168.0.0	–	192.168.255.255/16	(65.536)

RFC 1918: Address Allocation for Private Internets.

¿Direcciones privadas? ¿Para qué?

- Dispositivos que no requieren conexión a Internet (impresoras, switches, etc.).
- Si queremos interconectar en un laboratorio aparatos de medición con las PCs que los controlan.
- Redes de usuarios o servidores que no queremos que accedan a Internet.
- Redes que acceden a Internet a través de otros mecanismos (NAT-PAT, Proxy, etc.).
- Por la escasez de direcciones IP públicas que pueden ser registradas.
- Otros: ¿Seguridad?, túneles, VPN, etc.
- Etc. Etc. Etc.

¿Problemas?



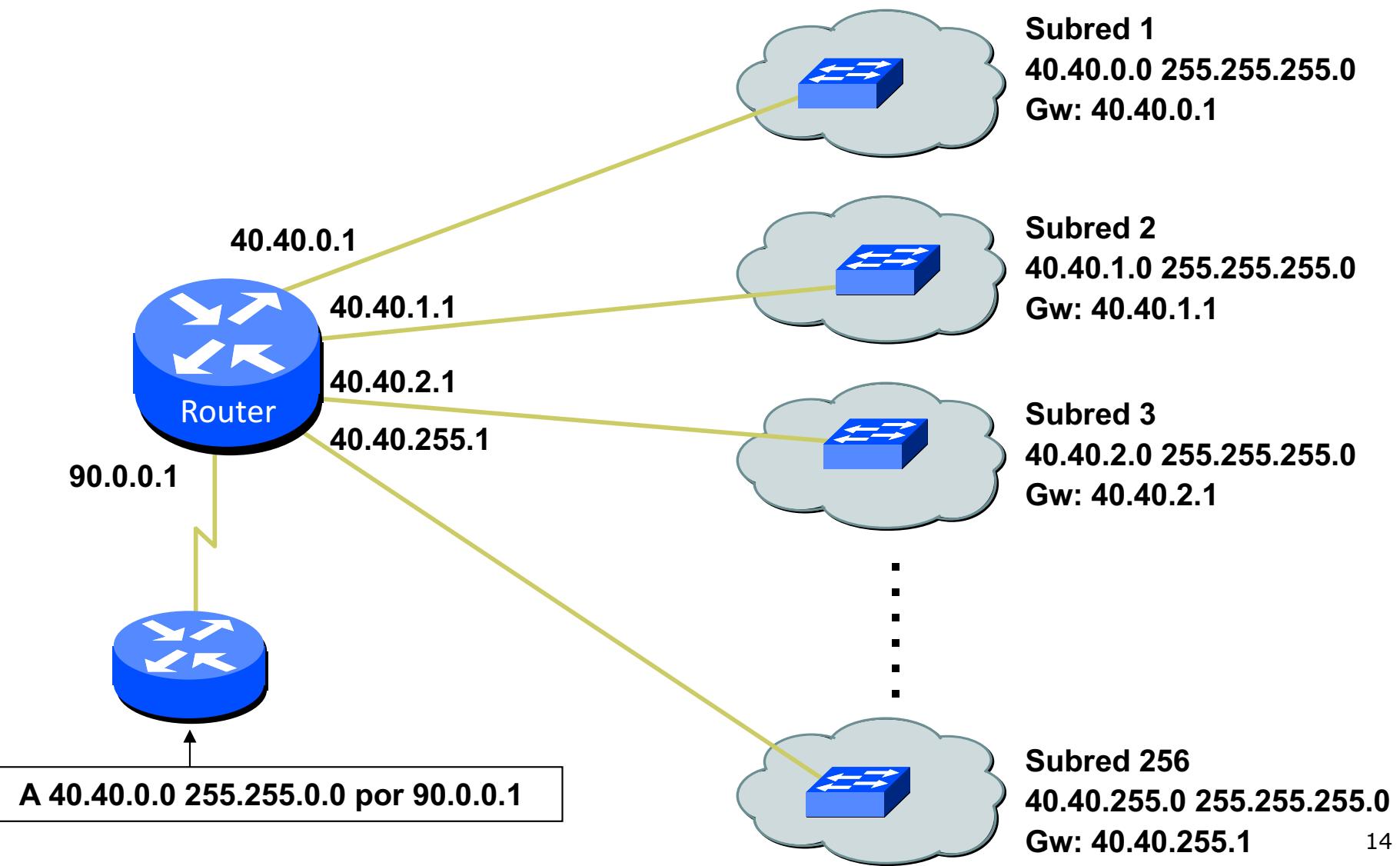
LAN
40.40.0.0 255.255.0.0
(65534 hosts)

Subredes IP

- ❑ A menudo la red de una organización está a su vez formada por varias redes. En estos casos suele ser conveniente partir de una red grande que dividimos en trozos más pequeños llamados **subredes**.
- ❑ Ejemplo: la empresa X utiliza la red 40.40.0.0 255.255.0.0 (es decir desde 40.40.0.0 hasta 40.40.255.255) en una LAN enorme. Para reducir el tráfico broadcast decide dividirla formando VLANs, ninguna de las cuales tendrá más de 256 ordenadores. Las subredes podrían ser:

VLAN	Subred	Máscara	Rango
1	40.40.0.0	255.255.255.0	40.40.0.0 - 40.40.0.255
2	40.40.1.0	255.255.255.0	40.40.1.0 – 40.40.1.255
3	40.40.2.0	255.255.255.0	40.40.2.0 – 40.40.2.255
...
256	40.40.255.0	255.255.255.0	40.40.255.0 – 40.40.255.255

Ejemplo de uso de subredes



Subredes

Network number

Host number

Class B address

111111111111111111111111

00000000

Subnet mask (255.255.255.0)

Network number

Subnet ID

Host ID

Subnetted address

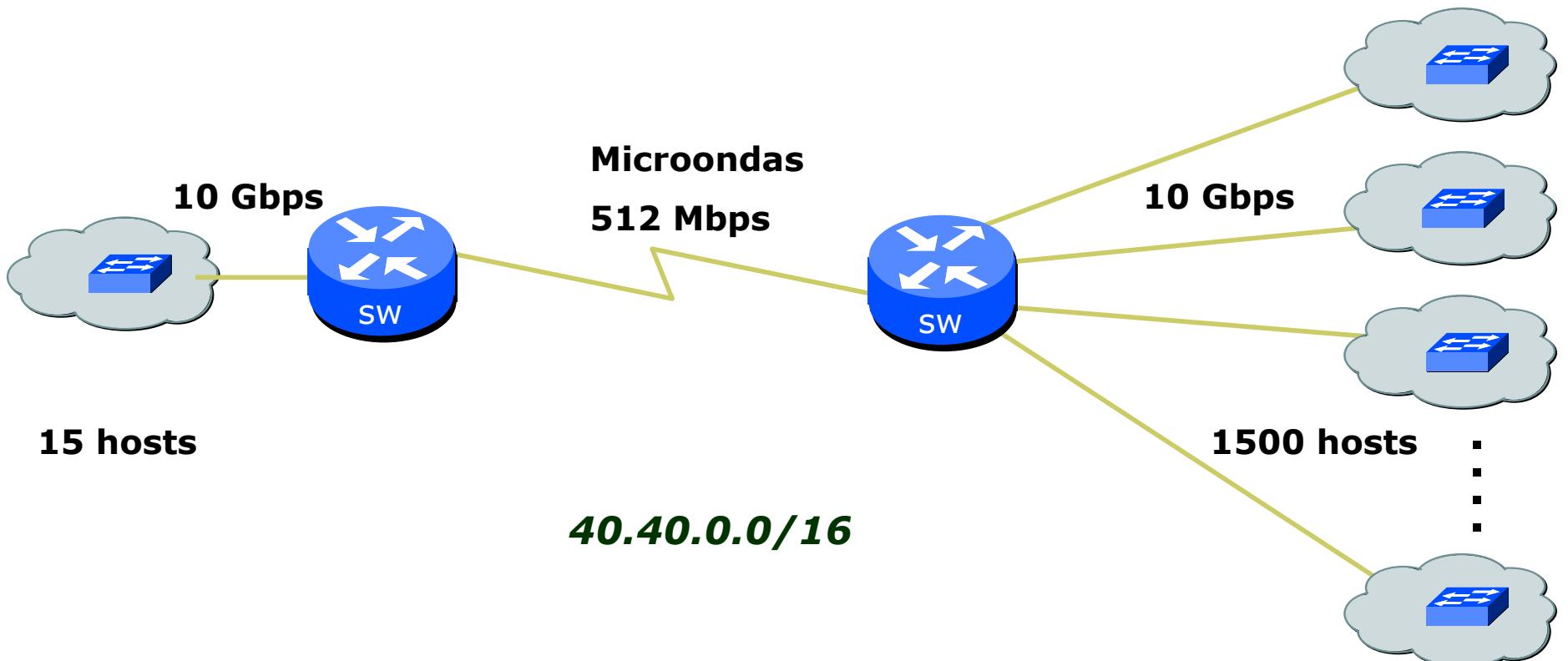
¿Porqué usar subredes?

- Para reducir el tráfico broadcast en una red local muy grande.
- Para conectar redes locales remotas de una misma organización utilizando routers y enlaces punto-a-punto.
- Por razones de seguridad, para separar las redes a nivel IP y poder utilizar en un router técnicas de filtrado basadas en las direcciones IP de los paquetes.
- En caso de instalación de un firewall, para dividir una red local en zonas con distinto nivel de seguridad (llamadas DMZs).
- En el caso de un ISP: para separar las redes de servicios, clientes, backbone, etc.
- Etc. Etc. Etc.

Ejemplo

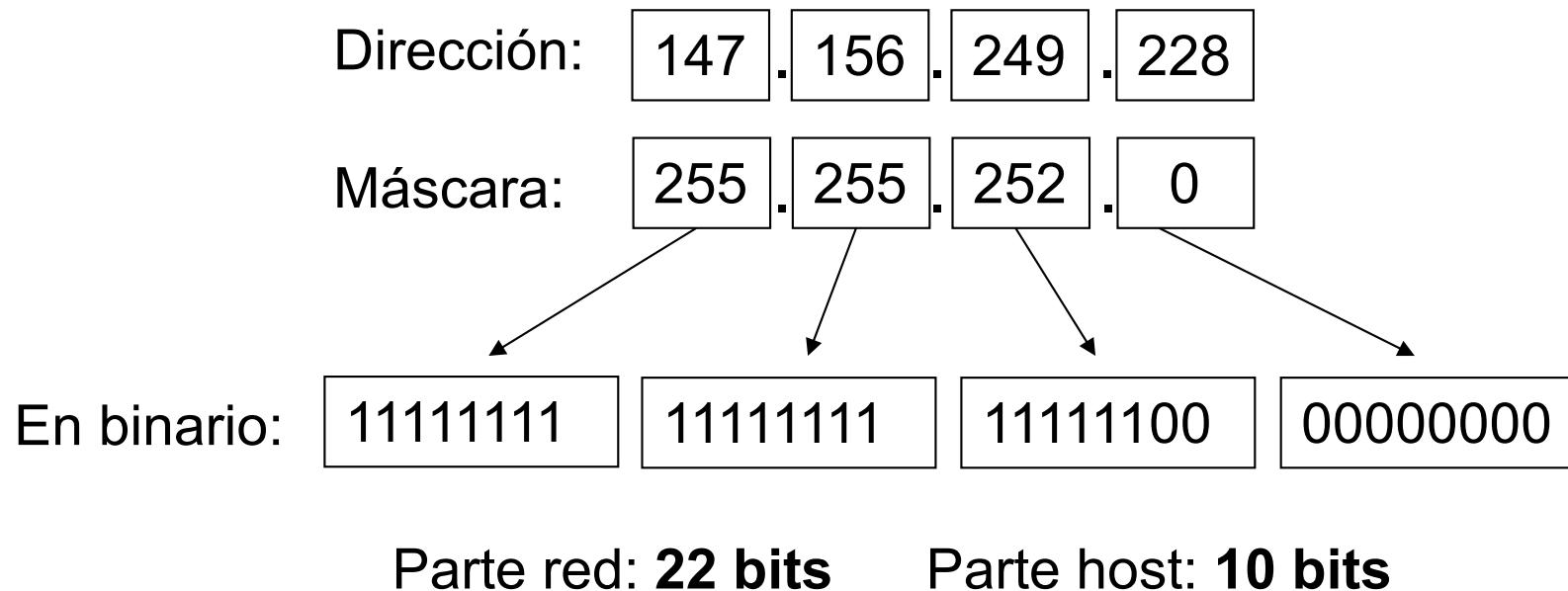
**Sede
Retiro**

**Sede San
Martín**



Máscaras que no son múltiplo de 8

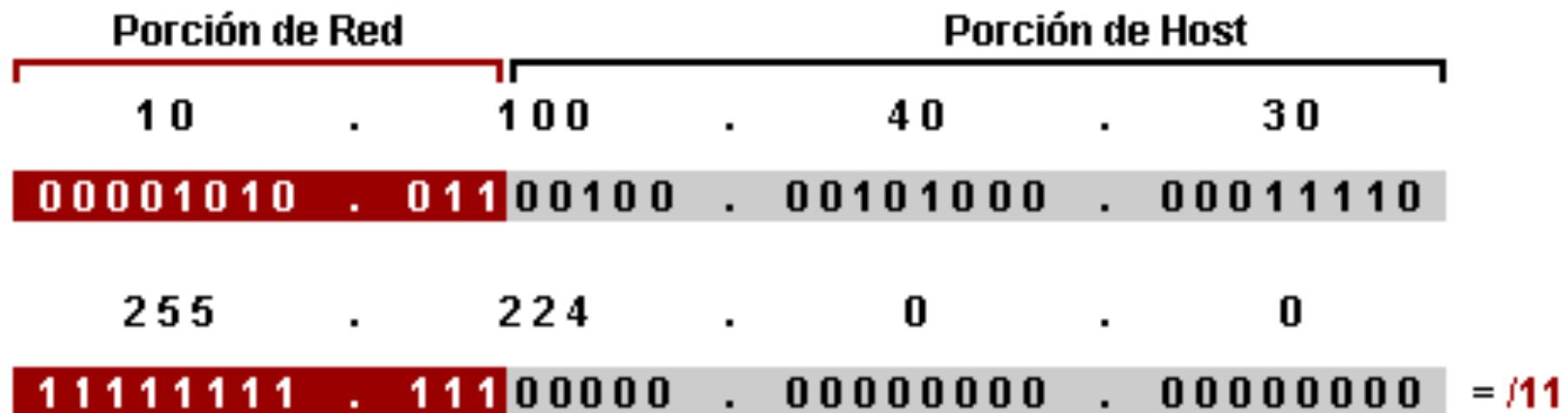
- Las máscaras no siempre son de 8, 16 o 24 bits. En estos casos la separación de la parte red y la parte host no es tan evidente, aunque **el mecanismo es el mismo:**



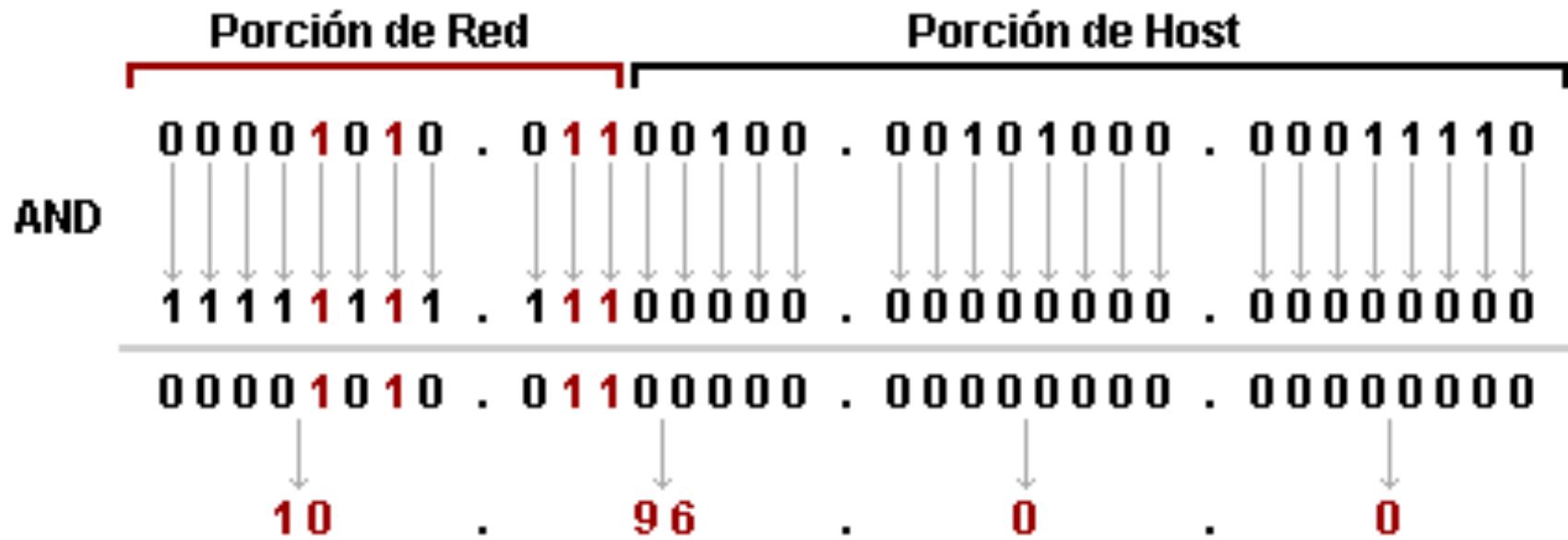
Esta red tiene 1024 direcciones. Rango: 147.156.248.0 – 147.156.251.255
La primera y la última no son utilizables.

Máscaras que no son múltiplo de 8

- Tomemos como ejemplo la dirección IP 10.100.40.30 interpretada con máscara /11



Máscaras que no son múltiplo de 8



- El resultado indica que la dirección 10.100.40.30 /11 es una dirección de host perteneciente a la subred 10.96.0.0/11 y que tiene como dirección de broadcast 10.127.255.255/11 (la dirección de broadcast la obtenemos colocando todos bits "1" en la porción de host de la dirección IP).

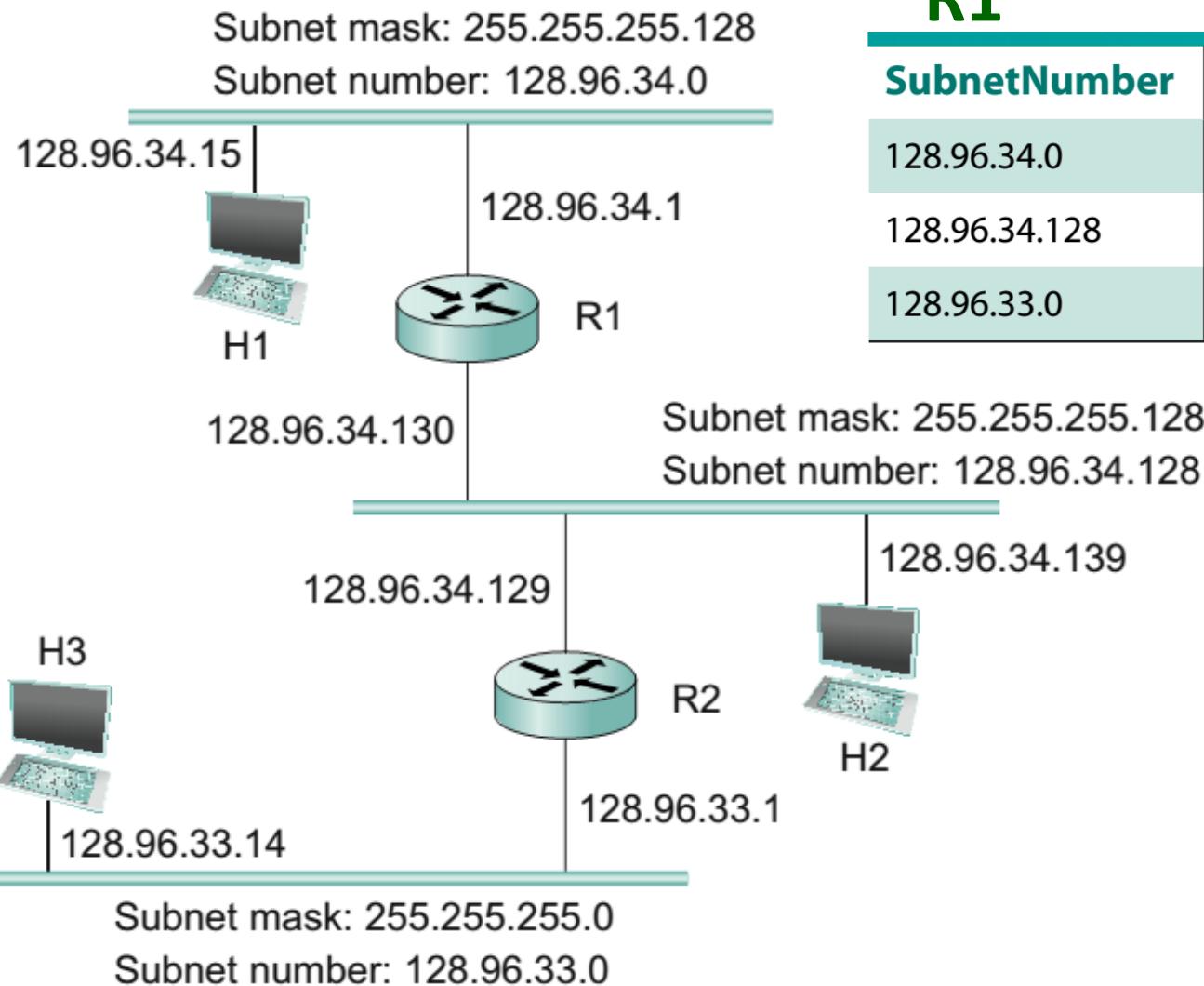
Máscaras que no son múltiplo de 8

- Netmask: 255.255.255.128 = 25 1111111.1111111.1111111.**1** 0000000

- Network: 128.96.34.0/25 1000000.01100000.00100010.**0** 0000000
Broadcast: 128.96.34.127 1000000.01100000.00100010.**0** 1111111
HostMin: 128.96.34.1 1000000.01100000.00100010.**0** 0000001
HostMax: 128.96.34.126 1000000.01100000.00100010.**0** 1111110
Hosts/Net: 126

- Network: 128.96.34.128/25 10000000.01100000.00100010.**1** 0000000
Broadcast: 128.96.34.255 10000000.01100000.00100010.**1** 1111111
HostMin: 128.96.34.129 10000000.01100000.00100010.**1** 0000001
HostMax: 128.96.34.254 10000000.01100000.00100010.**1** 1111110
Hosts/Net: 126

Otro ejemplo de subredes



R1

SubnetNumber	SubnetMask	NextHop
128.96.34.0	255.255.255.128	Interface 0
128.96.34.128	255.255.255.128	Interface 1
128.96.33.0	255.255.255.0	R2

Posibles valores de las máscaras

- En las máscaras los bits a 1 siempre han de estar contiguos empezando por la izquierda. No se utiliza por ejemplo la máscara 255.255.0.255
- Por tanto los valores que pueden aparecer en cualquier máscara son:

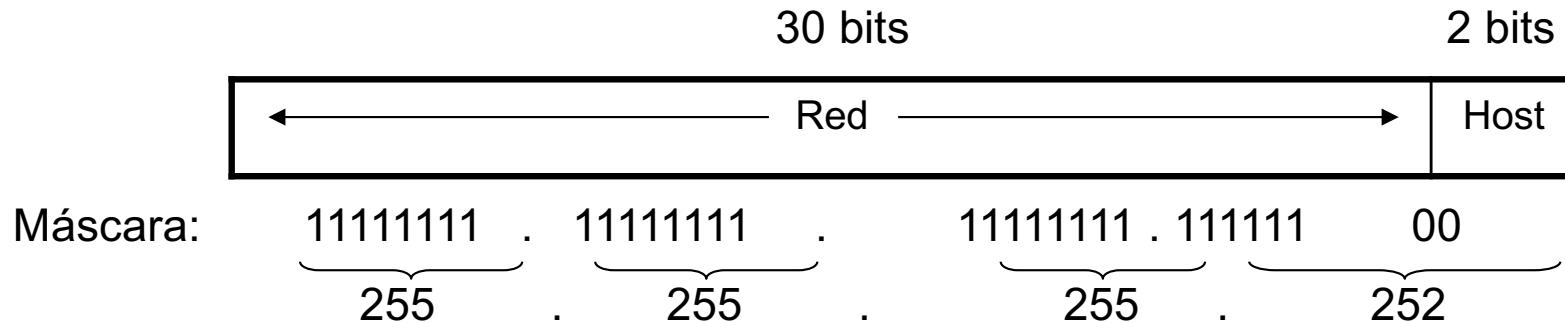
Bits de máscara (n)	Binario	Decimal
0	00000000	0
1	10000000	$0 + 128 = 128$
2	11000000	$128 + 64 = 192$
3	11100000	$192 + 32 = 224$
4	11110000	$224 + 16 = 240$
5	11111000	$240 + 8 = 248$
6	11111100	$248 + 4 = 252$
7	11111110	$252 + 2 = 254$
8	11111111	$254 + 1 = 255$

Máscaras. Notación concisa

- Como ya hemos visto, puesto que la máscara siempre ha de ser contigua, en lugar de expresarla con números decimales se puede indicar su longitud en bits (entre 0 y 32).
- Esto permite una notación **mucho más concisa** al indicar direcciones de interfaces y rutas. Así:
- La interfaz “40.40.0.1 255.255.255.0” se convierte en “40.40.0.1/24”
- La ruta “A 20.0.0.0 255.0.0.0 por 90.0.0.2” se convierte en “A 20.0.0.0/8 por 90.0.0.2”

“Mini-redes”

La red más pequeña que podemos hacer es la de máscara de 30 bits:



En este caso obtenemos cuatro direcciones, de las cuales solo podemos usar dos. Estas redes **se suelen utilizar en enlaces punto a punto** ya que en este caso solo se necesitan dos direcciones. Ejemplos:

Red	Rango	Broadcast	Direcciones utilizables
90.0.0.0/30	90.0.0.0 a 90.0.0.3	90.0.0.3	90.0.0.1 y 90.0.0.2
90.0.0.4/30	90.0.0.4 a 90.0.0.7	90.0.0.7	90.0.0.5 y 90.0.0.6
90.0.0.8/30	90.0.0.8 a 90.0.0.11	90.0.0.11	90.0.0.9 y 90.0.0.10

Ruta por defecto

- ❑ En muchos casos al indicar las rutas en un router hay muchas que son accesibles por la misma dirección, y no es cómodo especificarlas una a una.
- ❑ Para esto se puede utilizar la llamada “ruta por defecto” que se le aplica al paquete cuando no se le aplica ninguna de las otras rutas definidas.
- ❑ Un caso típico es cuando un router conecta una o varias redes entre sí y hay una única salida a Internet.
- ❑ La **ruta por defecto** tiene la sintaxis:

A 0.0.0.0 0.0.0.0 por <dirección del router por defecto>

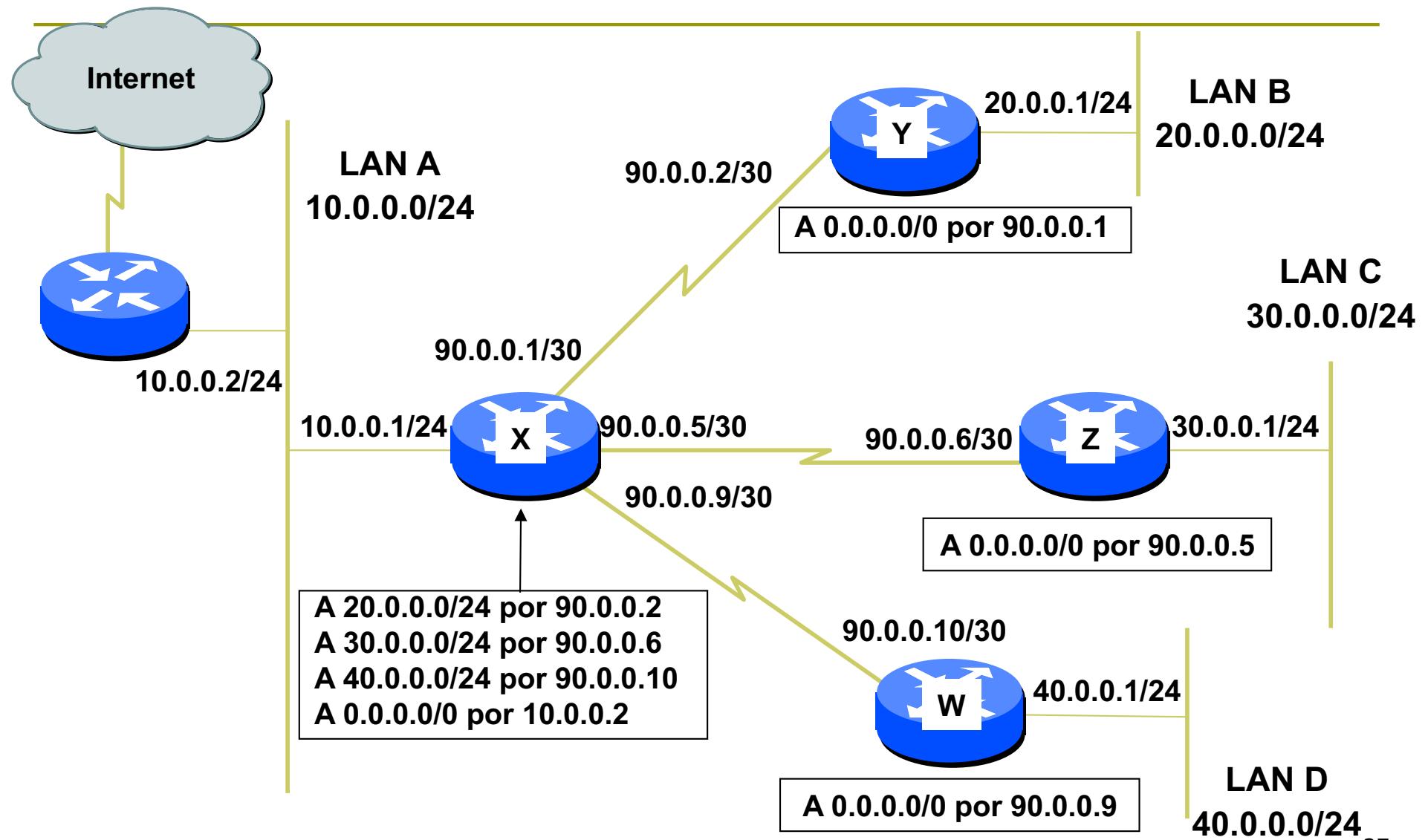
Por ejemplo si el router por defecto es 20.0.0.1:

A 0.0.0.0 0.0.0.0 por 20.0.0.1

O en notación concisa:

A 0.0.0.0/0 por 20.0.0.1

Ejemplo de uso de la ruta por defecto



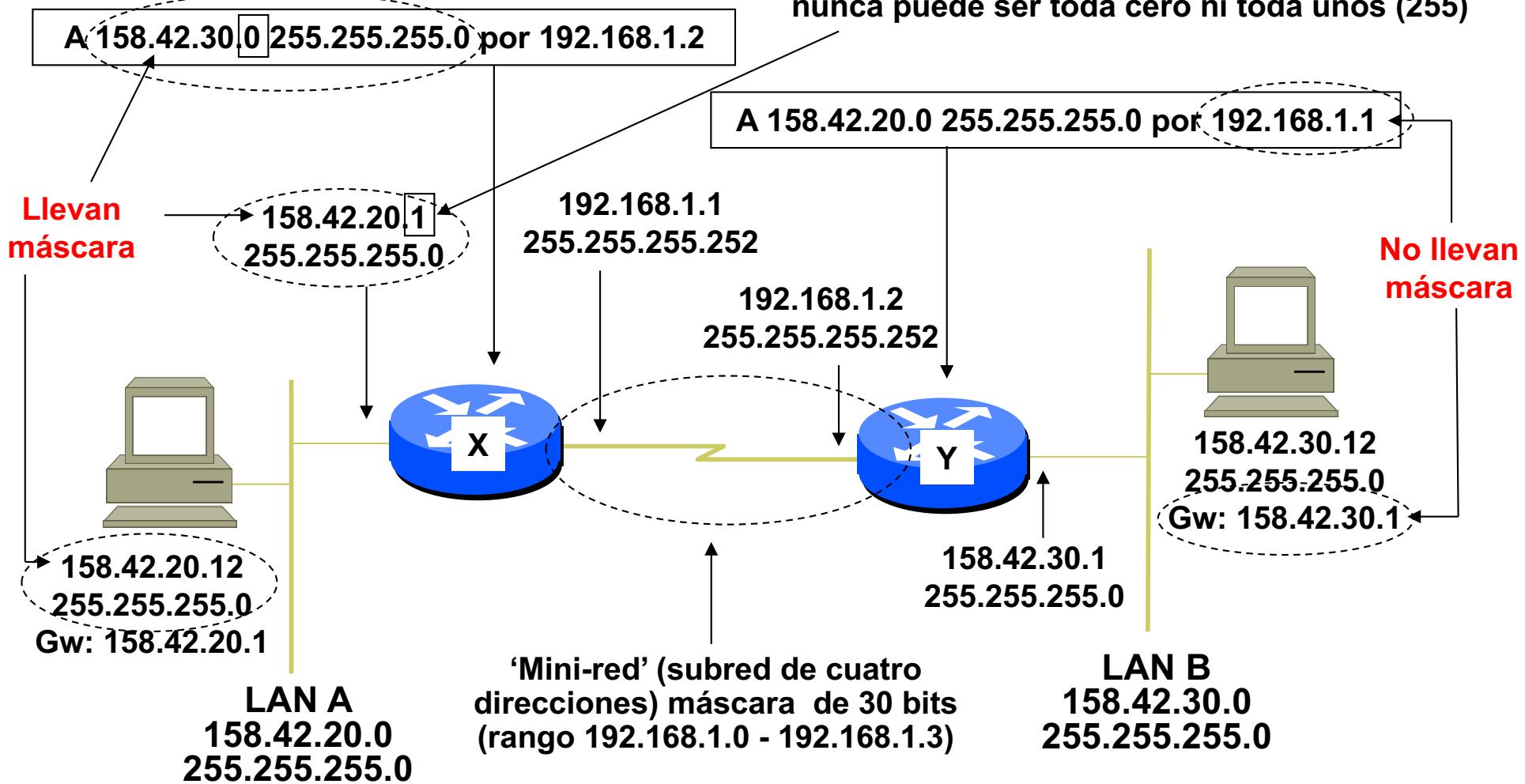
Especificación de la máscara

- Se especifica la máscara:
 - En las direcciones de interfaz (host o router). Si el equipo tiene varias interfaces, **cada una debe tener una dirección diferente**, la máscara puede ser la misma o no.
 - Al configurar una ruta, para indicar a que **rango de direcciones** se aplica.
- No se especifica máscara:
 - Cuando se indica el **router por defecto** en un equipo (host o router).
 - Cuando se indica el **próximo salto** en una ruta
- Los paquetes IP no llevan escrita en la cabecera la máscara, **sólo llevan las direcciones de origen y destino**.
- El enrutamiento de los paquetes se hace según la **dirección de destino** exclusivamente.

Especificación de la máscara

En las rutas la parte host de la dirección siempre debe ser cero

En las interfaces la parte host de la dirección nunca puede ser toda cero ni toda unos (255)

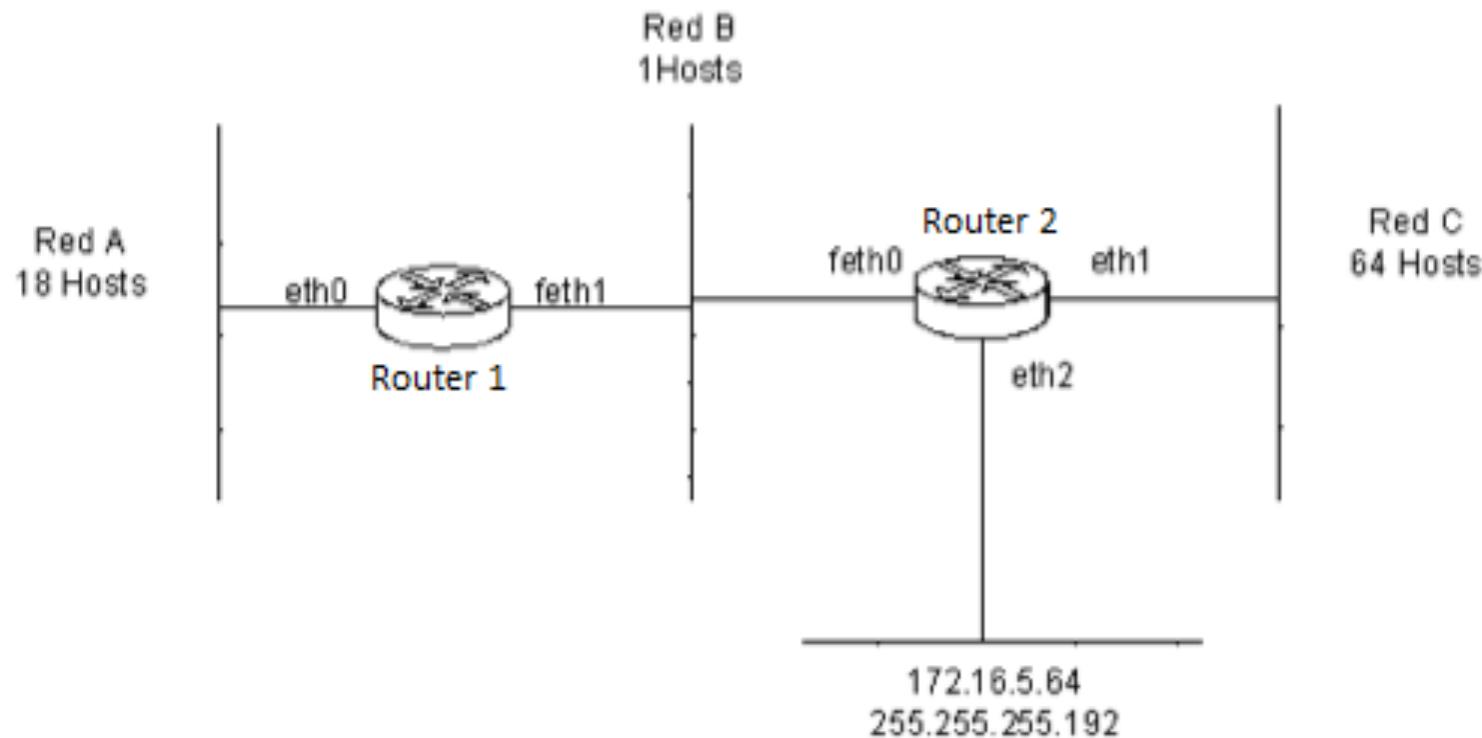


Máscaras de tamaño variable

- A menudo interesa dividir una red en **subredes de diferentes tamaños**.
- Para esto se utilizan **máscaras de tamaño variable**, es decir la división red/host **no es igual** en todas las subredes.
- Aunque las subredes pueden tener diferente tamaño **no pueden solaparse** (existirían direcciones duplicadas).
- La visión que tenemos de las subredes puede variar. Por ejemplo lo que en un sitio de la red se ve como una subred /22 (1024 direcciones) puede dividirse en varias /24 (256 direcciones) cuando nos acercamos.

Ejercicio: Máscaras de tamaño variable

Indicar una posible numeración IP para todos los segmentos de red presentes utilizando la red 172.16.5.0/24.



Cuantas direcciones necesita la Red A?

18 direcciones para hosts

+

1 dirección de subred

+

1 dirección de broadcast

+

1 dirección para eht0 del Router 1

Total = 21 direcciones

Cuantas direcciones necesitan las redes B y C?

Red B

1 dirección para host +
1 dirección de subred +
1 dirección de broadcast +
1 dirección para feth1 del Router 1 +
1 dirección para feth0 del Router 2

Total = 5 direcciones

Red C

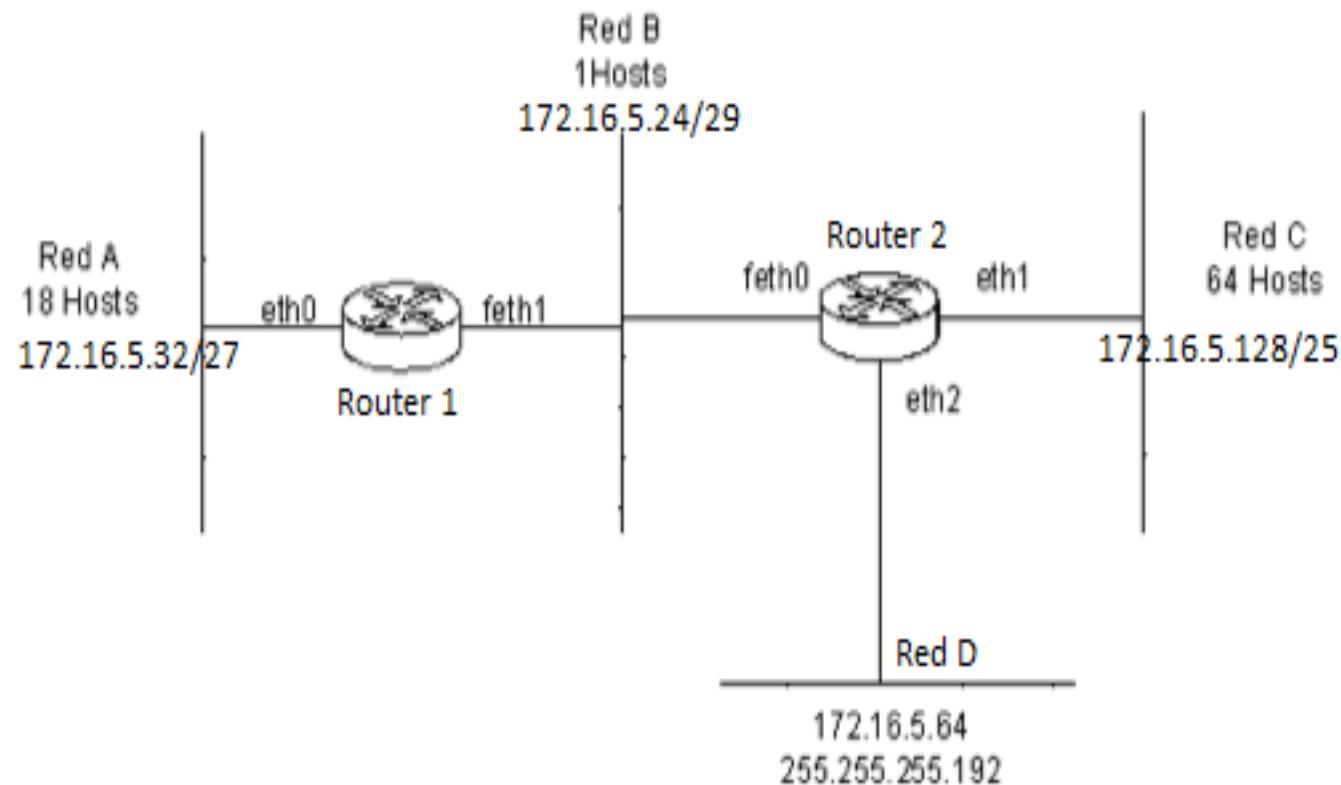
64 direcciones para hosts +
1 dirección de subred +
1 dirección de broadcast +
1 dirección para eth1 del Router 2

Total = 67 direcciones

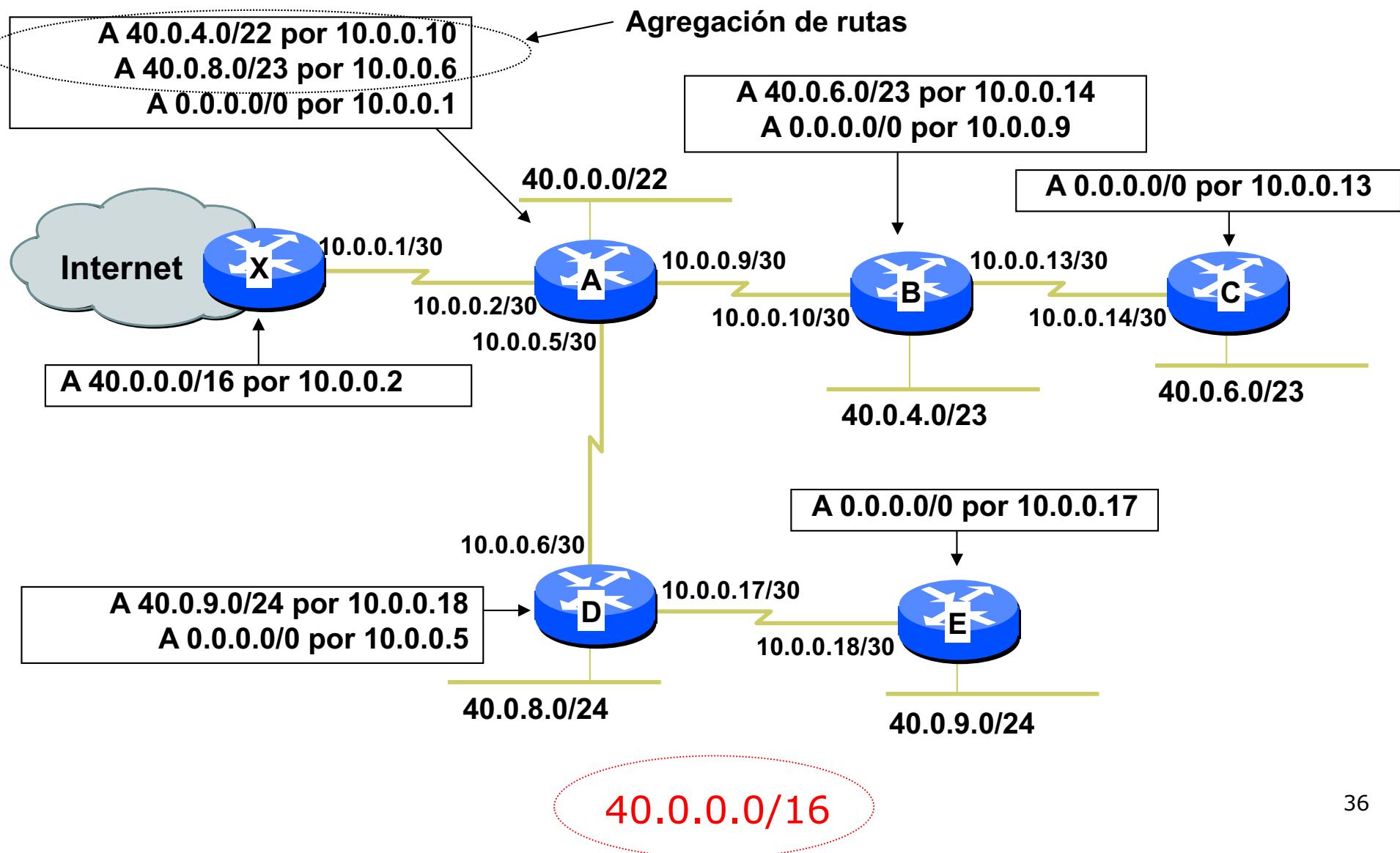
Y la red D, los mismo, no?

- NO !!
- La **Red D** ya se encuentra subnetteada y como es 255.255.255.192 esto es equivalente a /26.

Numeración para las redes (no es la única posible)



Configuración de subredes con máscara de longitud variable



Revisión subredes

- Las redes pueden ser divididas en **subredes** mas pequeñas, **no necesariamente** todas del mismo tamaño.
- La **máscara de subred** señala qué porción de la dirección es el identificador de la red. La máscara consiste en una secuencia de unos seguidos de una secuencia de ceros escrita de la misma manera que una dirección IP.
- Las subredes permiten a una red ser dividida **lógicamente** a pesar del diseño físico de la misma, por cuanto es posible dividir una red física en varias subredes.
- Los **routers** constituyen los **límites** entre las subredes. La comunicación desde y hasta otras subredes es hecha mediante un puerto específico de un router específico.

Orden de forwarding o enrutamiento

- Es posible que **haya varias rutas válidas** para un **mismo paquete**. Por ejemplo la ruta por defecto es aplicable en principio a cualquier paquete.
- Se revisan primero las rutas de máscara más larga. Este criterio garantiza que se aplicarán **primero** las rutas **más específicas** y **luego** las **más generales**. Así por ejemplo las rutas host (/32) se aplican en primer lugar y la ruta por defecto (/0) se aplican en último lugar.
- Ejemplo:
 - Un router recibe un datagrama con destino 200.40.1.1
 - La búsqueda en la tabla encuentra dos entradas:
 - **200.40.1.0/24**
 - **200.40.0.0/16**
 - La ruta que se usará es la 200.40.1.0/24

Ejercicio

- Un router presenta la siguiente tabla:

NetworkNum	NextHop
135.46.60.0/24	Interface0
192.53.40.0/24	135.46.60.23
192.53.40.0/25	135.46.60.99
0.0.0.0/0	135.46.60.103

¿Qué hace el router cuando recibe un paquete con destino a las siguientes direcciones?

- a) 208.70.188.15
- b) 135.46.62.62
- c) 192.53.40.7

Resolución

NetworkNum	NextHop
135.46.60.0/24	Interface0
192.53.40.0/24	135.46.60.23
192.53.40.0/25	135.46.60.99
0.0.0.0/0	135.46.60.103

El router recorre **toda** la tabla buscando las entradas que coinciden con la dirección destino. De ellas selecciona la más específica (máscara más larga) y reenvía el paquete (sin modificar las direcciones IP origen y destino del paquete original) al NextHop correspondiente.

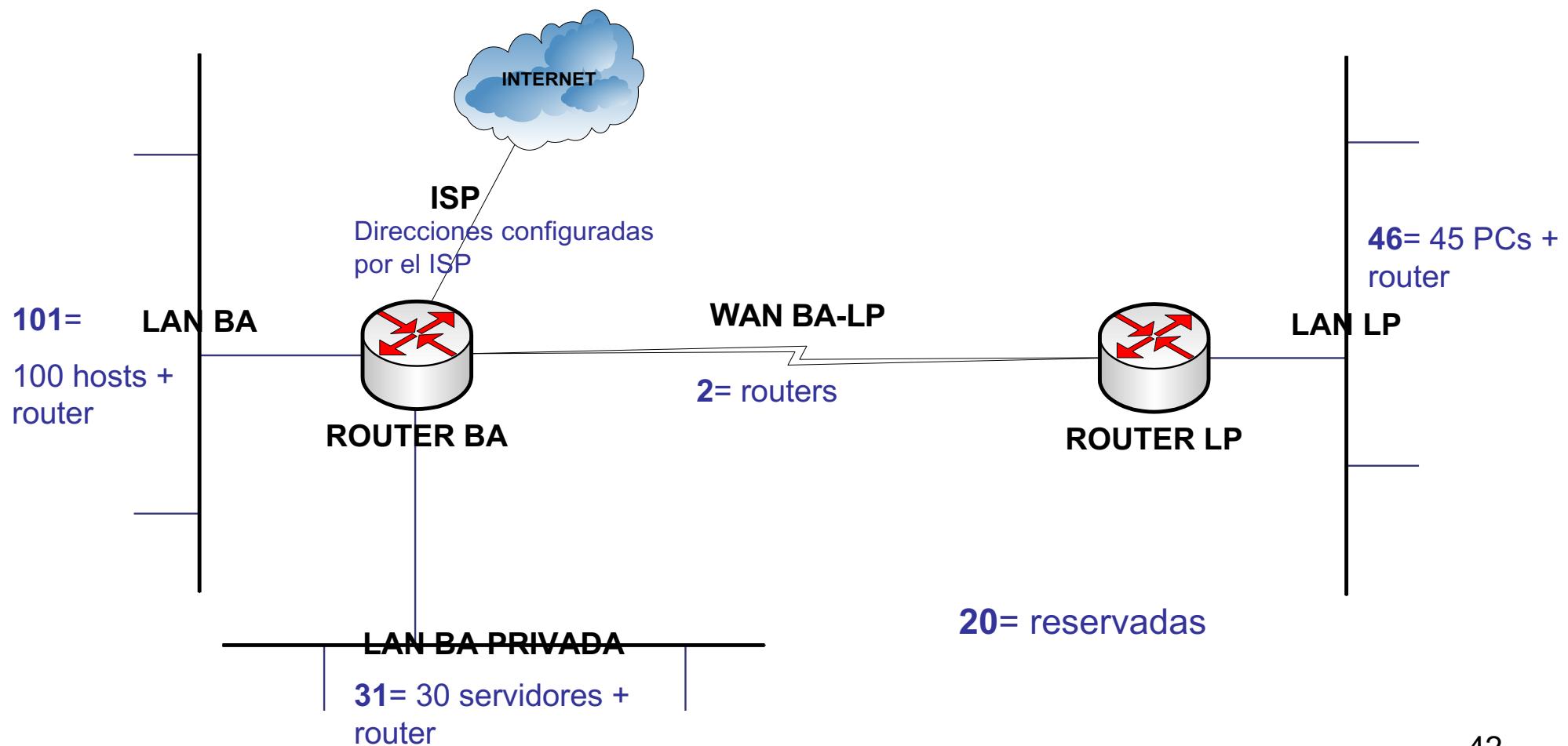
- a) 208.70.188.15 , coincide solamente con la entrada 4. Reenvía a 135.46.60.103.
- b) 135.46.62.62, coincide solamente con la entrada 4. Reenvía a 135.46.60.103.
- c) 192.53.40.7, coincide con las entradas 2, 3 y 4. La ruta más específica es la 3. Reenvía a 135.46.60.99.

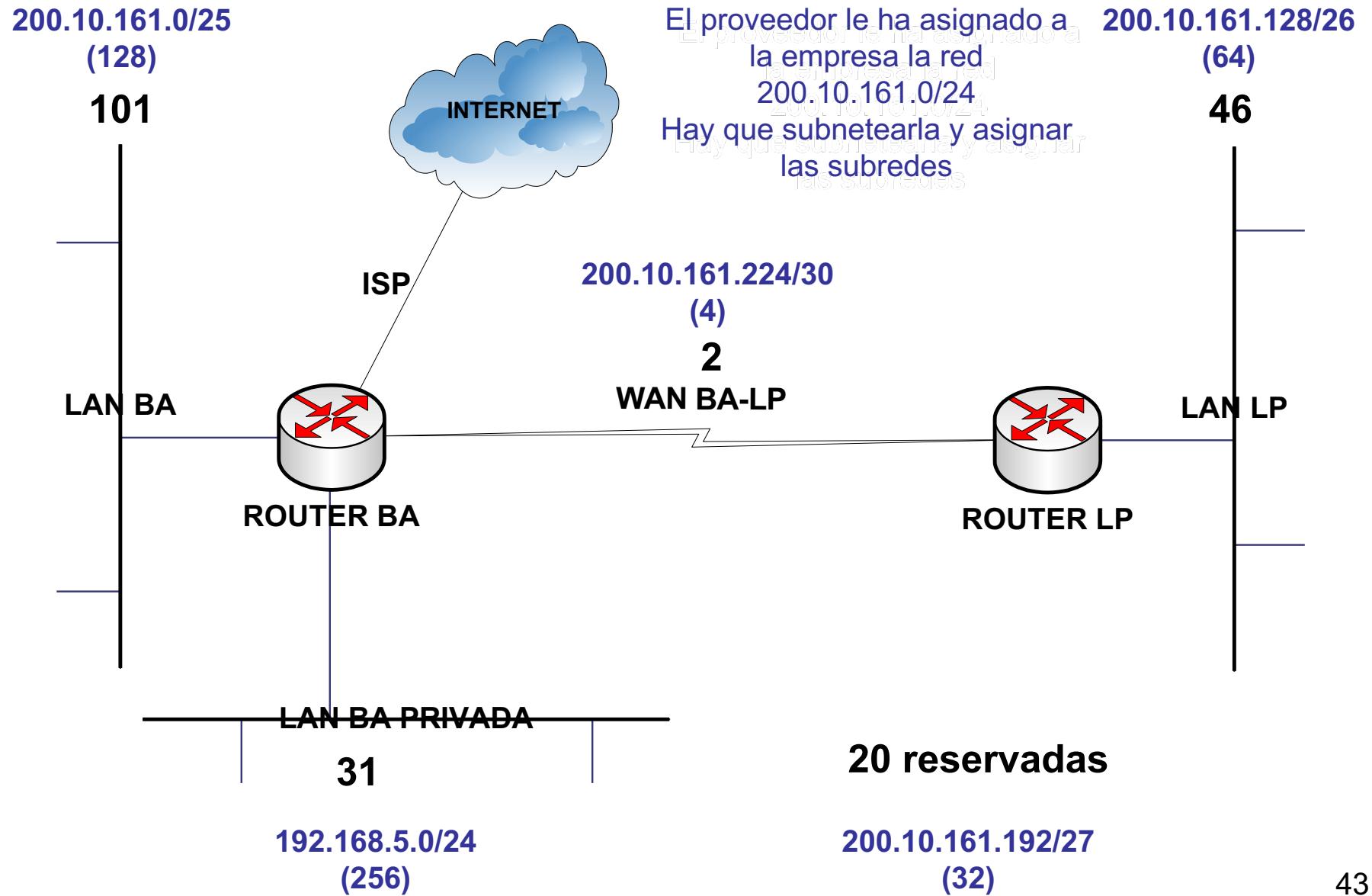
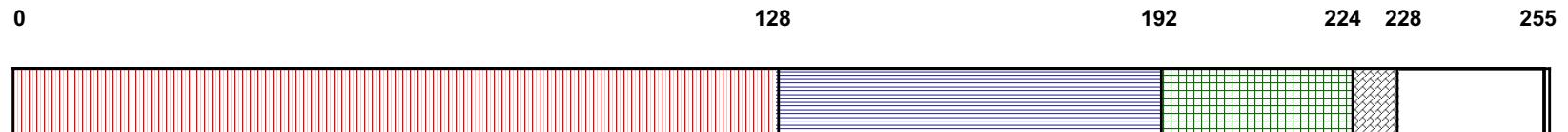
Ejercicio

- Una empresa tiene su sede central en Buenos Aires y una sucursal mas pequeña en la ciudad de La Plata. Cada una de ellas tendrá una red local, la de BA de 100 equipos entre computadoras personales y servidores, y la de La Plata de 45 PCs. Se deben conectar las dos sedes mediante un enlace WAN punto a punto. Además, la sede de BA tendrá otra LAN con 30 servidores para una Intranet que no requerirá acceso a Internet. El enlace a Internet de toda la red será contratado a un proveedor de servicios en BA. Se requiere además reservar una subred de 20 direcciones públicas para uso futuro. El proveedor le ha asignado a la empresa la red IP 200.10.161.0/24 para ser utilizada. Se pide:
- Diseñe el diagrama lógico de la red, incluyendo el equipamiento necesario de nivel IP.
- Diseñe el plan de numeración para la red realizando el subnetting que considere necesario.

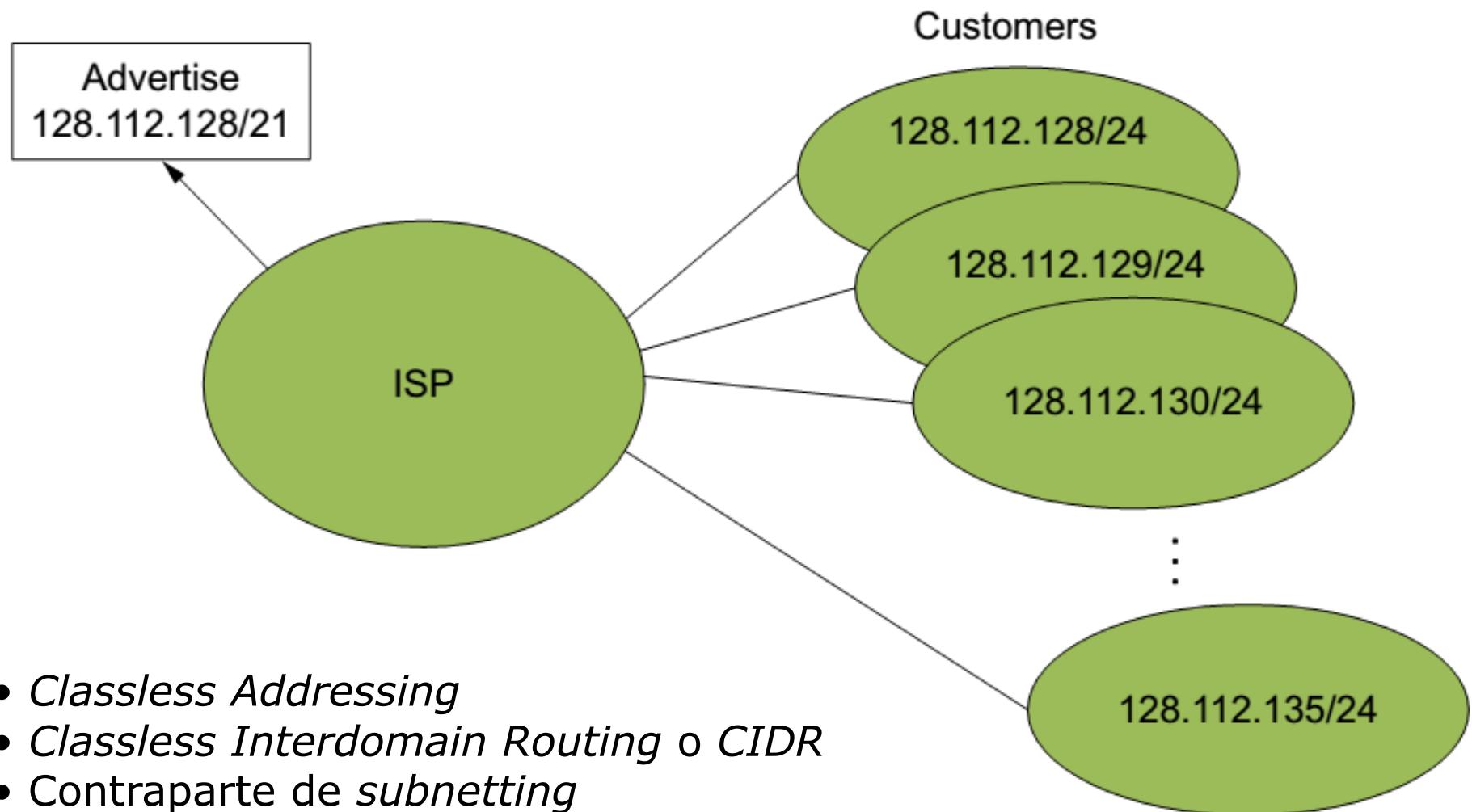
¿Cuántas direcciones IP necesito para cada subred?

1. BA- 100 equipos entre computadoras personales y servidores
2. La Plata - 45 PCs
3. Enlace WAN punto a punto entre ellas
4. BA - otra LAN con 30 servidores para una Intranet que no requerirá acceso a Internet
5. Reservar una subred de 20 direcciones públicas para uso futuro
6. Enlace a Internet de toda la red será contratado a un ISP en BA





Aggregación de rutas o supernetting



Resumen

- IP es un protocolo de capa 3, sin conexión sin reconocimiento, implementado mediante el modelo de **datagramas**.
- Cada datagrama se rutea en forma independiente tomando en cuenta su **dirección destino**.
- Cada router mantiene una **tabla de forwarding (o ruteo)** con entradas de la forma <red-destino, próximo salto>
- Las redes pueden ser divididas en **subredes** mas pequeñas, no necesariamente todas del mismo tamaño.

Algunas herramientas

- Traceroute.org
 - <http://www.traceroute.org/>
- IP Calculator
 - <http://jodies.de/ipcalc>
- Online IP Subnet Calculator
 - <http://www.subnet-calculator.com/>

Dudas, consultas ?

