

Capítulo 4: Capa Red - II

ELO322: Redes de Computadores Agustín J. González

Este material está basado en:

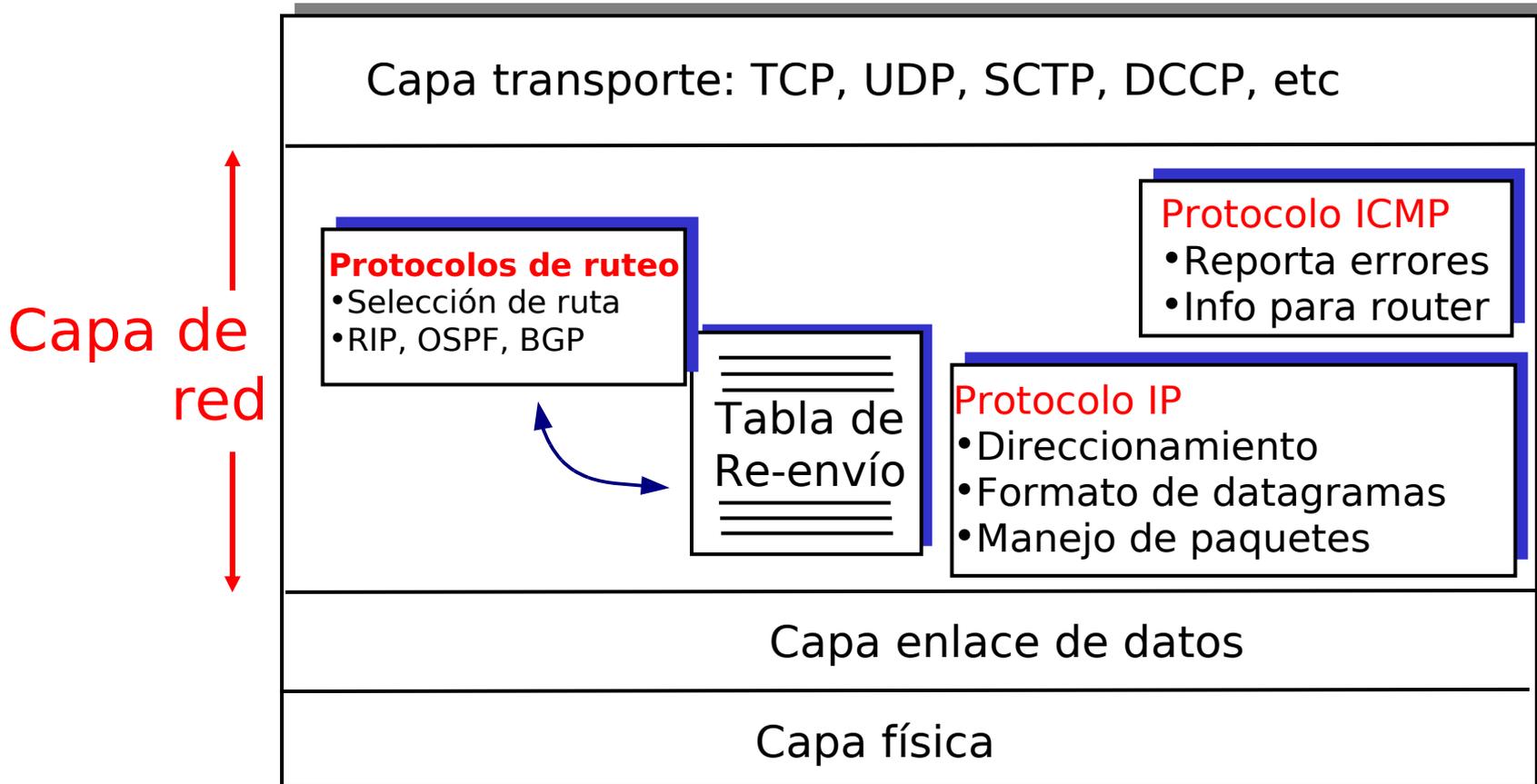
- Material de apoyo al texto *Computer Networking: A Top Down Approach Featuring the Internet 3rd* edition. Jim Kurose, Keith Ross Addison-Wesley, 2004.

Capítulo 4: Capa de Red

- 4.1 Introducción
- 4.2 Circuitos virtuales y redes de datagramas
- 4.3 ¿Qué hay dentro de un router?
- **4.4 IP: Internet Protocol**
 - Formato de Datagrama
 - Direccionamiento IPv4
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Algoritmo de ruteo
 - Estado de enlace
 - Vector de Distancias
 - Ruteo Jerárquico
- 4.6 Ruteo en la Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Ruteo Broadcast y multicast

Capa de red en Internet

Funciones de la capa de red en host y router :



SCTP: Stream Control Transmission Protocol (año 2000)

DCCP: Datagram Congestion Control Protocol (año 2006)

Capítulo 4: Capa de Red

- 4.1 Introducción
- 4.2 Circuitos virtuales y redes de datagramas
- 4.3 ¿Qué hay dentro de un router?
- **4.4 IP: Internet Protocol**
 - **Formato de Datagrama**
 - Direccionamiento IPv4
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Algoritmo de ruteo
 - Estado de enlace
 - Vector de Distancias
 - Ruteo Jerárquico
- 4.6 Ruteo en la Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Ruteo Broadcast y multicast

Formato del datagrama IPv4

Número de versión
Protocolo IP = 4

Largo encabezado
(bytes)

“tipo” de datagrama

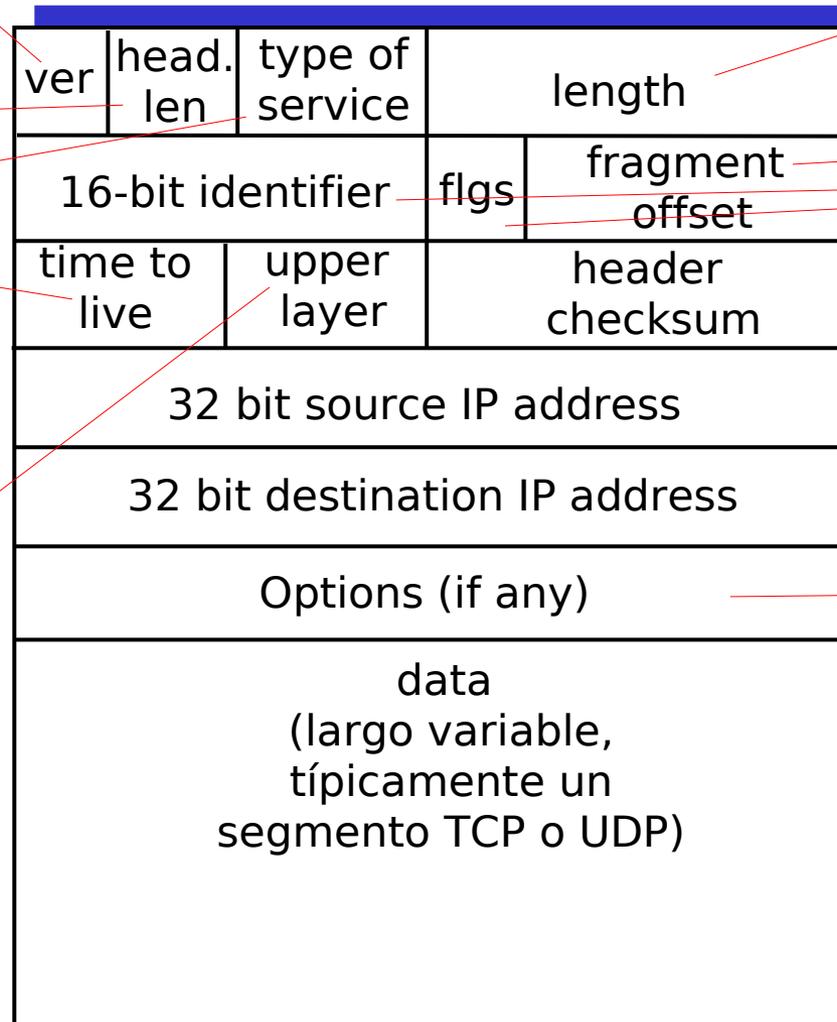
máx. número
de tramos restantes
(decrementado en
cada router)

A qué protocolo superior
corresponden los
datos TCP, UDP, etc

¿Cuánta ineficiencia
hay en TCP?

- 20 bytes de TCP
- 20 bytes de IP
- = 40 bytes + datos
capa aplicación

32 bits



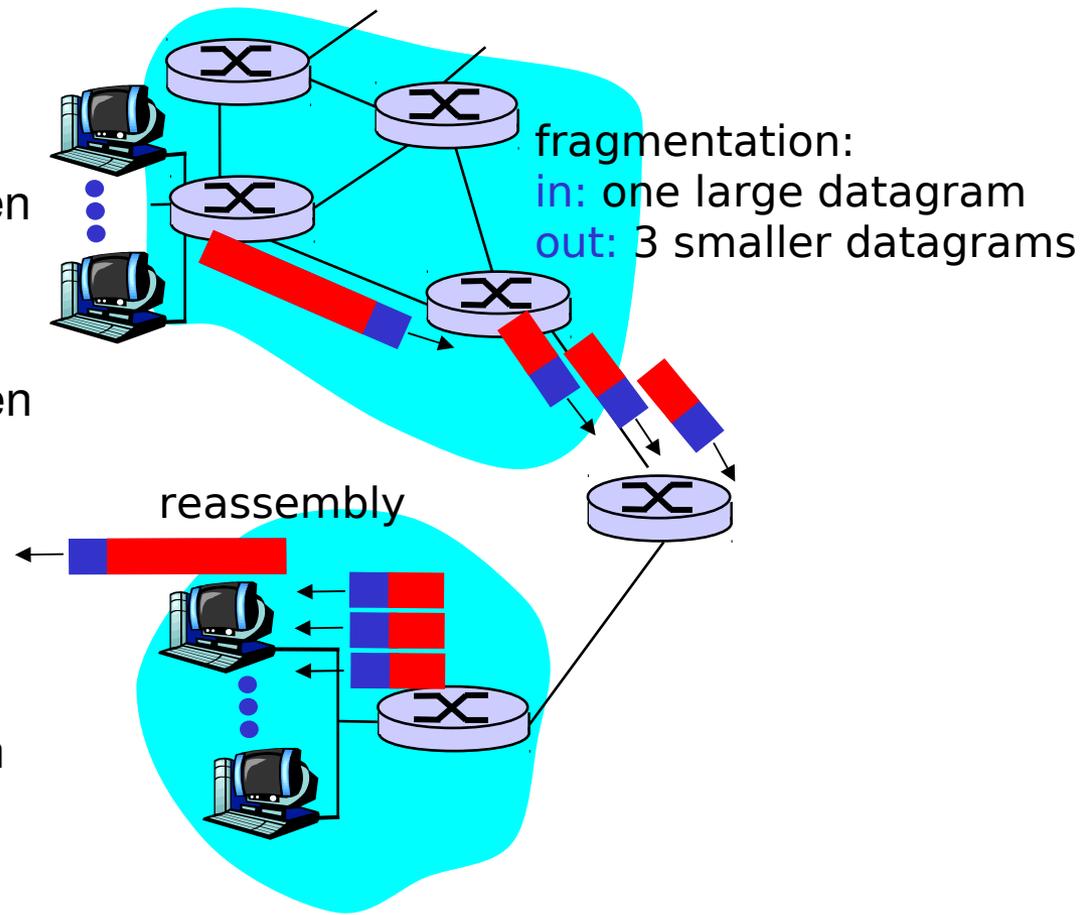
Largo total
datagrama
(bytes)

Para
fragmentación
y re-ensamble

E.g. marcas de
tiempo, grabar
ruta tomada,
especifica lista
de router a
visitar.

Fragmentación y re-ensamble IP

- Cada enlaces de red tienen MTU (max. transmission unit) – mayor tamaño de un frame en la capa enlace.
 - Diferentes tipos de enlace tienen diferentes MTUs
- Por esto es que un datagrama IP grande es dividido (“fragmented”) en la capa de red
 - Un datagrama se convierte en varios datagramas
 - Se “rearma” en el **destino final**
 - Bits del encabezado IP se usan para identificar y ordenar fragmentos relacionados



Fragmentación y re-ensamble IP

Ejemplo

- 4000 byte datagram (20 bytes header IP + 3980 en campo datos datagrama)
- MTU = 1500 bytes

1480 bytes en campo de datos de datagrama
offset en bloques de 8 bytes
 $1480/8 = 185$

Largo datos último = $3980 - 1480 - 1480 = 1020$
Más header => 1040

byte insertado en posición $370 * 8 = 2960$

Un datagrama grande es transformado en varios datagramas más pequeños

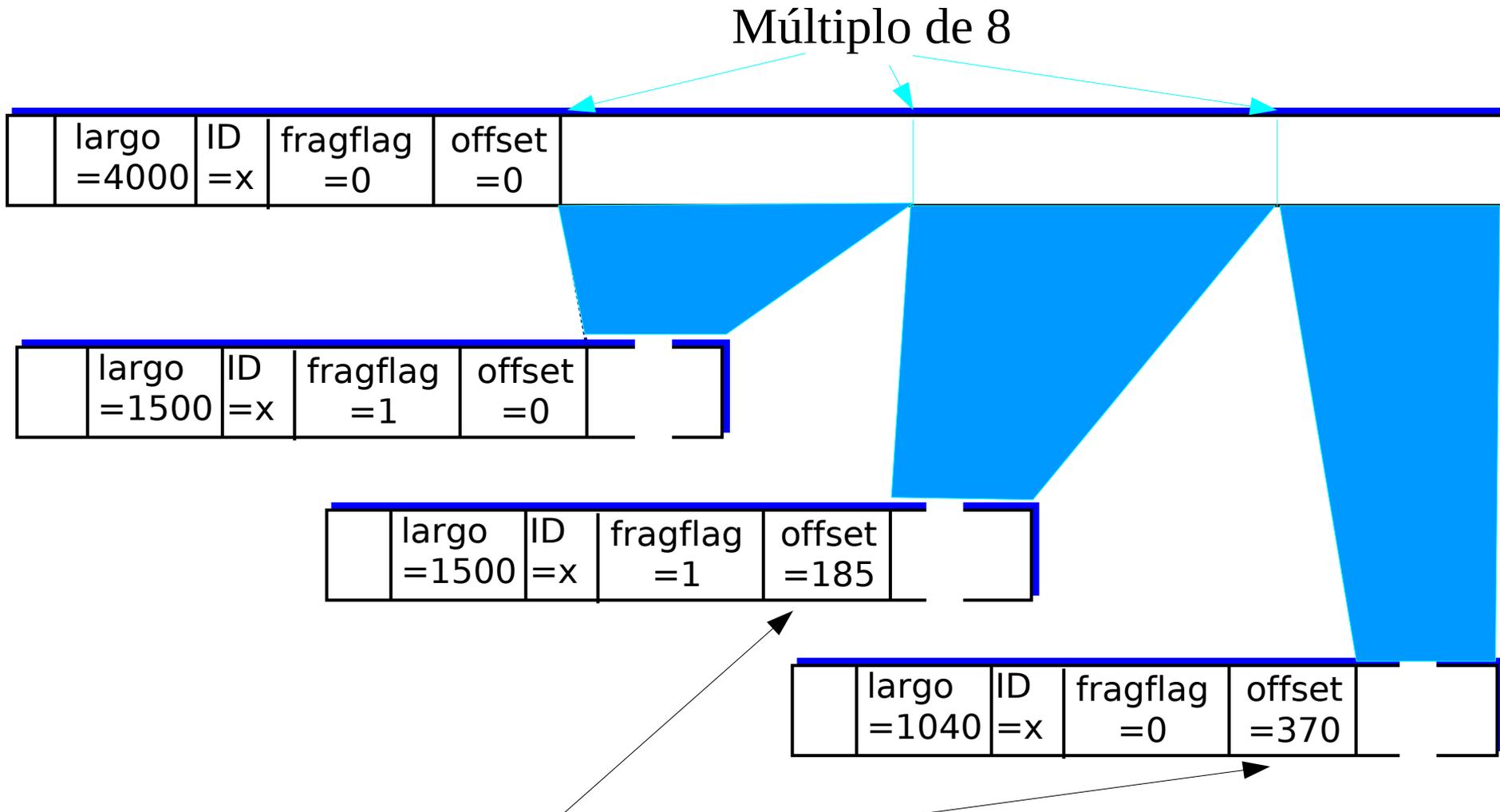
	largo =4000	ID =x	fragflag =0	offset =0	
--	----------------	----------	----------------	--------------	--

	largo =1500	ID =x	fragflag =1	offset =0	
--	----------------	----------	----------------	--------------	--

	largo =1500	ID =x	fragflag =1	offset =185	
--	----------------	----------	----------------	----------------	--

	largo =1040	ID =x	fragflag =0	offset =370	
--	----------------	----------	----------------	----------------	--

Fragmentación y re-ensamble



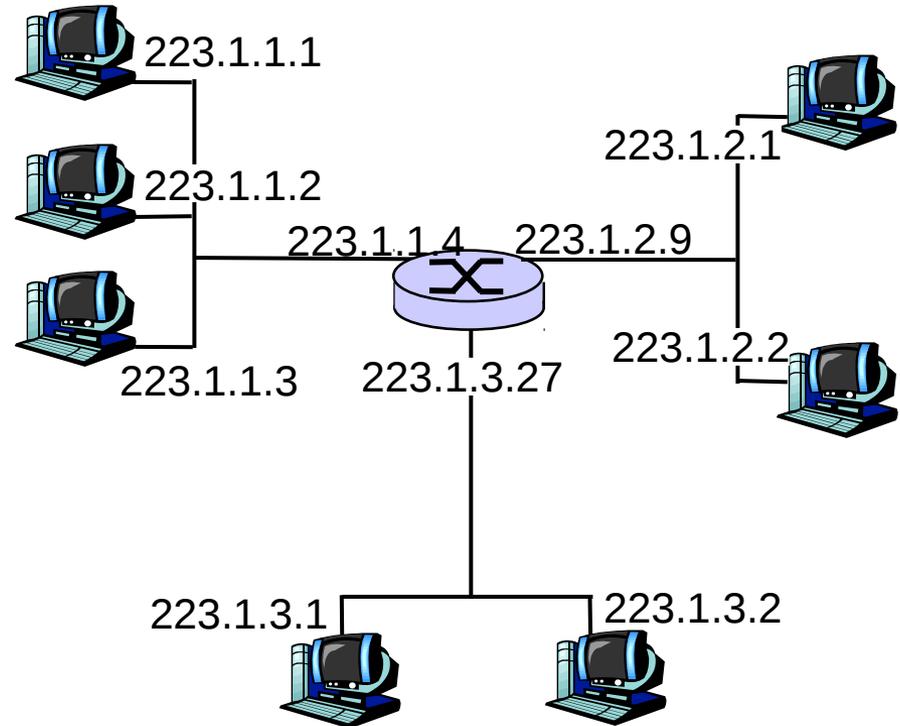
Posición al re-ensamble = $\text{offset} * 8$

Capítulo 4: Capa de Red

- 4.1 Introducción
- 4.2 Circuitos virtuales y redes de datagramas
- 4.3 ¿Qué hay dentro de un router?
- **4.4 IP: Internet Protocol**
 - Formato de Datagrama
 - **Direccionamiento IPv4**
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 Algoritmo de ruteo
 - Estado de enlace
 - Vector de Distancias
 - Ruteo Jerárquico
- 4.6 Ruteo en la Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Ruteo Broadcast y multicast

Direccionamiento IP: introducción

- **Dirección IP:** identificador de 32-bit del host, *interfaz* del router
- **Interfaz:** conexión entre host y router, enlace físico
 - Router típicamente tiene múltiples interfaces (bocas)
 - Host puede tener múltiples interfaces
 - Dirección IP está asociada a cada interfaz



$$223.1.1.1 = \underbrace{11011111}_{223} \underbrace{00000001}_{1} \underbrace{00000001}_{1} \underbrace{00000001}_{1}$$

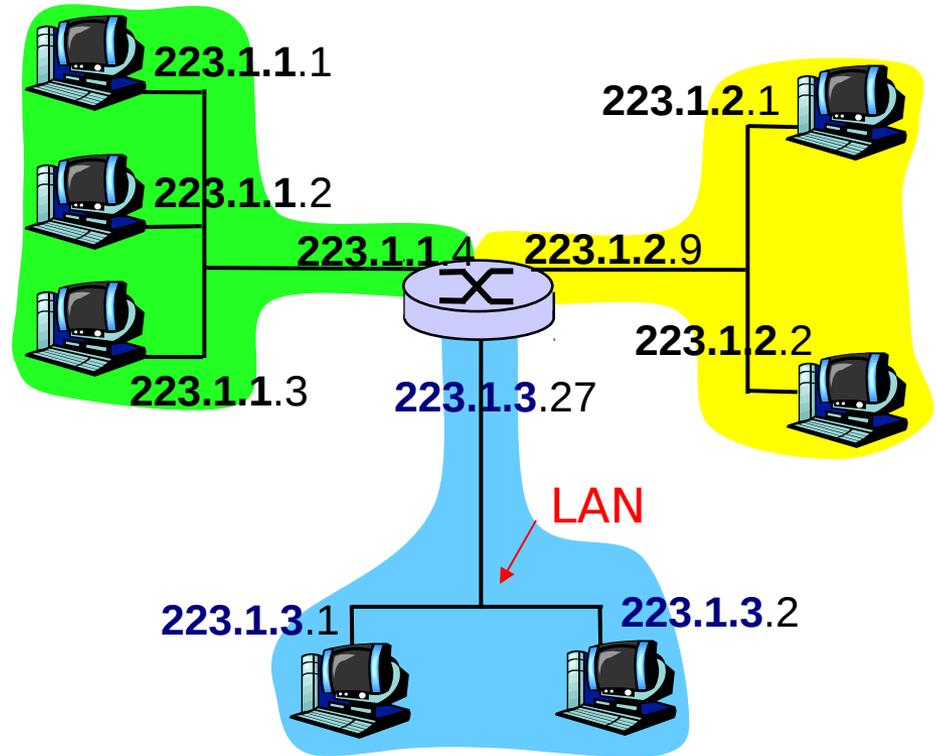
Sub-redes

□ Dirección IP:

- Direc. sub-red (bits más significativos)
- Direc. del host (bits menos significativos)

□ ¿Qué es una sub-red?

- Grupo de máquinas que poseen la misma dirección de sub-red (parte más significativa)
- Se podrían interconectar sin tener un router (e.g. con un switch o hub)



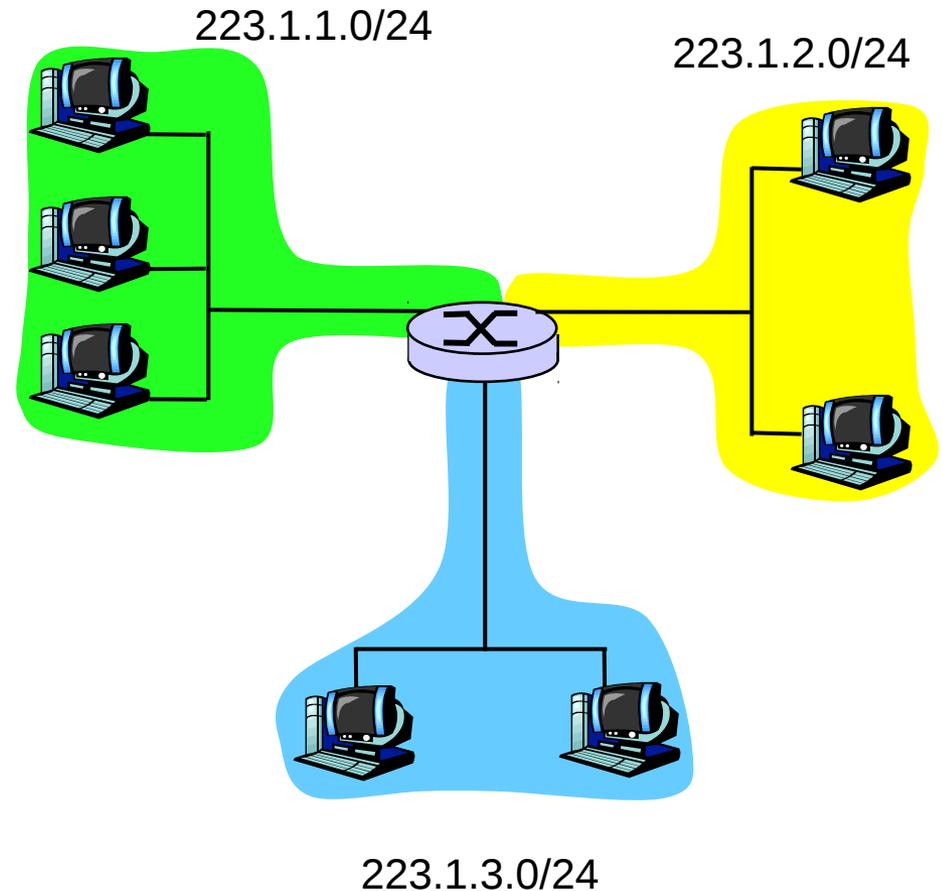
Red consiste de 3 sub-redes

Las direcciones IP están organizadas jerárquicamente

Sub-redes

Receta

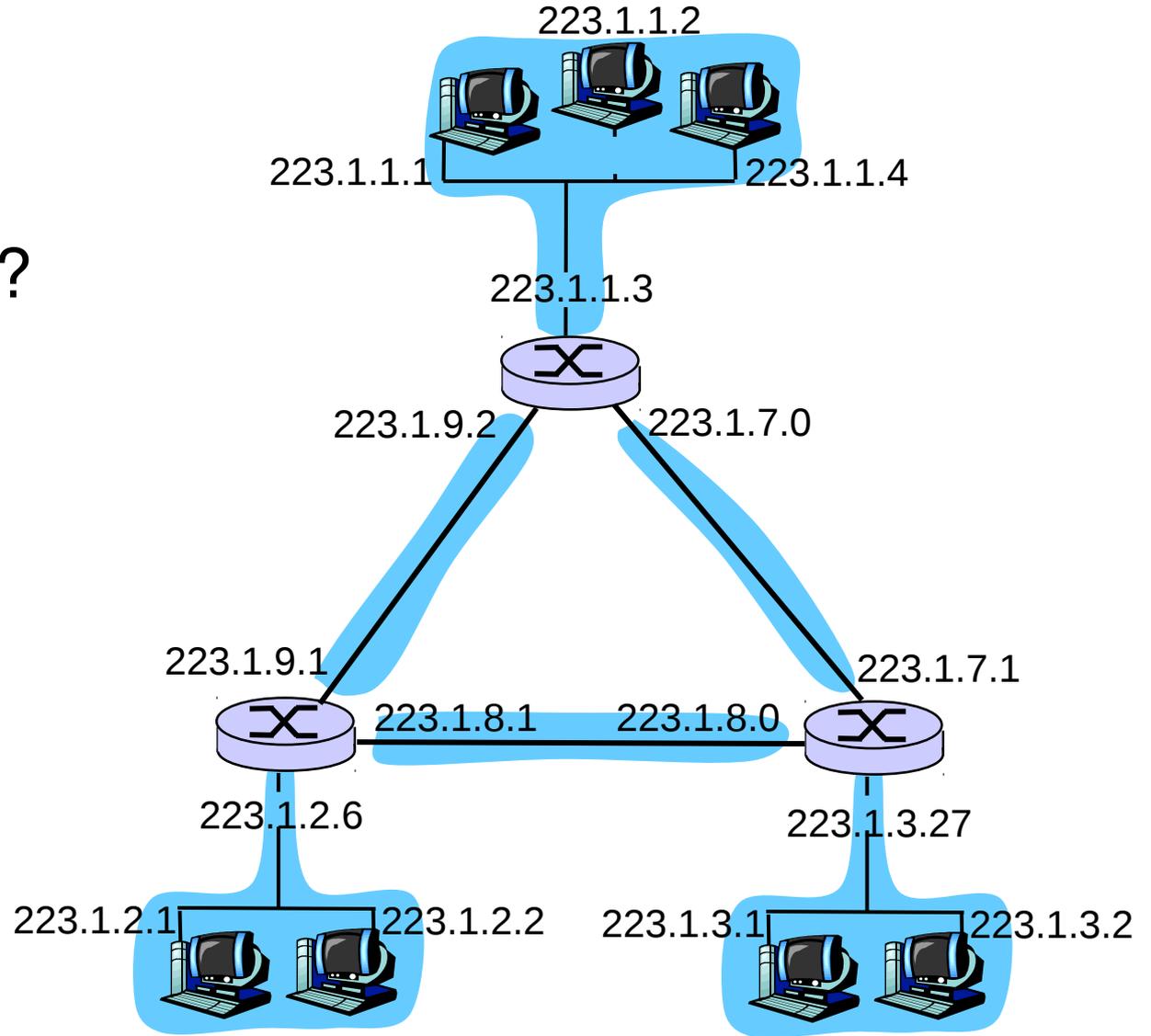
- Para determinar las sub-redes, desconectar las interfaces del router para crear redes tipo islas independientes.
- Cada red independiente es una **sub-red**.



Máscara de sub-red: /24
=> 24 primeros bits
comunes en la subred

Sub-redes

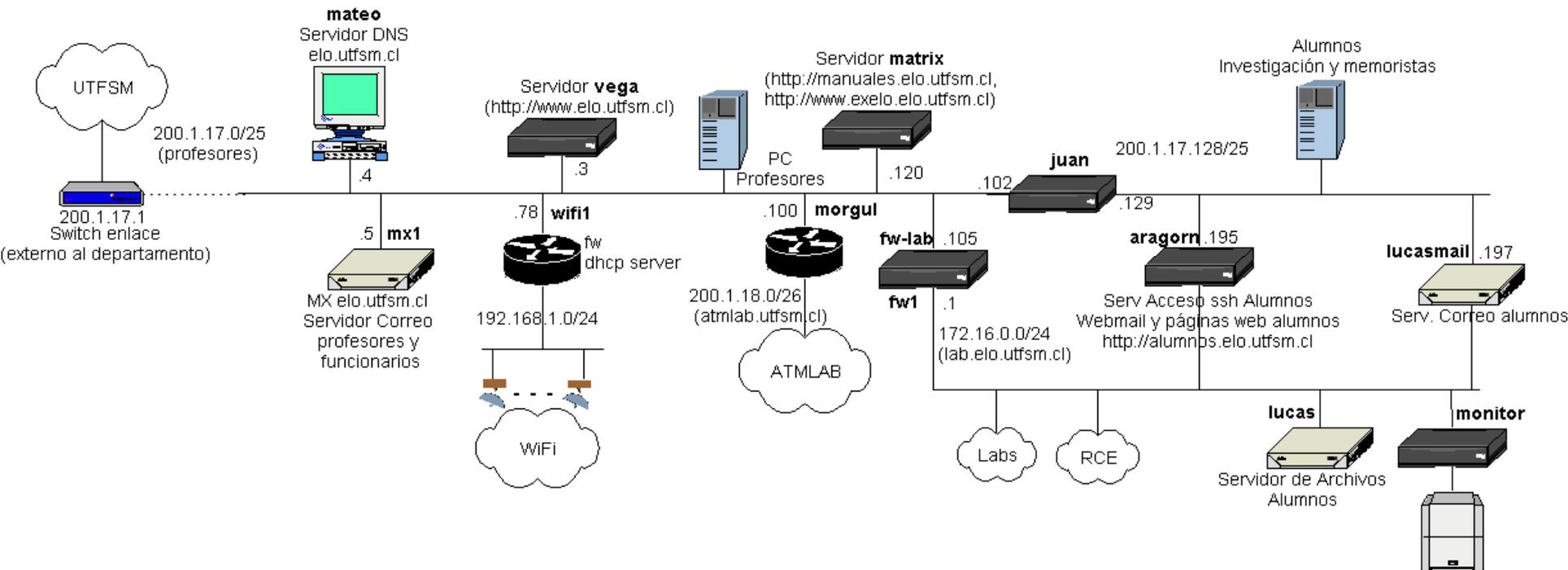
Cuántas hay?



RED ELO año 2004

http://www.elo.utfsm.cl/~rce/images/stories/rce/diagrama_red_elo_todo.png

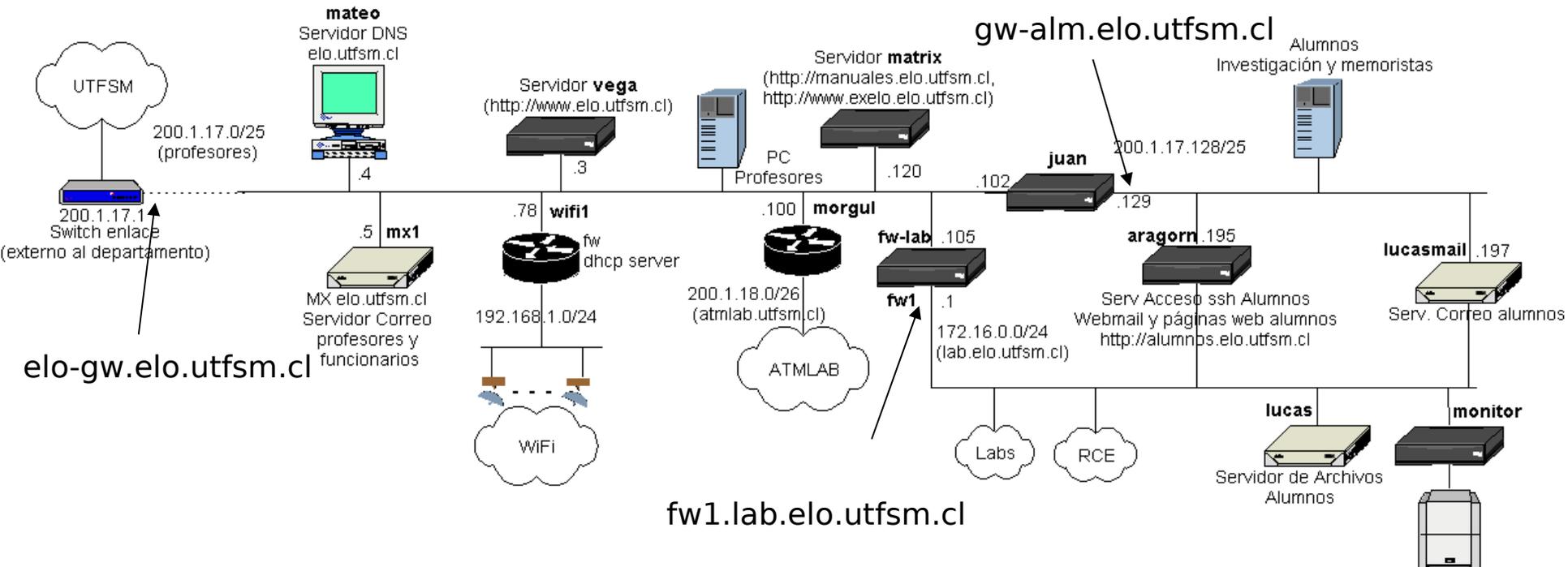
Diagrama de conexiones lógicas en Elo.



Nota: Las IPs: 192.168.1.0 y 10.0.0.0 son para redes privadas. Para que estas máquinas sean vistas de afuera se tiene que usar NAT.

Ejemplo: traceroute desde red ELO (es esto vigente?)

Diagrama de conexiones lógicas en Elo.



```
aragorn:~$ traceroute www.google.com
```

```
traceroute: Warning: www.google.com has multiple addresses; using 216.239.37.104
```

```
traceroute to www.l.google.com (216.239.37.104), 30 hops max, 38 byte packets
```

```
1 gw-alm (200.1.17.129) 0.151 ms 0.128 ms 0.130 ms
```

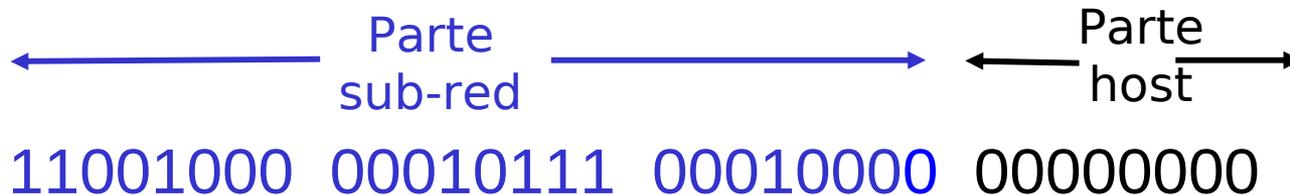
```
2 elo-gw (200.1.17.1) 0.668 ms 2.125 ms 0.590 ms
```

```
3 * * *
```

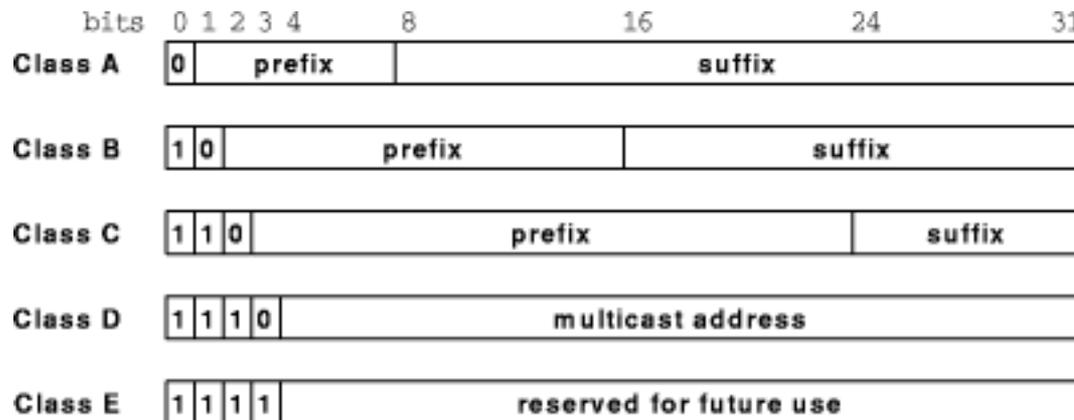
Direccionamiento IP: CLASES

Clases (el pasado, algo del lenguaje se ha mantenido)

- Porción de dirección de la red (sub-red) se hace de tamaño fijo
- Ejemplo: Clase C



Classful addressing: Esquema original (con clases A, B, C, D, E)



Clase A = subnet /8
Clase B = subnet /16
Clase C = subnet /24

¿Qué es una dirección IP privada?

- Al comienzo se pensó que cada máquina debía tener una dirección única en el planeta.
- Esto no fue siempre necesario pues redes privadas, como aquellas que conectan máquinas en una industria, no requieren conexión a Internet.
- Para este propósito se reservó una subred de cada clase para crear redes privadas. Éstas son:

10.0.0.0/8 con 2^{24} direcciones => **00001010.xxxxxxxx.X.X**

172.16.0.0/12 con 2^{20} direcciones => **10101100.0001xxxx.X.X**

192.168.0.0/16 con 2^{16} direcciones => **11000000.10101000.XX**

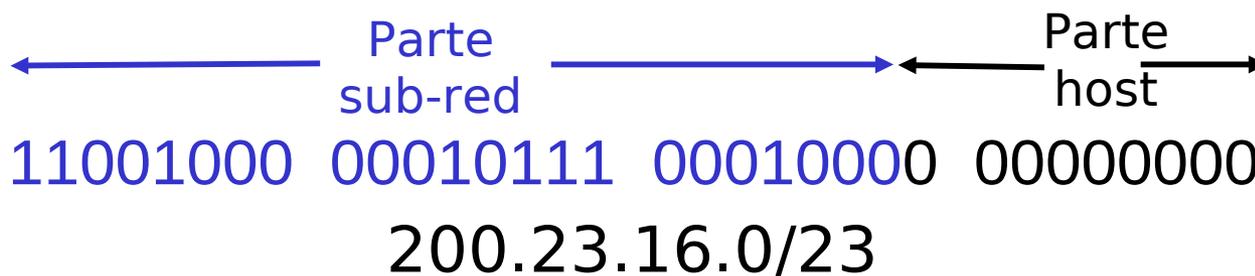
Agotamiento de Direcciones IP

- Conforme más subredes se crearon y conectaron a Internet, las direcciones IP se comenzaron a agotar.
- Se desarrollaron dos estrategias para extender el uso de Ipv4:
 - Flexibilizar el tamaño de las subredes: surge **C**lassless **I**nter**D**omain **R**outing.
 - Permitir acceso a Internet de redes privadas a través del uso de **NAT** (Network Address Translation)

Direccionamiento IP: CIDR

CIDR: Classless InterDomain Routing

- ▣ Porción de dirección de la red (subred) se hace de tamaño arbitrario
- ▣ Formato de dirección: **a.b.c.d/x**, donde x es el # de bits de la dirección de sub-red



Direcciones IP: ¿Cómo obtener una?

Q: ¿Cómo es que un *host* obtiene su dirección IP?

- Configurada por el administrador en un archivo
 - Windows: control-panel->network->configuration->tcp/ip->properties
 - Linux: /etc/network/interfaces
- **DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol:** el host obtiene la dirección dinámicamente desde un servidor
 - “plug-and-play” (más adelante)

Direcciones IP: ¿Cómo obtener una?

Q: ¿Cómo la red obtiene la dirección de subred parte de la dirección IP?

A: Obteniendo una porción del espacio de direcciones del proveedor ISP.

ISP's block	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00010000</u>	00000000	200.23.16.0/20
Organization 0	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00010000</u>	00000000	200.23.16.0/23
Organization 1	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00010010</u>	00000000	200.23.18.0/23
Organization 2	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00010100</u>	00000000	200.23.20.0/23
...
Organization 7	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00011110</u>	00000000	200.23.30.0/23

Direccionamiento IP: la última palabra...

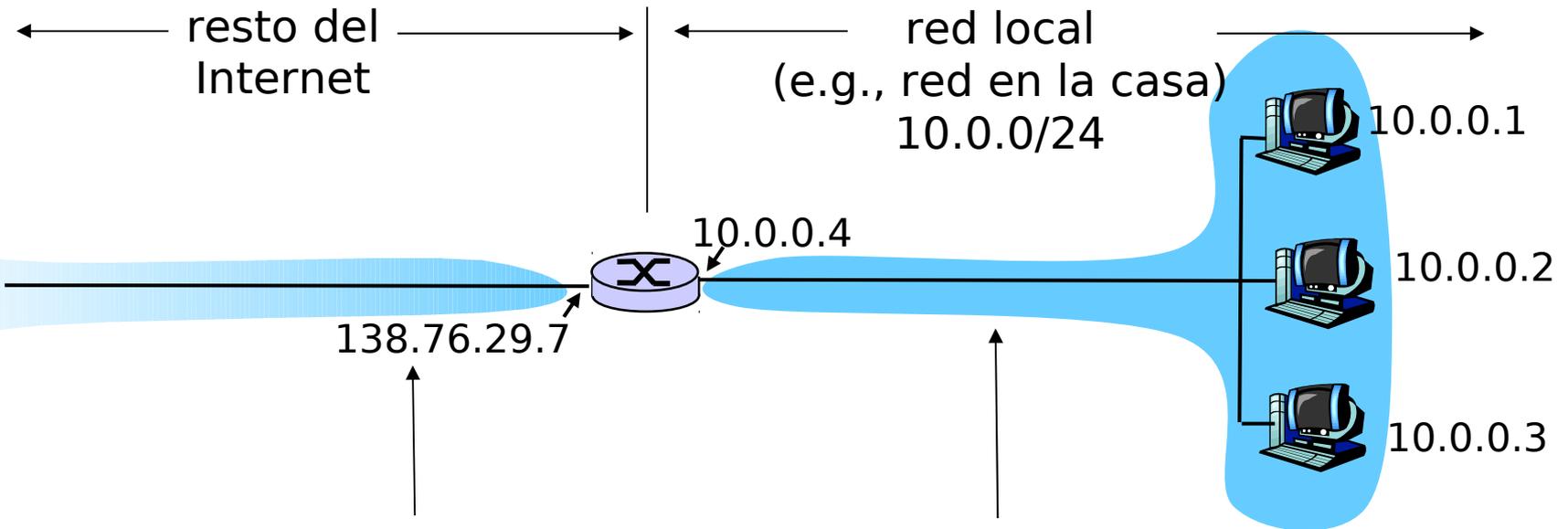
Q: ¿Cómo un ISP obtiene un bloque de direcciones?

A: **ICANN**: Internet **C**orporation for **A**ssigned **N**ames and **N**umbers

- ▣ Asigna direcciones
- ▣ Administra DNS
- ▣ Asigna nombre de dominio, resuelve disputas

Para latino América la oficina es LACNIC:
<http://lacnic.net/sp/registro/>

NAT: Network Address Translation



Todos los datagramas *saliendo* de la red local tienen la *misma* dirección NAT IP: 138.76.29.7, pero diferentes números de puerto

Datagramas con fuente o destino en esta red tienen direcciones 10.0.0/24 (También se puede usar: 192.168.0/24 ó 172.16.0/24)

NAT: Network Address Translation

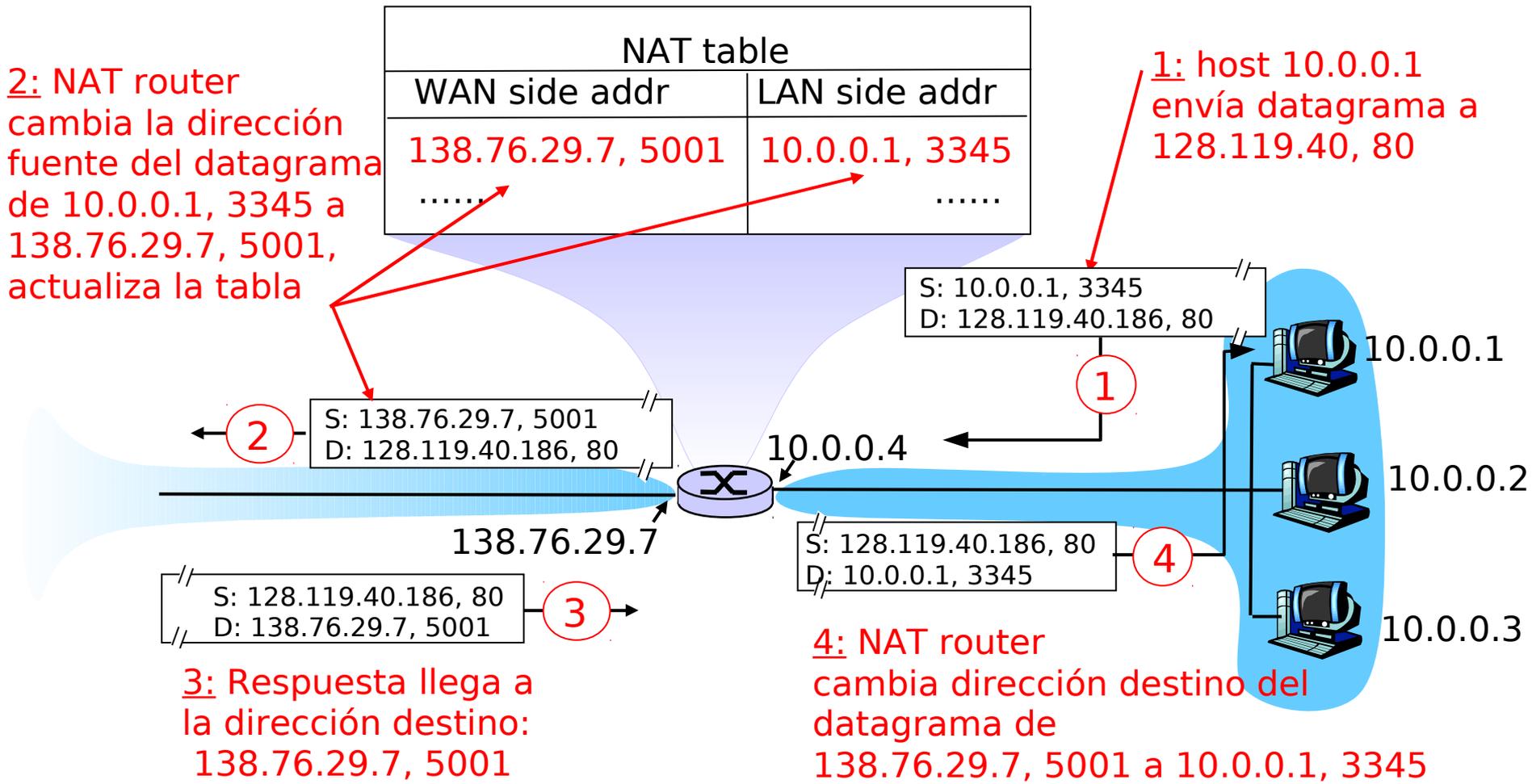
- **Motivación:** la idea es usar sólo una dirección IP para acceder al mundo exterior:
 - No necesitamos asignación de un rango del ISP: sólo una dirección externa es usada por todos los equipos internos
 - Podemos cambiar la dirección de equipos en red local sin notificar al mundo exterior
 - Podemos cambiar ISP sin cambiar direcciones de equipos en red local
 - Equipos dentro de la red no son explícitamente direccionables o visibles desde afuera (una ventaja de seguridad).

NAT: Network Address Translation

Implementación ruteador NAT:

- Para Datagramas salientes: **reemplazar** (IP fuente, # puerto) de cada datagrama saliente por (IP NAT, nuevo # puerto)
 - . . . Clientes y servidores remotos responderán usando (IP NAT, nuevo # puerto) como dirección destino.
- Recordar (en tabla de traducción NAT) cada par de traducción (IP fuente, # puerto) a (IP NAT, nuevo # puerto)
- Para Datagramas entrantes: **reemplazar** (IP NAT, nuevo # puerto) en campo destino de cada datagrama entrante por correspondiente (IP fuente, # puerto) almacenado en tabla NAT

NAT: Network Address Translation



NAT: Network Address Translation

- Campo número de puerto es de 16 bits:
 - Máx. ~65,000 conexiones simultáneas con una única dirección IP dentro de la LAN!
- NAT es controversial:
 - Routers deberían procesar sólo hasta capa 3
 - Viola argumento extremo-a-extremo
 - Posiblemente los NAT deben ser tomados en cuenta por los diseñadores de aplicaciones, eg, aplicaciones P2P
 - En lugar de usar NAT, la carencia de direcciones debería ser resuelta por IPv6

Capítulo 4: Capa de Red

- 4.1 Introducción
- 4.2 Circuitos virtuales y redes de datagramas
- 4.3 ¿Qué hay dentro de un router?
- **4.4 IP: Internet Protocol**
 - Formato de Datagrama
 - Direccionamiento IPv4
 - **ICMP**
 - IPv6
- 4.5 Algoritmo de ruteo
 - Estado de enlace
 - Vector de Distancias
 - Ruteo Jerárquico
- 4.6 Ruteo en la Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Ruteo Broadcast y multicast

ICMP: Internet Control Message Protocol

- Usado por hosts & routers para comunicar información a nivel de la red
 - Reporte de errores: host inalcanzable, o red, o puerto, o protocolo
 - Echo request/reply (usado por ping)
 - Usado por traceroute (TTL expired, dest port unreachable)
- Opera en capa transporte:
 - ICMP son llevados por datagramas IP
- **Mensajes ICMP:** tipo y código de error, más primeros 8 bytes del datagrama que causó el error

<u>Type</u>	<u>Code</u>	<u>description</u>
0	0	echo reply (ping)
3	0	dest. network unreachable
3	1	dest host unreachable
3	2	dest protocol unreachable
3	3	dest port unreachable
3	6	dest network unknown
3	7	dest host unknown
4	0	source quench (congestion control - seldom used)
8	0	echo request (ping)
9	0	route advertisement
10	0	router discovery
11	0	TTL expired
12	0	bad IP header

Traceroute e ICMP

- La fuente envía una serie de segmentos UDP al destino
 - Primero usa TTL=1
 - Luego usa TTL=2, etc.
 - Número de puerto probablemente no usado
 - Cuando el n-ésimo datagrama llega a n-ésimo router:
 - Router descarta el datagrama, y
 - Envía a la fuente un mensaje ICMP “TTL expirado” (tipo 11, código 0)
 - Mensaje incluye nombre del router y dirección IP
 - Cuando mensaje ICMP llega, la fuente calcula el RTT
 - Traceroute hace esto 3 veces
- ## Criterio de parada
- Segmento UDP eventualmente llega al host destino
 - Host destino retorna paquete ICMP “puerto inalcanzable” (tipo 3, código 3)
 - Cuando la fuente recibe este ICMP, para.

Capítulo 4: Capa de Red

- 4.1 Introducción
- 4.2 Circuitos virtuales y redes de datagramas
- 4.3 ¿Qué hay dentro de un router?
- **4.4 IP: Internet Protocol**
 - Formato de Datagrama
 - Direccionamiento IPv4
 - ICMP
 - **IPv6**
- 4.5 Algoritmo de ruteo
 - Estado de enlace
 - Vector de Distancias
 - Ruteo Jerárquico
- 4.6 Ruteo en la Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Ruteo Broadcast y multicast

IPv6

- **Motivación Inicial:** espacio de direcciones de 32-bit pronto serán completamente asignadas.

- Motivación adicional:

- Formato de encabezado debería ayudar a acelerar el procesamiento y re-envío

- Cambiar encabezado para facilitar QoS

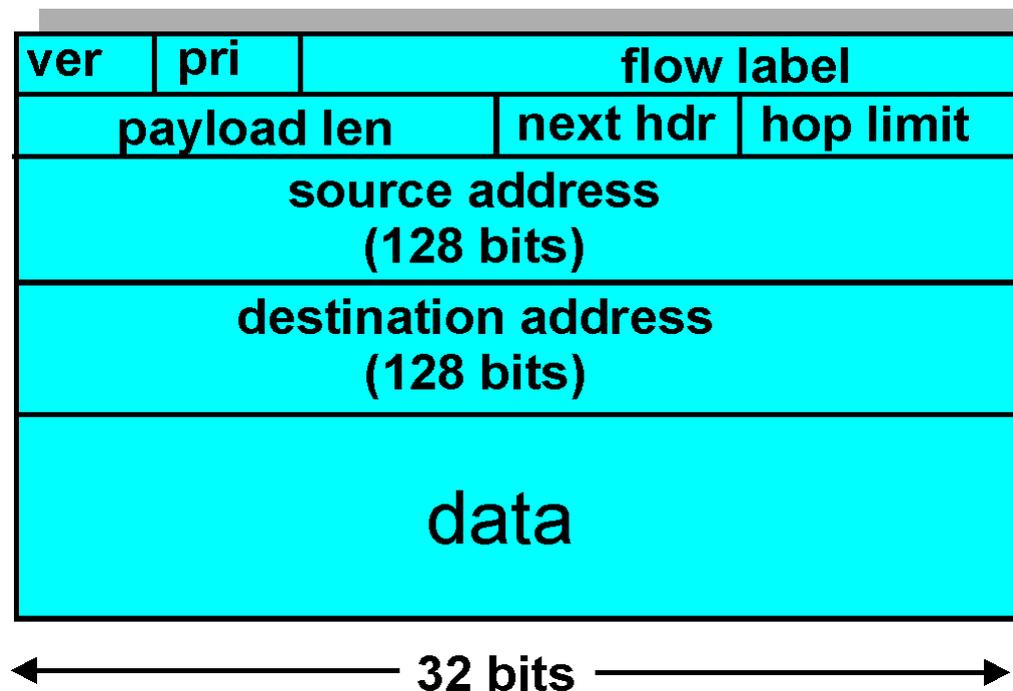
- Formato de datagrama IPv6:**

- Encabezado de largo fijo de 40 bytes (se duplicó)

- Fragmentación no es permitida

Encabezado IPv6

- **Prioridad:** identifica prioridad entre datagramas en flujo
- **Flow Label:** identifica datagramas del mismo “flujo.”
(concepto de “flujo” no está bien definido).
- **Next header:** identifica protocolo de capa superior de los datos



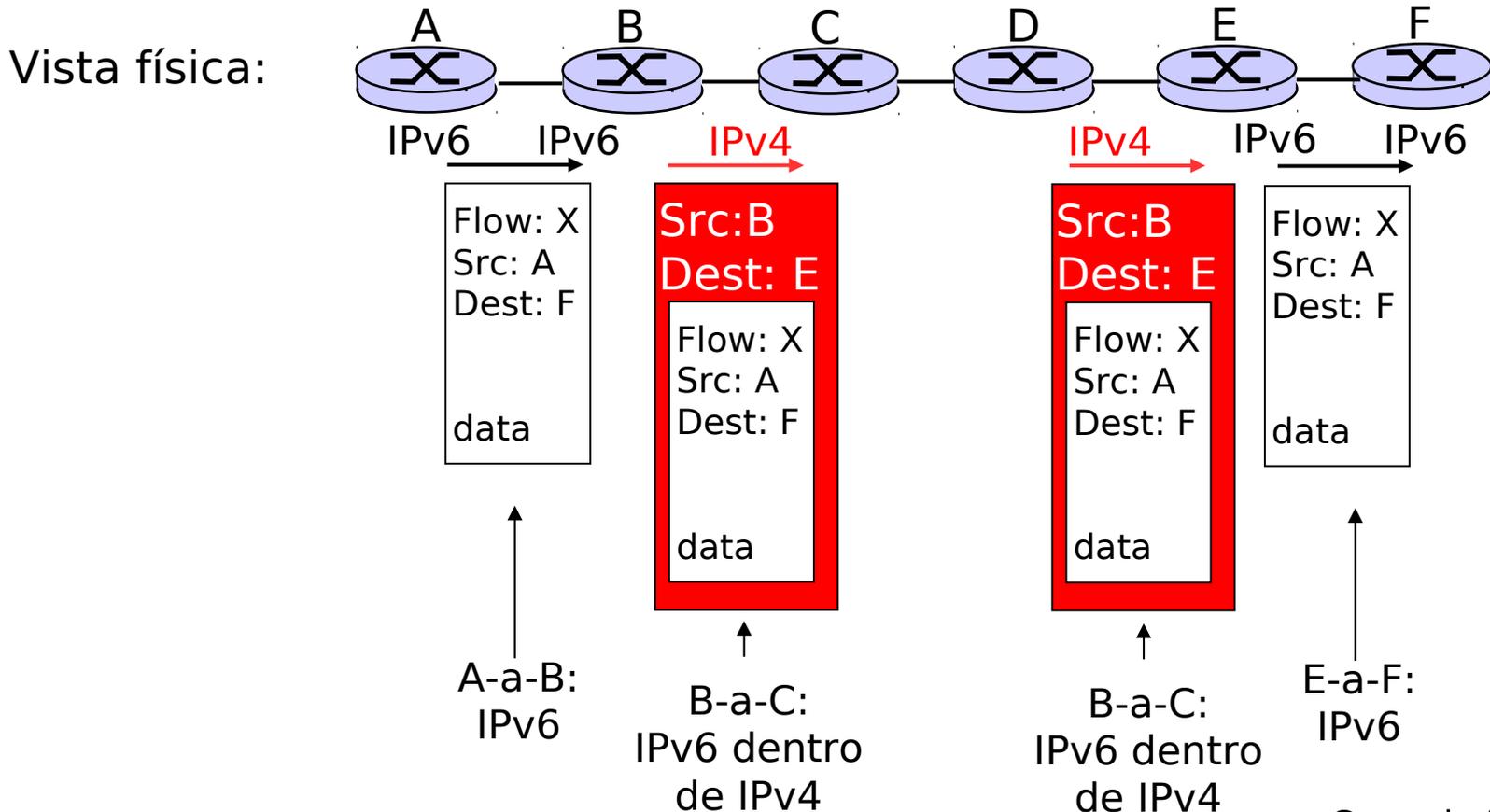
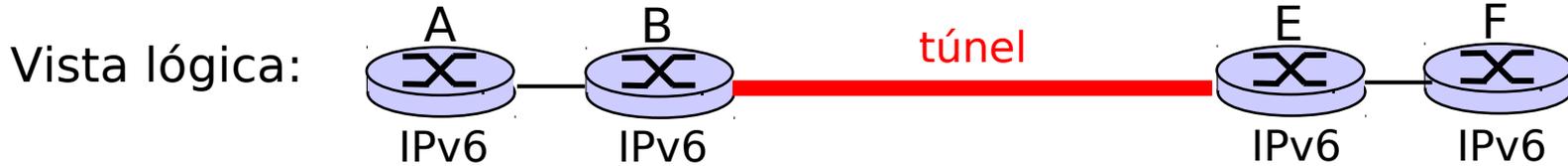
Otros cambios de IPv4 a v6

- *Checksum*: eliminada enteramente para reducir tiempo de procesamiento en cada router al ser redundante, ya está en capa transporte y enlace (Ethernet)
- *Options*: permitidas, pero fuera del encabezado, indicado por campo “Next Header”
- *ICMPv6*: nueva versión de ICMP
 - Tipos de mensajes adicionales, e.g. “Paquete muy grande” (usado en el descubrimiento de MTU: unidad máxima de transmisión)
 - Funciones para administrar grupos multicast

Transición de IPv4 a IPv6

- No todos los routers pueden ser actualizados (upgraded) simultáneamente
 - No es posible definir un día para cambio “día de bajada de bandera”
 - ¿Cómo operará la red con routers IPv4 e IPv6 mezclados?
- **“*Tunneling*”**: IPv6 es llevado como carga en datagramas IPv4 entre routers IPv4

Tunneling



Capítulo 4: Capa de Red

- 4.1 Introducción
- 4.2 Circuitos virtuales y redes de datagramas
- 4.3 ¿Qué hay dentro de un router?
- 4.4 IP: Internet Protocol
 - Formato de Datagrama
 - Direccionamiento IPv4
 - ICMP
 - IPv6
- 4.5 **Algoritmos de ruteo**
 - Estado de enlace
 - Vector de Distancias
 - Ruteo Jerárquico
- 4.6 Ruteo en la Internet
 - RIP
 - OSPF
 - BGP
- 4.7 Ruteo Broadcast y multicast