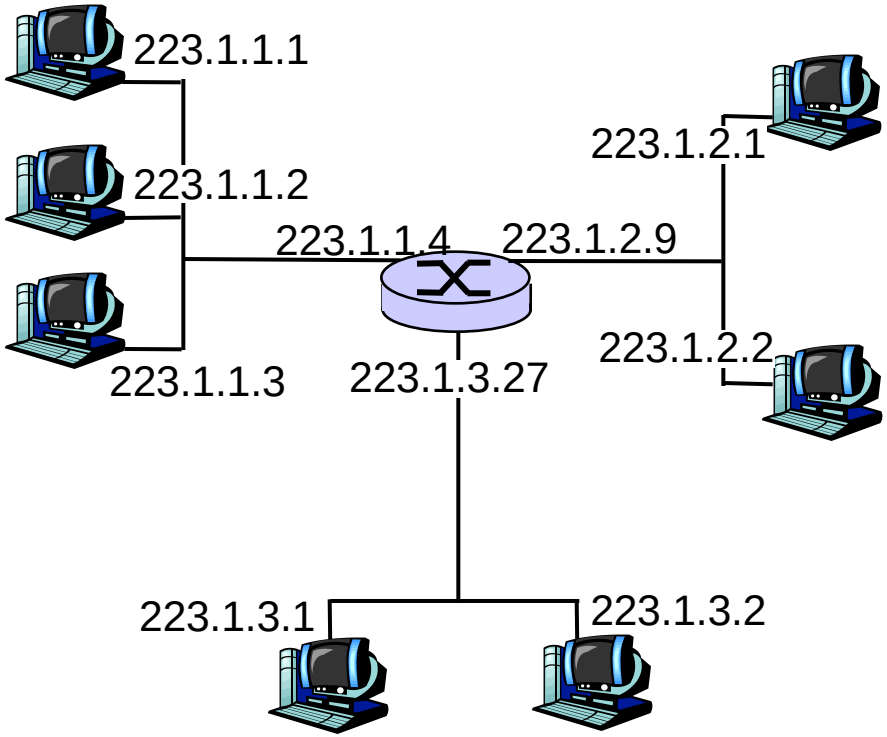
Cap. 4: Capa de red

- 4. 1 Introducción
- 4.2 circuitos virtuales y datagramas
- 4.3 dentro de un router
- 4.4 IP: Internet Protocol
  - formato de datagramas
  - direccionamiento IPv4
  - ICMP
  - IPv6
- 4.5 Algoritmos de enrutamiento
  - Link state
  - Distance Vector
  - Enrutamiento jerárquico
- 4.6 Enrutamiento en Internet
  - RIP
  - OSPF
  - BGP
- 4.7 Broadcast y multicast

Direccionamiento IP: introducción

- dirección IP: identificador de 32-bit para una *interfaz* de host o router
- *interfaz:* conexión entre el host/router y el enlace físico
  - un router tiene típicamente muchas intefaces
  - un host tiene típicamente una sola interfaz
  - una dirección IP asociada a cada interfaz

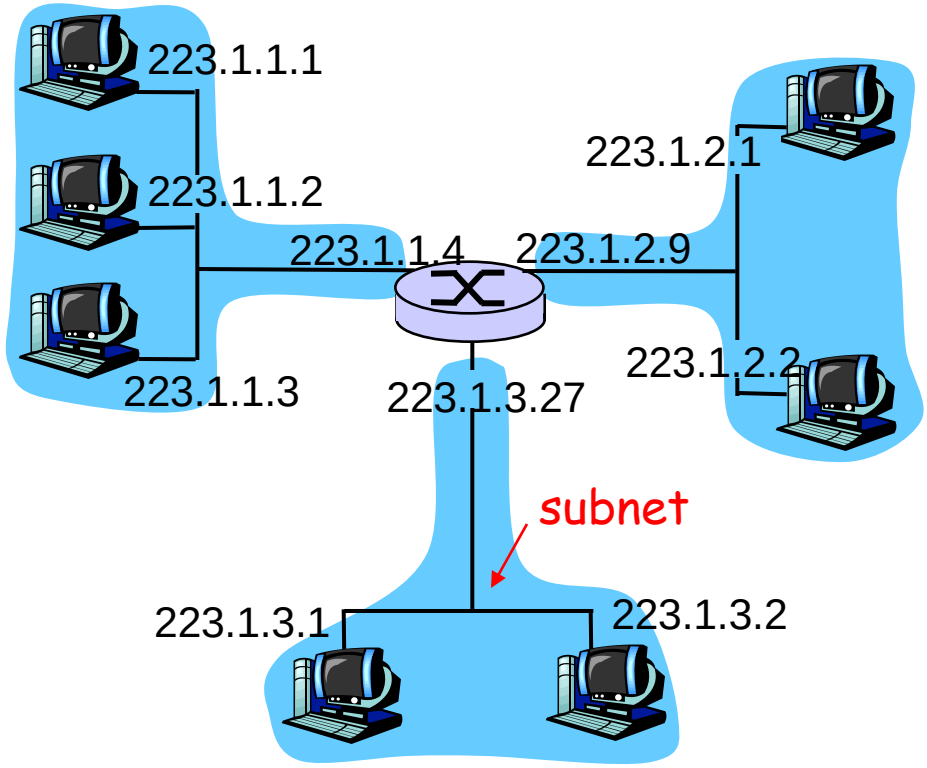


223.1.1.1 = 11011111 00000001 00000001 00000001

223 1 1 1

Subredes

- dirección IP:
  - subred (bits de mayor orden)
  - host (bits de menor orden)
- *qué es una subred?*
  - dispositivos cuya parte de subred de la dirección IP coincide…
  - … pueden alcanzarce sin la intervención de un router (están en el "mismo cable", como una LAN hogareña)

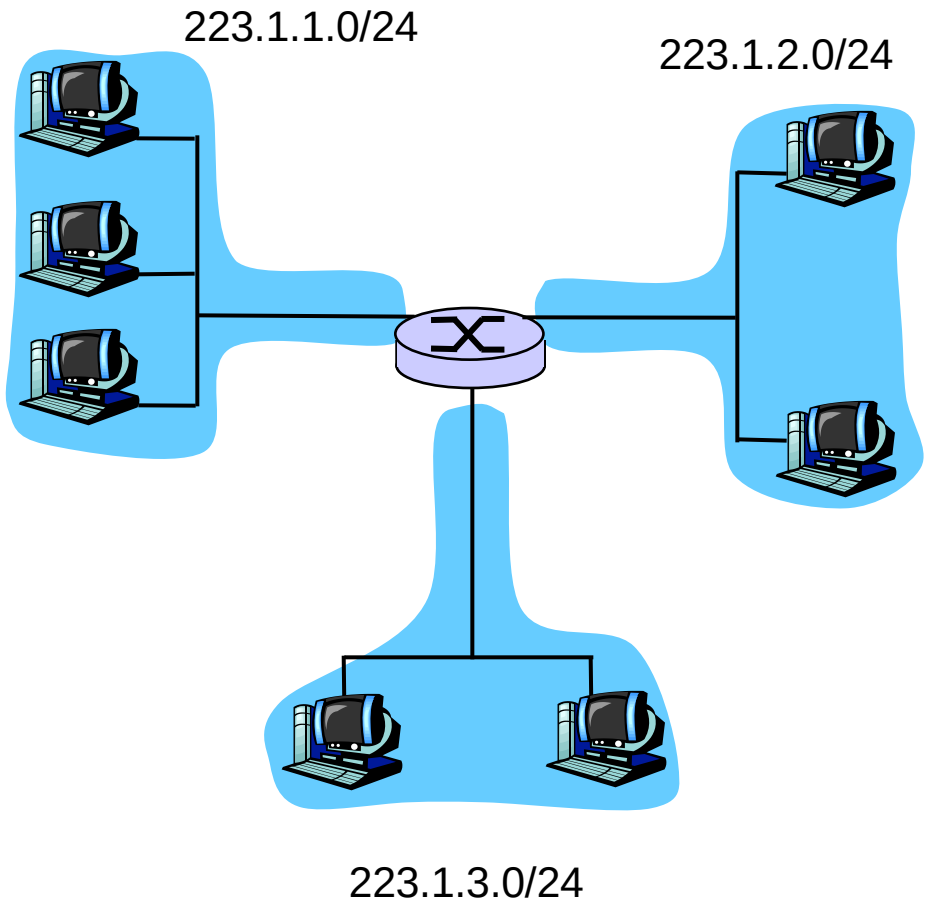


red integrada por 3 subredes

Subredes

"Receta"

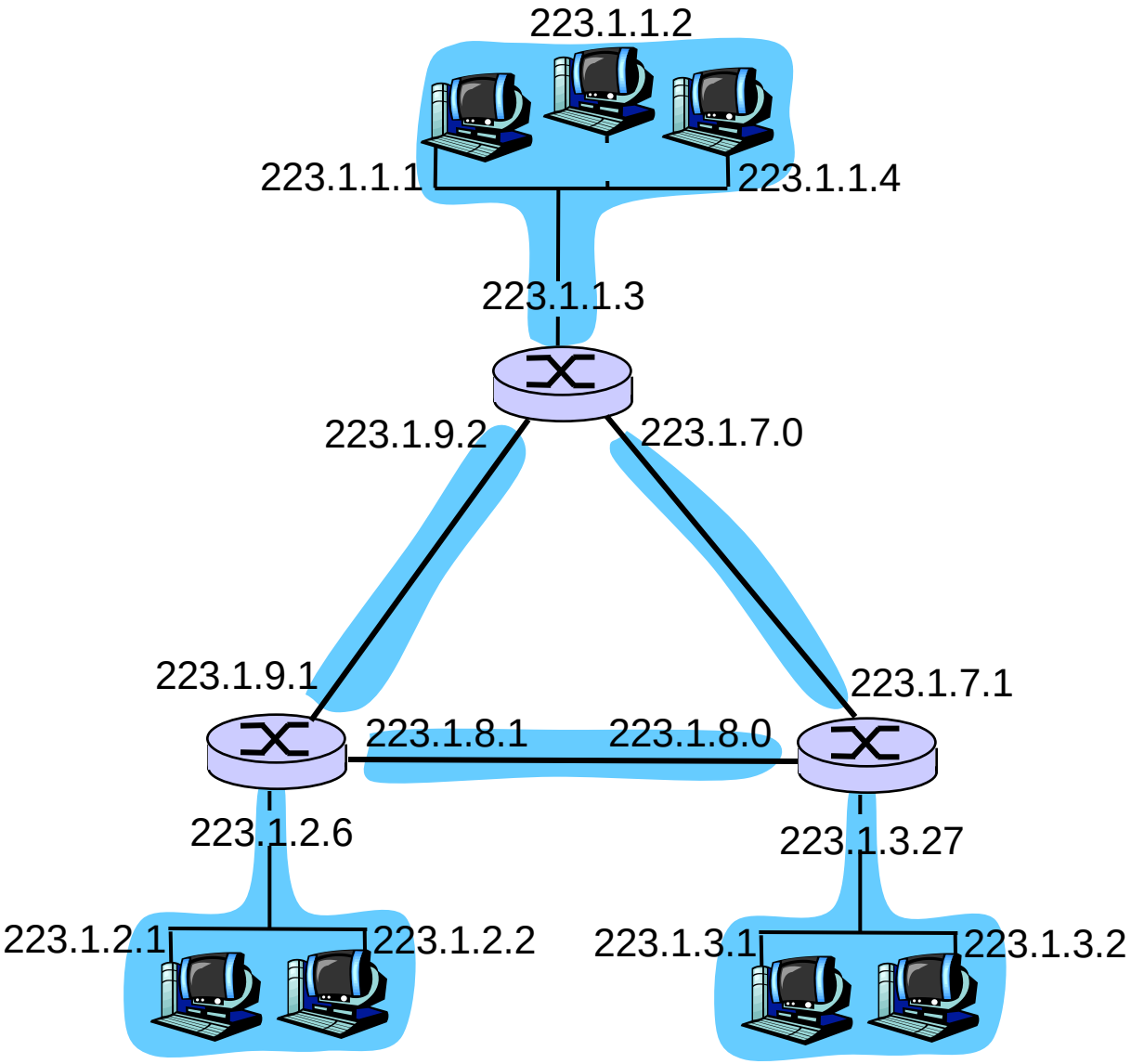
- Para determinar las subredes, desconectar cada interfaz de su host o router, creando islas de redes aisladas. Cada una de ellas en una subred.



Máscara de subred: /24

Subredes

Cuántas?



direccionamiento IP: CIDR

CIDR: Classless InterDomain Routing

- porción de subred de la dirección de largo arbitrario
- formato de la dirección: a.b.c.d/x, donde x es el no. de bits en la parte de subred de la dirección

200.23.16.0/23

cómo obtener una dirección IP?

P: Cómo hace un host para obtener una dirección IP?

- "hard-coded" por el administrador de sistemas
  - Windows: "control-panel->network->configuration->tcp/ip->properties"
  - UNIX: /etc/rc.config o similar
- DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol: obtención dinámica de una dirección, entregada por un servidor
  - "plug-and-play"

DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol

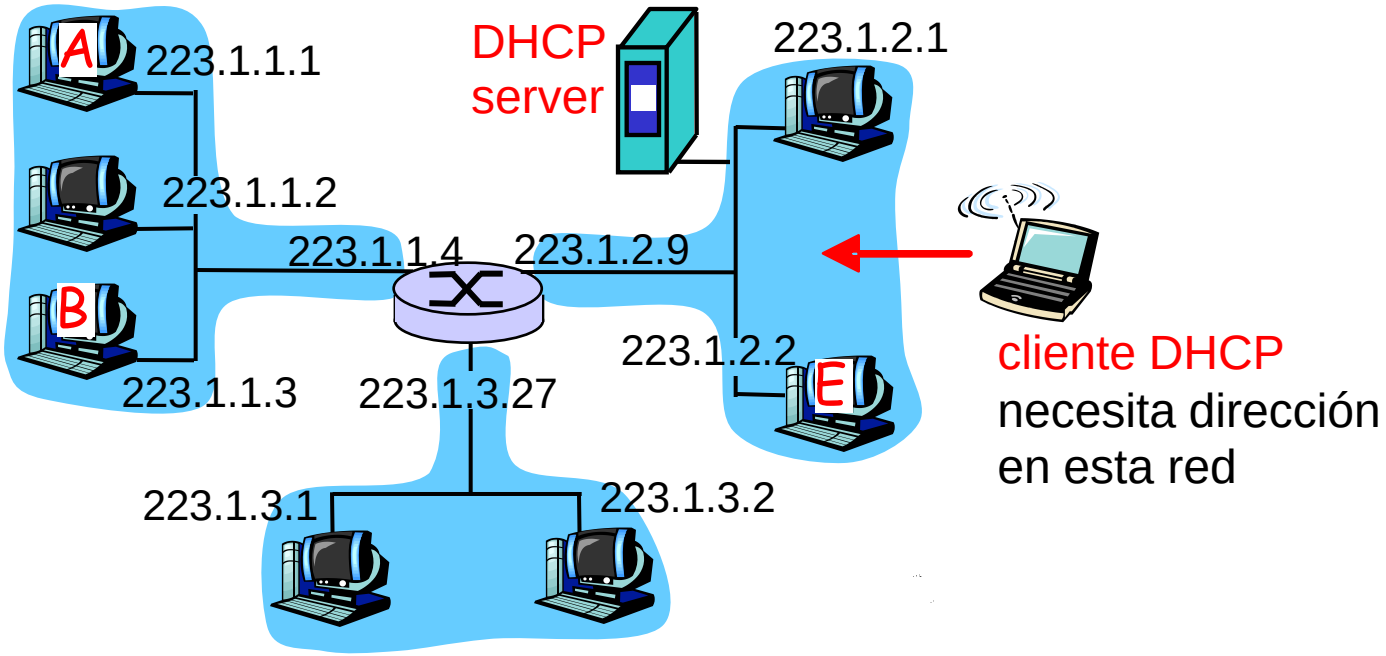
objetivo: permite a un host obtener una dirección IP *dinámicamente* de un servidor cuando se une a la red

- Renueva "lease" si la dirección está en uso
- Permite reuso de direcciones (solo se mantiene una dirección mientras el host está conectedo y "encendido")
- Soporte de usuarios móviles cuando "llegan" a una red

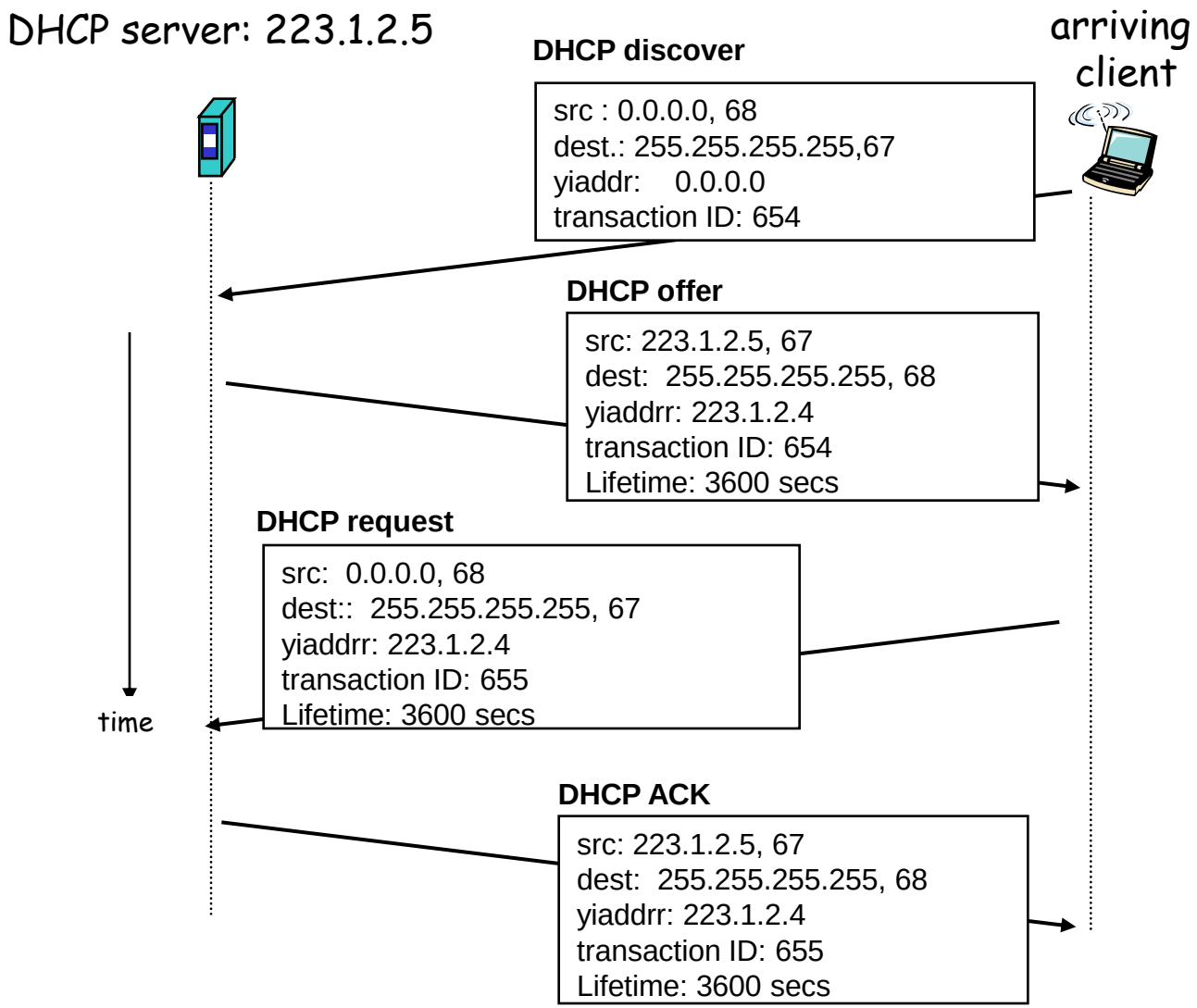
Carácterísticas del DHCP:

- host hace broadcast de mensaje "DHCP discover"
- servidor DHCP responde con mensaje "DHCP offer"
- host pide una dirección IP con el mensaje "DHCP request"
- servidor DHCP envía dirección en mensaje "DHCP ack"

Escenario DHCP cliente-servidor



Escenario DHCP cliente-servidor



cómo obtener una dirección IP?

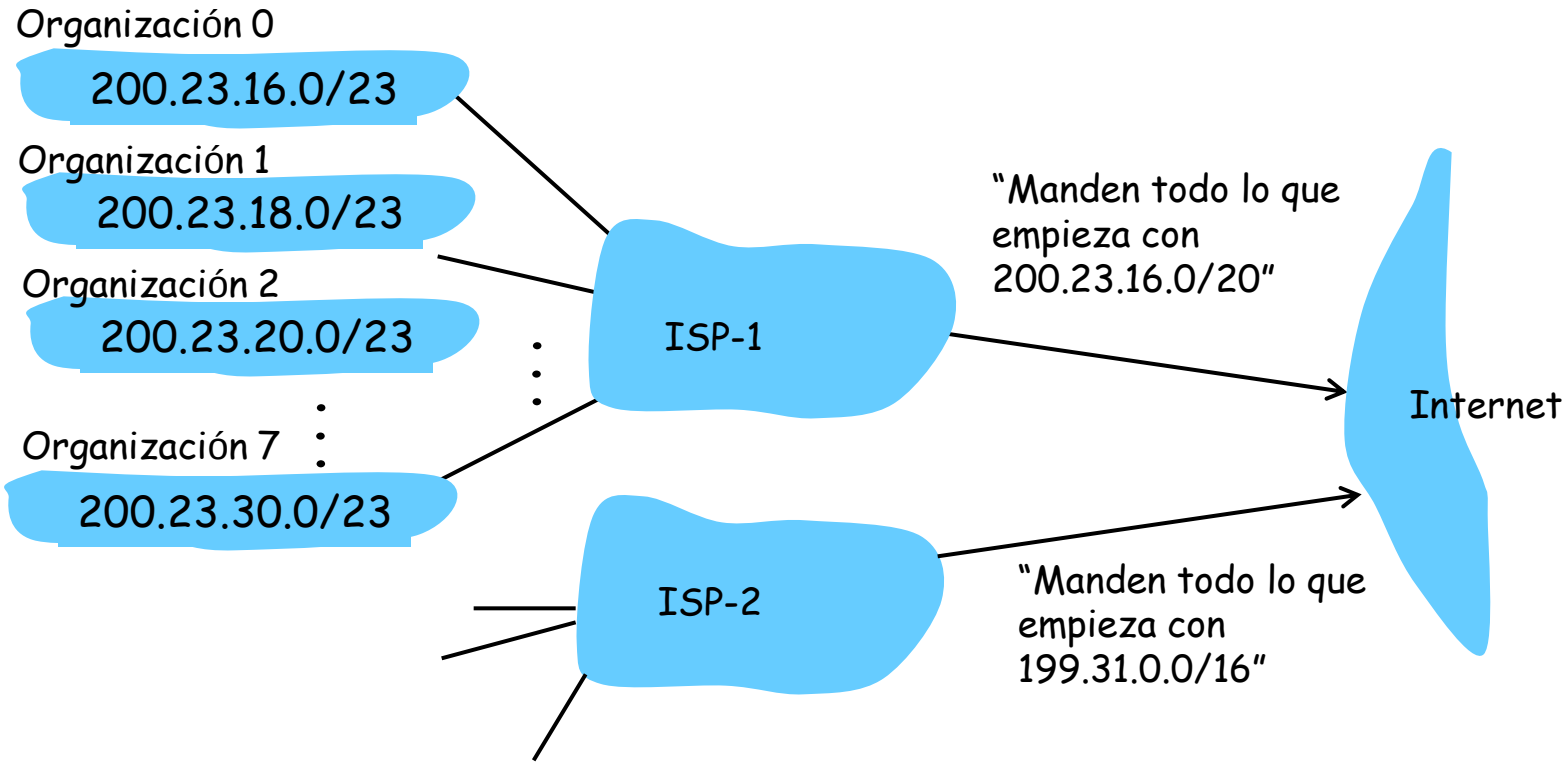
P: como hace la *red* para obtener la parte de sudred de la dirección IP?

R: recibe una porción del espacio de direccionamiento de su proveedor (ISP)

Bloque del ISP	11001000 00010111 00010000	00000000	200.23.16.0/20
Organización 0	11001000 00010111 0001000**0**	00000000	200.23.16.0/23
Organización 1	11001000 00010111 0001001**0**	00000000	200.23.18.0/23
Organización 2	11001000 00010111 0001010**0**	00000000	200.23.20.0/23
...	.....	....	....
Organización 7	11001000 00010111 0001111**0**	00000000	200.23.30.0/23

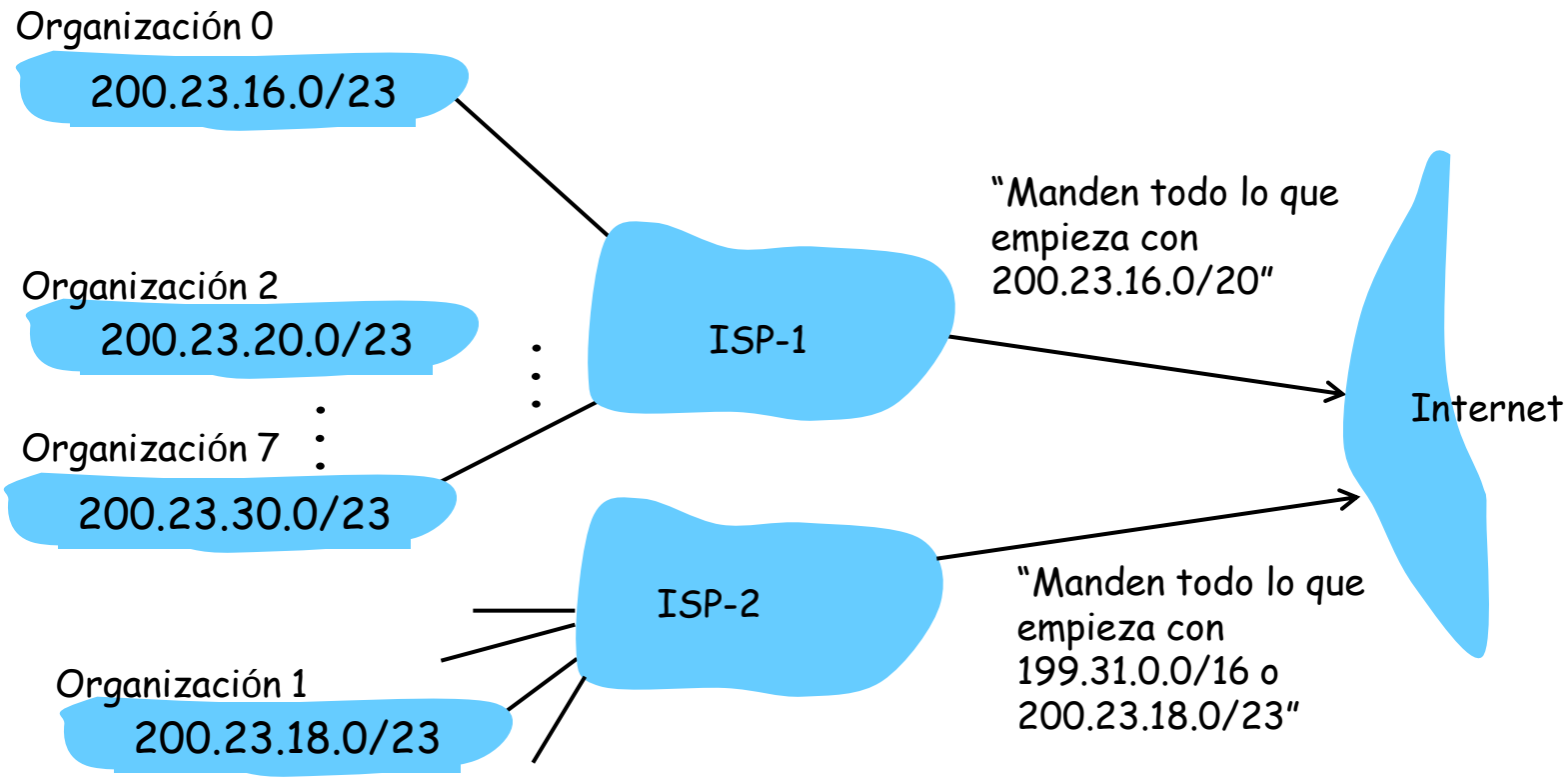
Direccionamiento jerárquico: agregación de rutas

El direccionamiento jerárquico permite publicar en forma eficiente la información de enrutamiento:



Direccionamiento jerárquico: rutas más específicas

Organización 1 se mueve de ISP-1 a ISP-2



"gobierno" de la internet…

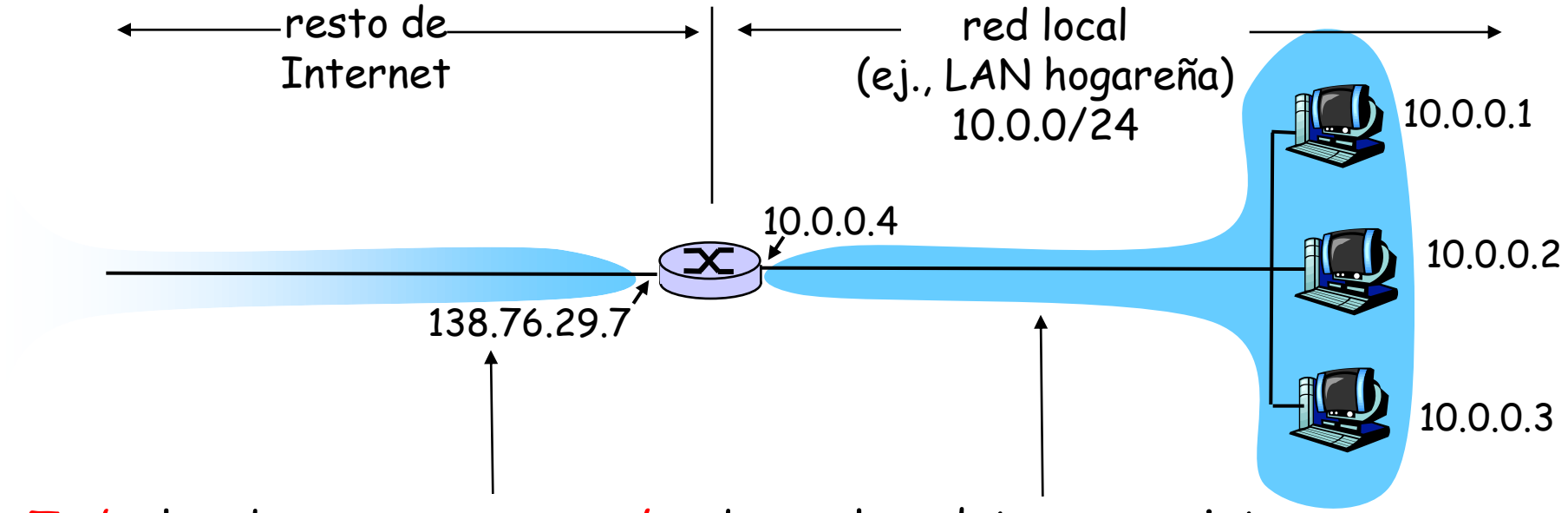
P: Cómo obtiene un ISP un bloque de direcciones?

R: ICANN: Internet Corporation for Assigned Names and Numbers

- asignar direcciones
- gestionar DNS
- asignar nombres de dominio, resolver disputas

- Regionalización
  - AFRINIC, RIPE NCC, ARIN, APNIC, LACNIC

NAT: Network Address Translation



Todos los datagramas *que salen* de la red local tienen la misma dirección IP: 138.76.29.7, se diferencian los puertos de origen

Los datagramas internos a la red tiene la dirección 10.0.0/24 de fuente/destino (como siempre)

NAT: Network Address Translation

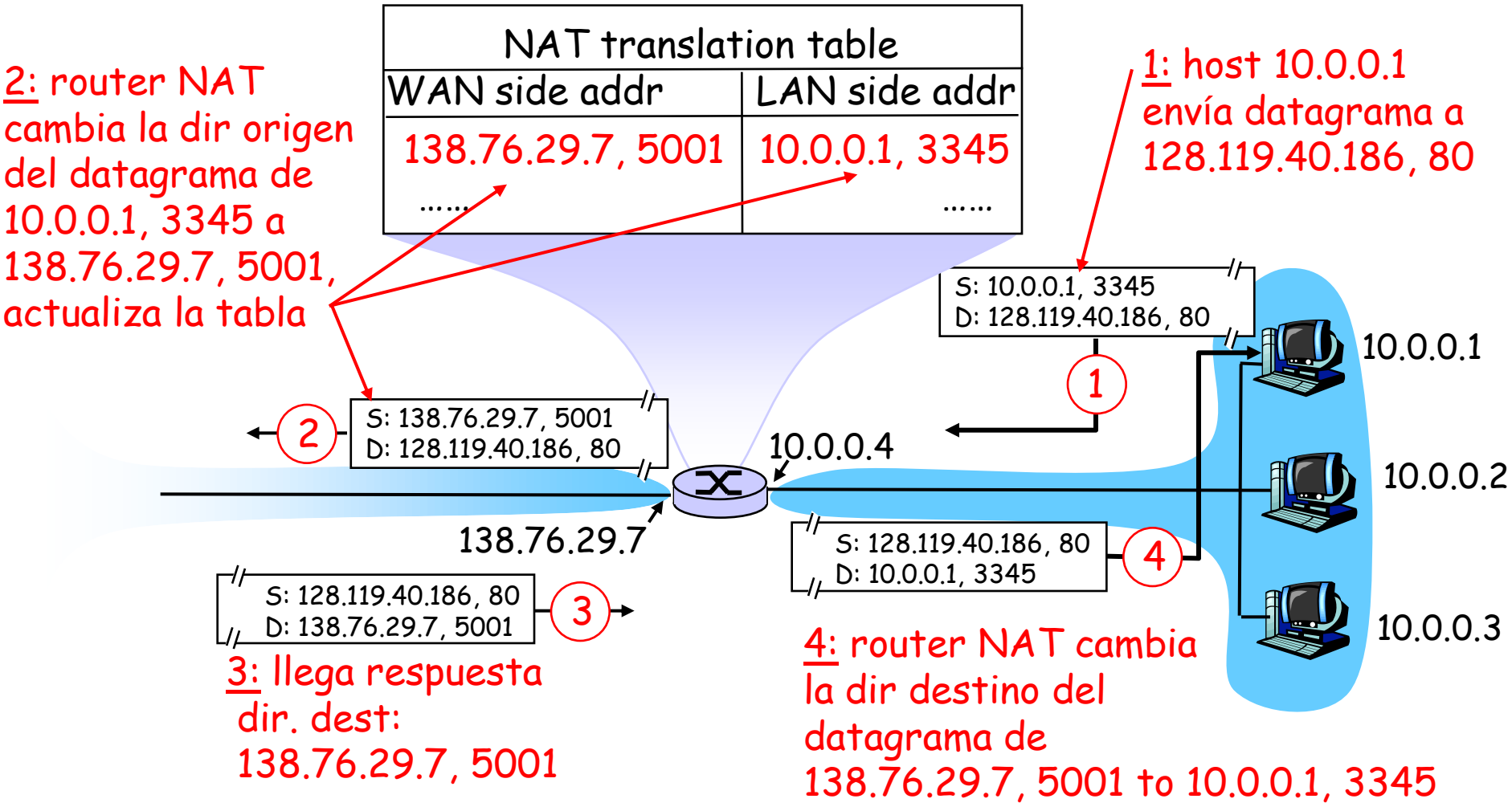
- Motivación: la red local utiliza una sola dirección IP visto desde el mundo exterior:
  - no es necesario solicitar un rango de direcciones al ISP: solo una dir. IP para todos los dispositivos
  - se pueden cambiar direcciones de los dispositivos en la red local sin notificar al "resto del mundo"
  - Se puede cambiar de ISP sin modificaciones en la red local
  - los dispositivos en la red local no son "visibles" desde el mundo exterios (un extra de seguridad).

NAT: Network Address Translation

Implementación: un router NAT debe:

- *datagramas salientes: reemplazar* (dir IP origen, port #) de cada datagrama a (dir IP del NAT, new port #)
  . . . clientes/servidores remotos responderán usando (NAT IP address, new port #) como destino.
- *recordar (en la NAT translation table)* cada par de traslaciones (dir IP origen, port #), (dir IP del NAT, new port #)
- *datagramas entrantes: reemplazar* (dir IP NAT, new port #) en campos destino al correspondiente (dir IP origen, port #) almancenado en la tabla de NAT

NAT: Network Address Translation

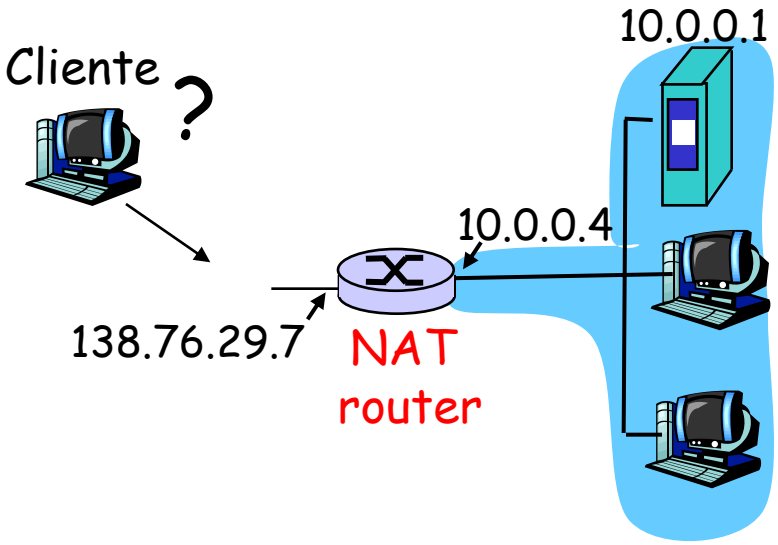


NAT: Network Address Translation

- campo *port-number* de 16 bits:
  - 60,000 conexiones simultáneas con una sola dirección IP!
- NAT es contradictorio:
  - los routers solo deberían procesar hasta capa 3
  - viola la abstracción de extremoa extremo
    - el NAT debe ser tenido en cuenta por los diseñadores de aplicaciones, por ej. P2P
  - la carencia de direcciones debería resolverse por métodos más “limpios”, como IPv6

como atravesar un NAT?

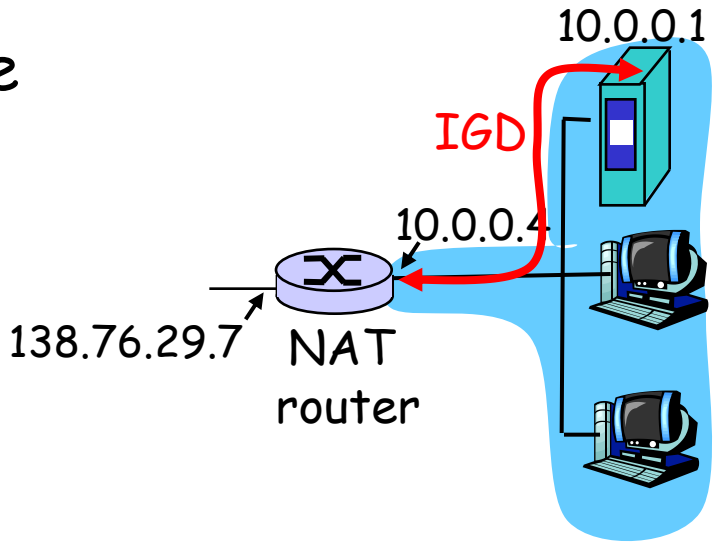
- un cliente se quiere conectar al servidor con dirección 10.0.0.1
  - pero esa dir. es local a la LAN, no se puede usar como dir. de destino
  - Solo se puede usar la dir del NAT: 138.76.29.7
- solución 1: configuración estática de *port forwarding*
  - ej., (123.76.29.7, port 2500) siempre se traduce a 10.0.0.1 port 25000



como atravesar un NAT?

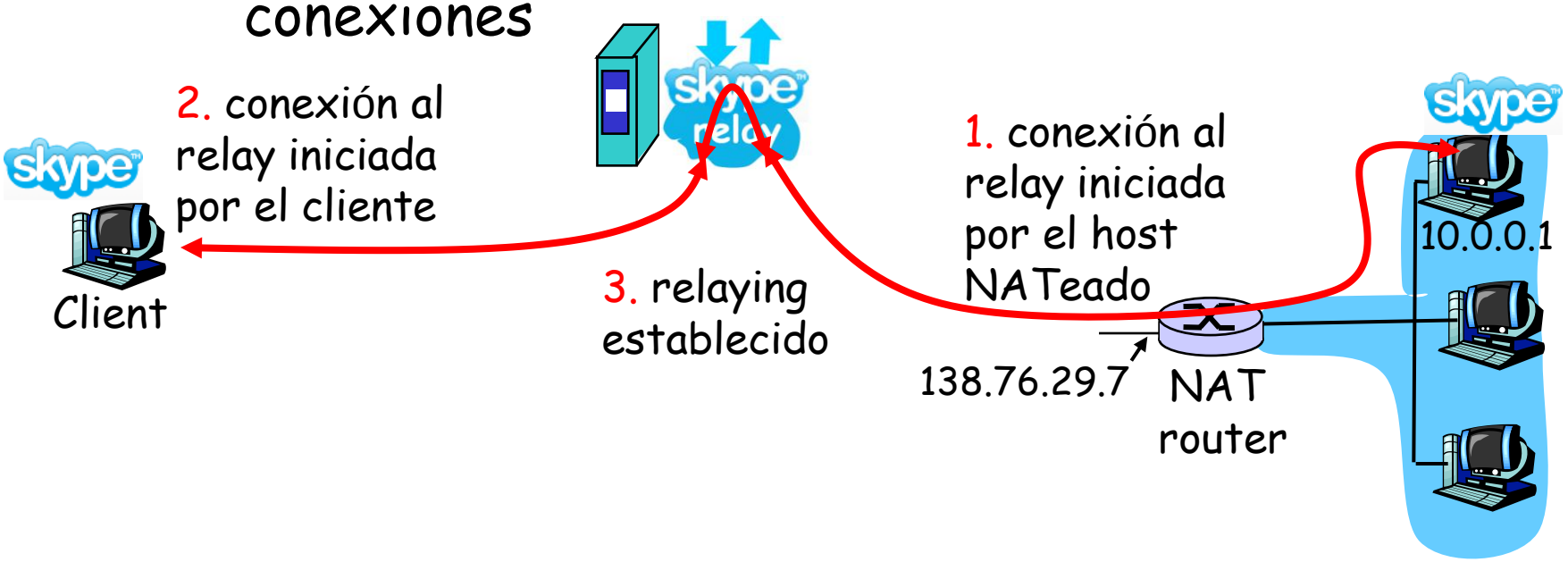
- solución 2: Universal Plug and Play (UPnP) Internet Gateway Device (IGD) Protocol. Permite a un host detrás de un NAT a:
  - aprender la dirección IP pública (138.76.29.7)
  - agregar/remover mapeos de puertos (con tiempos de lease)

  es decir, automatiza la configuración estática del port forwarding del NAT



como atravesar un NAT?

- solución 3: "relaying" (usado en Skype)
  - cliente "NATeado" establece conexión al relay
  - clientes externos se conectan al relay
  - relay hace "bridge" de paquetes entre conexiones



Cap. 4: Capa de red

- 4. 1 Introducción
- 4.2 circuitos virtuales y datagramas
- 4.3 dentro de un router
- 4.4 IP: Internet Protocol
  - formato de datagramas
  - direccionamiento IPv4
  - ICMP
  - IPv6
- 4.5 Algoritmos de enrutamiento
  - Link state
  - Distance Vector
  - Enrutamiento jerárquico
- 4.6 Enrutamiento en Internet
  - RIP
  - OSPF
  - BGP
- 4.7 Broadcast y multicast

ICMP: Internet Control Message Protocol

- usado por hosts & routers para comunicar informaciónd e nivel de red
  - reporte de errores: *unreachable* host, red, puerto, protocolo
  - echo request/reply (usado por el ping)
- capa de red "encima" de IP:
  - mensajes ICMP transportado en datagramas IP
- mensajes ICMP: tipo, código, más los primeros 8 bytes del datagrama IP qué causó el error

Type	Code	description
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 - not 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

- fuente envía una serie de segmentos UDP al destino
  - el 1o tiene TTL =1
  - el 2o tiene TTL=2, etc.
  - no. de puerto "raro"
- cuando el n-simo datagrama arriba al n-simo router:
  - el router descarta el datagrama…
  - …y envía a la fuente un mensaje ICMP (type 11, code 0)
  - el mensaje incluye el nombre y dir IP del router
- cuando llega el mensaje ICMP, la fuente calcula el RTT
- traceroute repite esta operación 3 veces

criterio de parada

- el segmento UDP eventualmente llega al host destino
- este retorna el mensaje ICMP "host unreachable" (type 3, code 3)
- cuando la fuente recibe este paquete ICMP, para.

Cap. 4: Capa de red

- 4. 1 Introducción
- 4.2 circuitos virtuales y datagramas
- 4.3 dentro de un router
- 4.4 IP: Internet Protocol
  - formato de datagramas
  - direccionamiento IPv4
  - ICMP
  - IPv6
- 4.5 Algoritmos de enrutamiento
  - Link state
  - Distance Vector
  - Enrutamiento jerárquico
- 4.6 Enrutamiento en Internet
  - RIP
  - OSPF
  - BGP
- 4.7 Broadcast y multicast

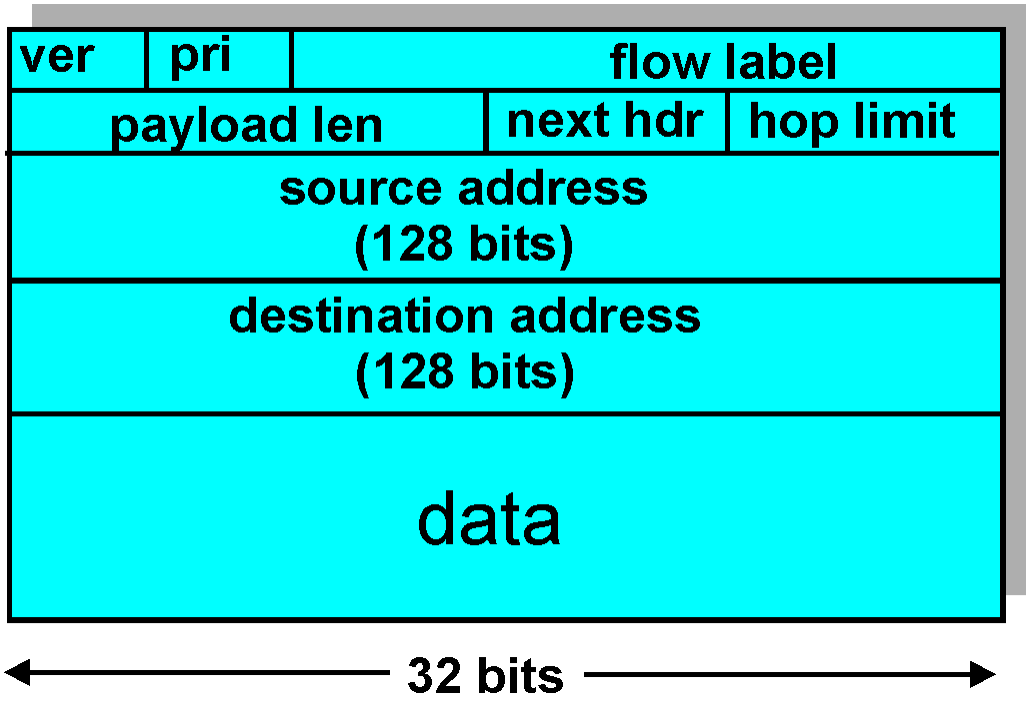
IPv6

- motivación inicial: el espacio de direcciones de 32 bits "se está por agotar.
- motivación adicional:
  - formato del cabezal ayuda a acelerar el procesamiento/forwarding del paquete
  - cambios en el cabezal facilitan QoS

  formato del datagrama IPv6:
  - cabezal de largo fijo: 40 bytes
  - no se permite fragmentación

Cabezal IPv6

Priority: identifica prioridad entre datagramas en un flujo
Flow Label: identifica datagramas en el mismo flujo (concepto de "flujo"...).
Next header: identifica el protocolo de capa superior



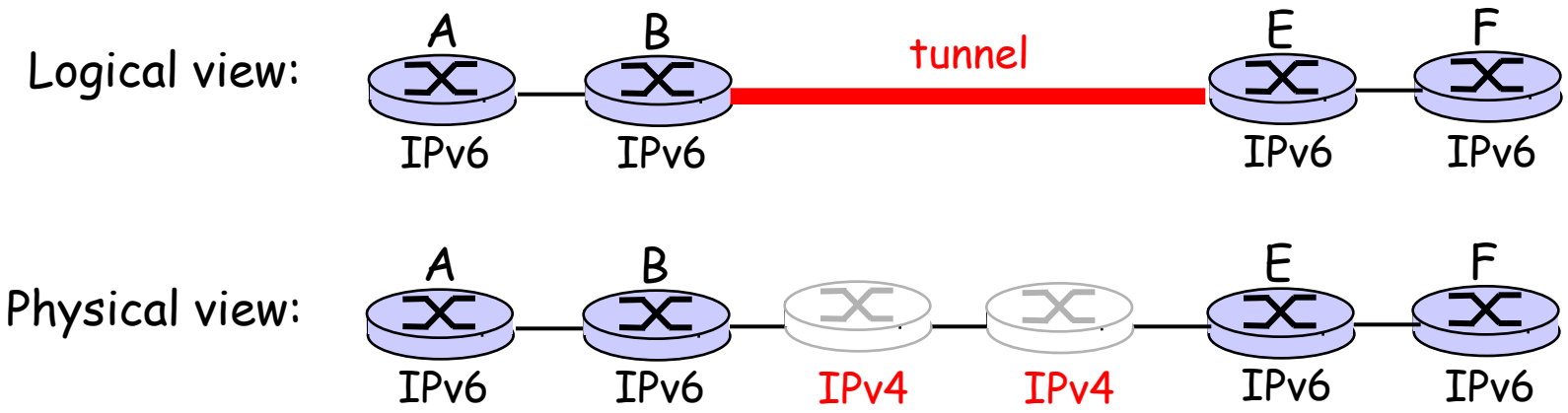
Otros cambios con respecto a IPv4

- *Checksum*: eliminado para reducir procesamiento en cada hop
- *Options:* permitido, pero fuera del header, indicado por el campo "Next Header"
- *ICMPv6:* nueva versión de ICMP
  - Tipos de mensajes adicionales, por ej. "Packet Too Big"
  - Funciones de gestión de grupos de multicast

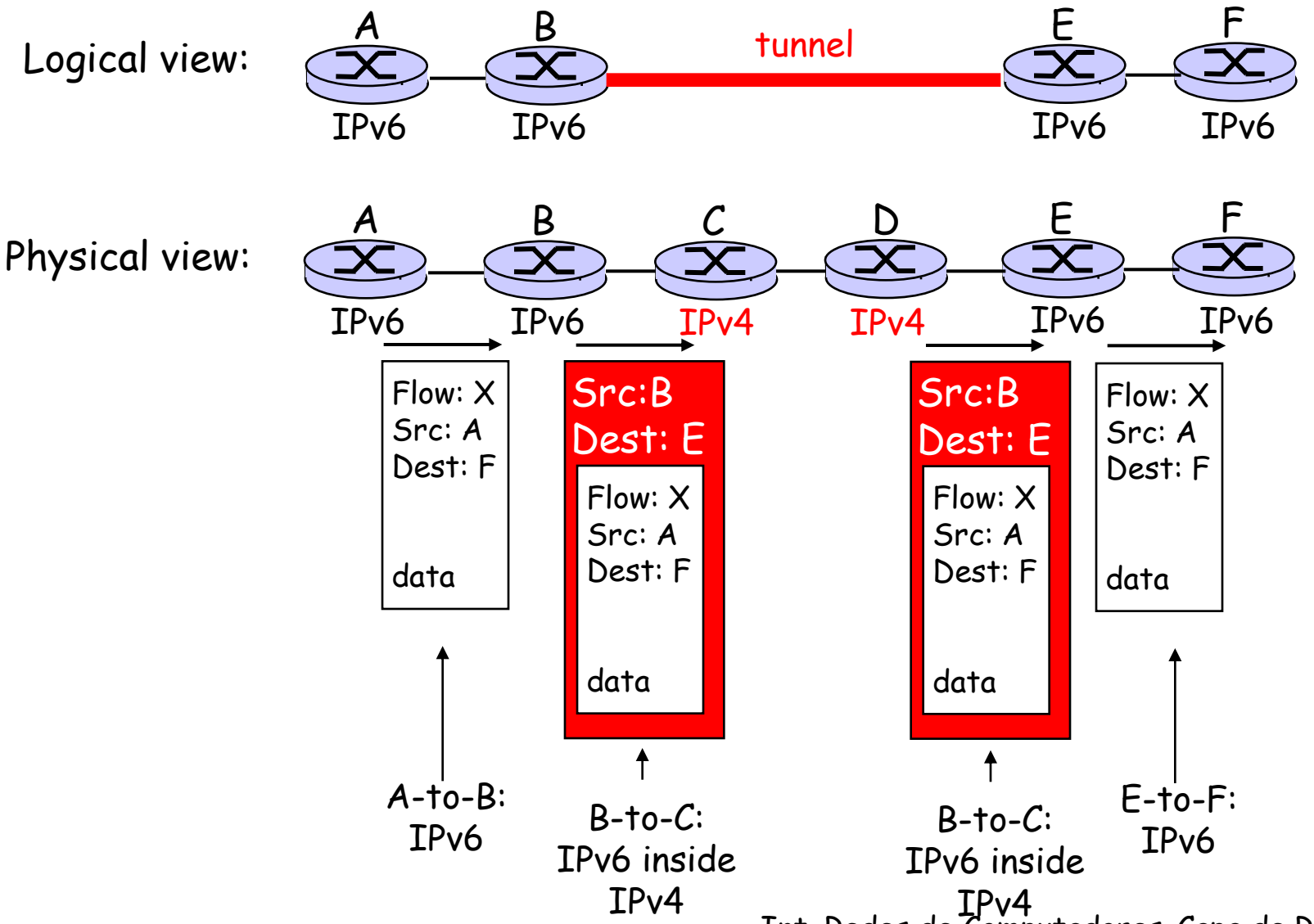
Transición de IPv4 a IPv6

- No se puede hacer una actualización de todos los routers simultáneamente
  - no hay "dia D"
  - Cómo puede operar una red con routers IPv4 e IPv6 mezclados?
- *Tunneling:* IPv6 transportado como *payload* en datagramas IPv4

Tunneling


Logical view:
A
B
tunnel
E
F
IPv6
IPv6
IPv6
IPv6
Physical view:
A
B
E
F
IPv6
IPv6
IPv4
IPv4
IPv6
IPv6

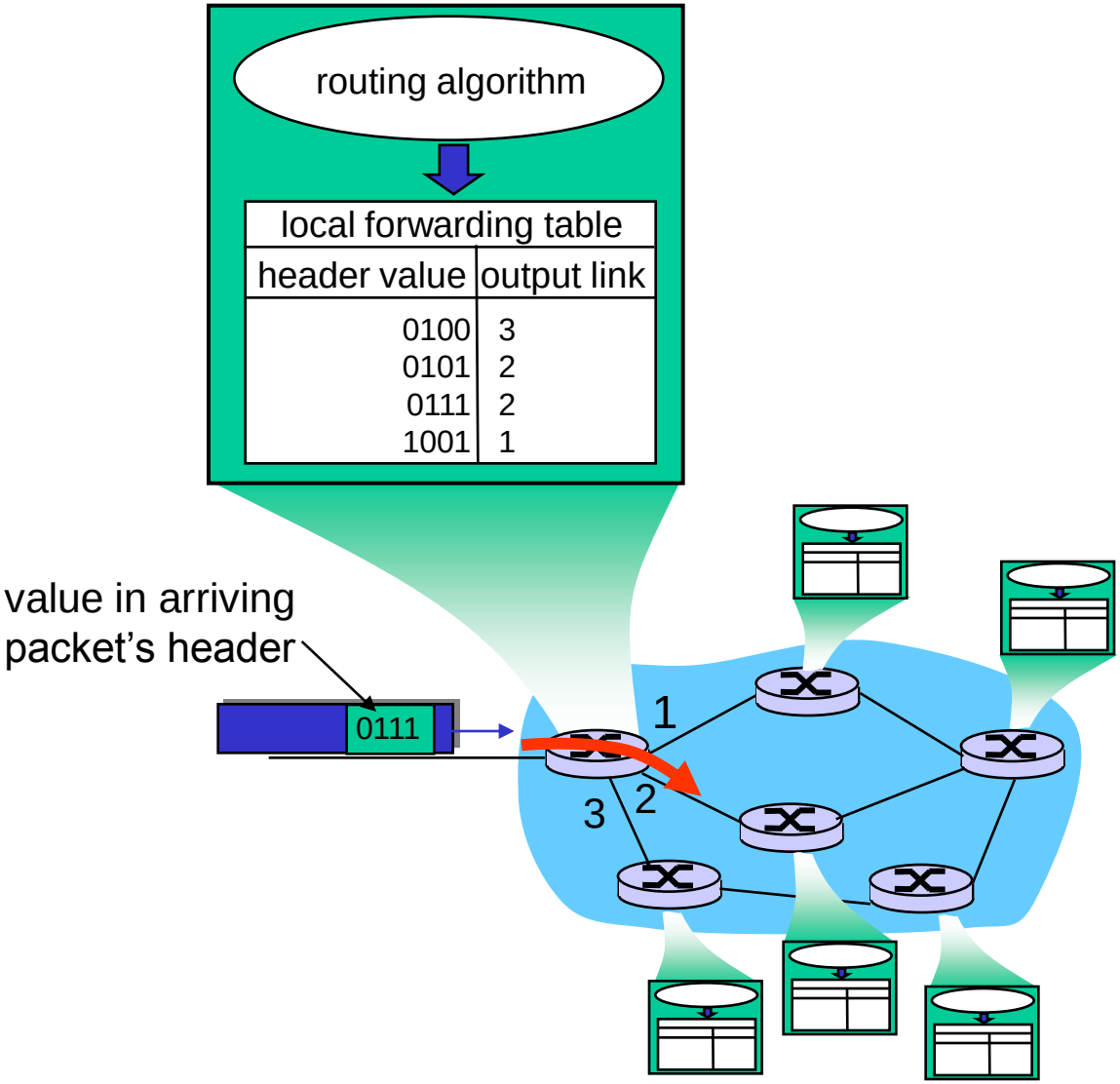
Tunneling


Logical view:
A
B
tunnel
E
F
IPv6
IPv6
IPv6
IPv6
Physical view:
A
B
C
D
E
F
IPv6
IPv6
IPv4
IPv4
IPv6
IPv6
Flow: X
Src: A
Dest: F
data
Src:B
Dest: E
Flow: X
Src: A
Dest: F
data
Src:B
Dest: E
Flow: X
Src: A
Dest: F
data
Flow: X
Src: A
Dest: F
data
A-to-B:
IPv6
B-to-C:
IPv6 inside
IPv4
B-to-C:
IPv6 inside
IPv4
E-to-F:
IPv6

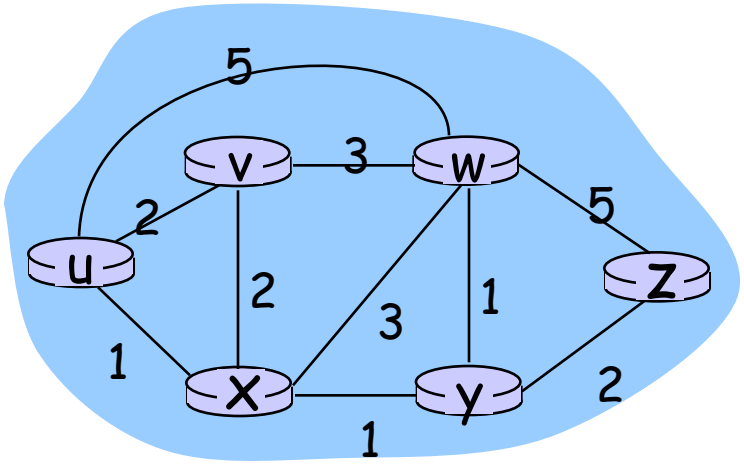
Cap. 4: Capa de red

- 4. 1 Introducción
- 4.2 circuitos virtuales y datagramas
- 4.3 dentro de un router
- 4.4 IP: Internet Protocol
  - formato de datagramas
  - direccionamiento IPv4
  - ICMP
  - IPv6
- 4.5 Algoritmos de enrutamiento
  - Link state
  - Distance Vector
  - Enrutamiento jerárquico
- 4.6 Enrutamiento en Internet
  - RIP
  - OSPF
  - BGP
- 4.7 Broadcast y multicast

Interacción entre routing & forwarding



Abstracción de grafo



Graph: G = (N,E)

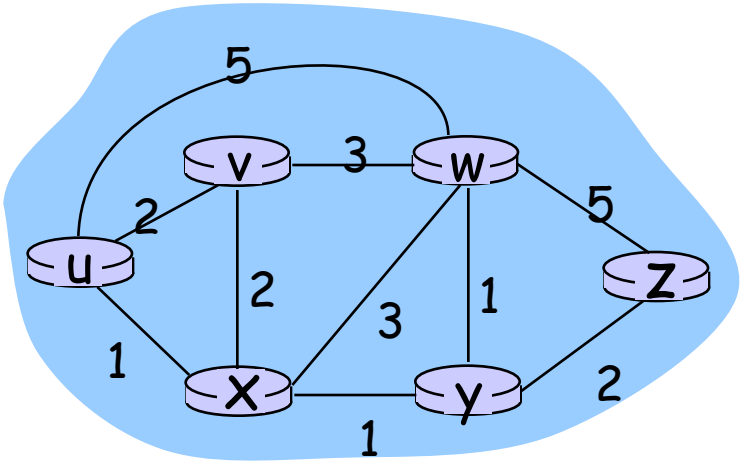
N = conjunto de routers = { u, v, w, x, y, z }

E = conjunto de enlaces ={ (u,v), (u,x), (v,x), (v,w), (x,w), (x,y), (w,y), (w,z), (y,z) }

Nota: esta abstracción es útil en otros contextos de red

Ejemplo: P2P, donde N es el conjunto de pares y E el conjunto de conexiones TCP

Abstracción de grafo: costos



- c(x,x') = costo del enlace (x,x')

  - por ej., c(w,z) = 5

- algunas opciones para el costo: puede ser 1, con relación inversa al ancho de banda, con relación inversa a la congestión, entre otras

costo del camino $(x_1, x_2, x_3, \ldots, x_p) = c(x_1,x_2) + c(x_2,x_3) + \ldots + c(x_{p-1},x_p)$

pregunta: cual es el camino con menor costo entre u y z ?

Algoritmo de enrutamiento:
encuentra el camino de costo mínimo

Clasificación de algoritmos de enrutamiento

Información global o descentralizada?

Global:

- todos los routers conocen la topología completa, y el costo de los enlaces
- algoritmos "link state"

Descentralizada:

- los router conocen los vecinos directamente conectados, y el costo de los enlaces a estos vecinos
- proceso de cómputo iterativo, con intercambio de información entre vecinos
- algoritmos "distance vector"

Estático o dinámico?

Estático:

- las rutas cambian lentamente

Dinámico:

- Cambios más frecuentes en rutas
  - actualización periódica
  - en respuesta a cambios en topología o costo de los enlaces

Cap. 4: Capa de red

- 4. 1 Introducción
- 4.2 circuitos virtuales y datagramas
- 4.3 dentro de un router
- 4.4 IP: Internet Protocol
  - formato de datagramas
  - direccionamiento IPv4
  - ICMP
  - IPv6
- 4.5 Algoritmos de enrutamiento
  - Link state
  - Distance Vector
  - Enrutamiento jerárquico
- 4.6 Enrutamiento en Internet
  - RIP
  - OSPF
  - BGP
- 4.7 Broadcast y multicast

Algoritmo de enrutamiento Link-State

Algoritmo de

- Topología de la red y costos de los enlaces conocidos por todos los nodos
  - mediante "link state advertisements"
  - todos los nodos Dijkstra tienen la misma información
- se computan los caminos de costo mínimo entre un nodo (raíz) al resto de los nodos
  - determina la tabla de forwarding para ese nodo
- iterativo: luego de k iteraciones, se conocen los caminos de costo mínimo a k destinos

Notación:

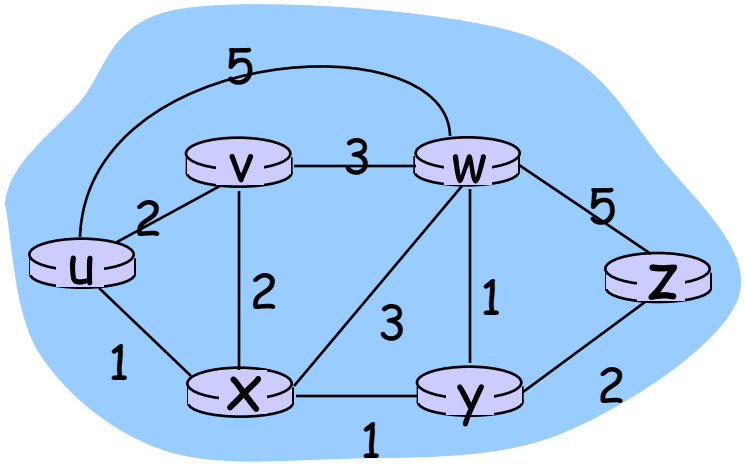
- c(x,y): costo del enlace entre nodos x,y; = ∞ si no son vecinos directos
- D(v): valor actual del costo del camino desde origen al destino v
- p(v): nodo predecesor en el camino desde fuente a destino v
- N': conjunto de nodos cuyo costo de camino se ha computado

Algoritmo de Dijsktra

```
1  Initialization:
2    N' = {u}
3    for all nodes v
4      if v adjacent to u
5          then D(v) = c(u,v)
6      else D(v) = ∞
7
8   Loop
9     find w not in N' such that D(w) is a minimum
10    add w to N'
11    update D(v) for all v adjacent to w and not in N' :
12       D(v) = min( D(v), D(w) + c(w,v) )
13    /* new cost to v is either old cost to v or known
14     shortest path cost to w plus cost from w to v */
15  until all nodes in N'
```

Algoritmo de Dijkstra: ejemplo

Step	N'	D(v),p(v)	D(w),p(w)	D(x),p(x)	D(y),p(y)	D(z),p(z)
0	u	2,u	5,u	1,u	∞	∞
1	ux	2,u	4,x		2,x	∞
2	uxy	2,u	3,y			4,y
3	uxyv		3,y			4,y
4	uxyvw					4,y
5	uxyvwz					



Algoritmo de Dijkstra: ejemplo (cont)

"Shortest-path tree" resultante desde u:

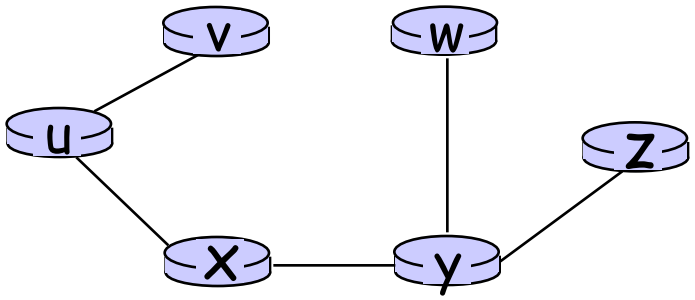


Tabla de forwarding resultante en u:

destino	enlace
v	(u,v)
x	(u,x)
y	(u,x)
w	(u,x)
z	(u,x)

Algoritmo de Dijkstra: discusión

Complejidad del algoritmo: n nodos

- cada iteración: necesita chequear todos los nodos, w, que no están en N
- n(n+1)/2 comparaciones: $O(n^2)$
- implementación más eficiente posible: O(nlogn)

Posibles oscilaciones:

- por ej., costo del enlace = cantidad de tráfico transportado