

Tema 3

El nivel de red

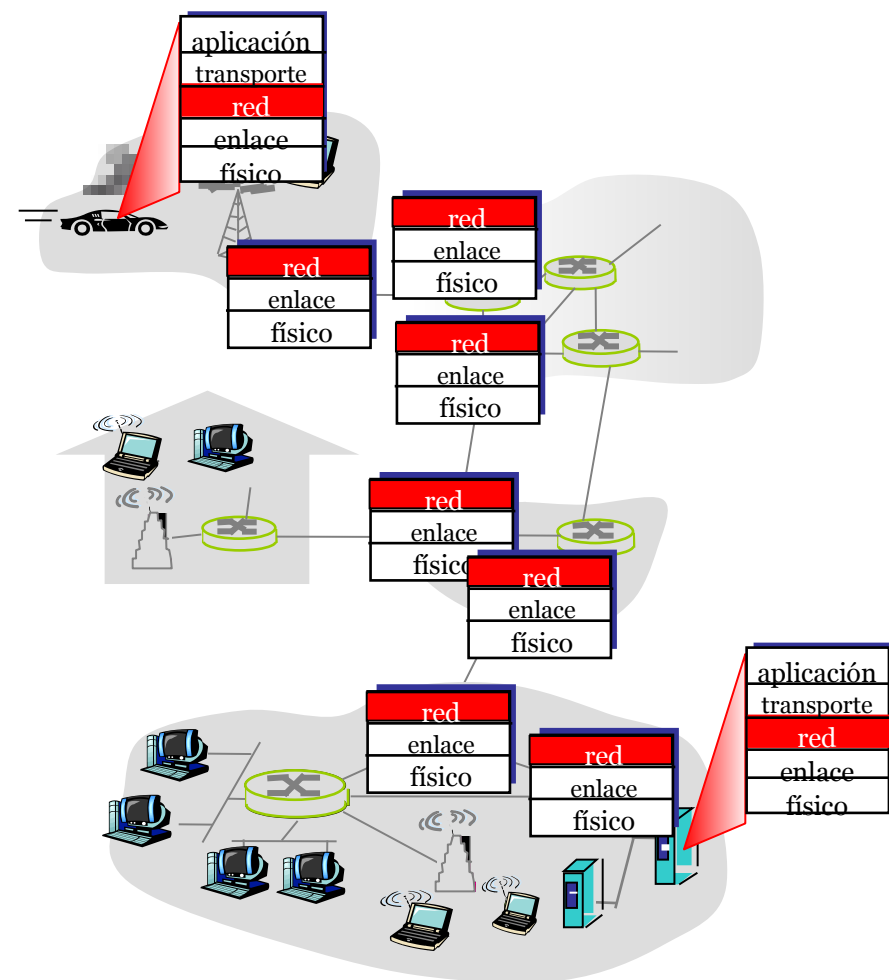
(1904) Redes de Comunicaciones

Contenidos

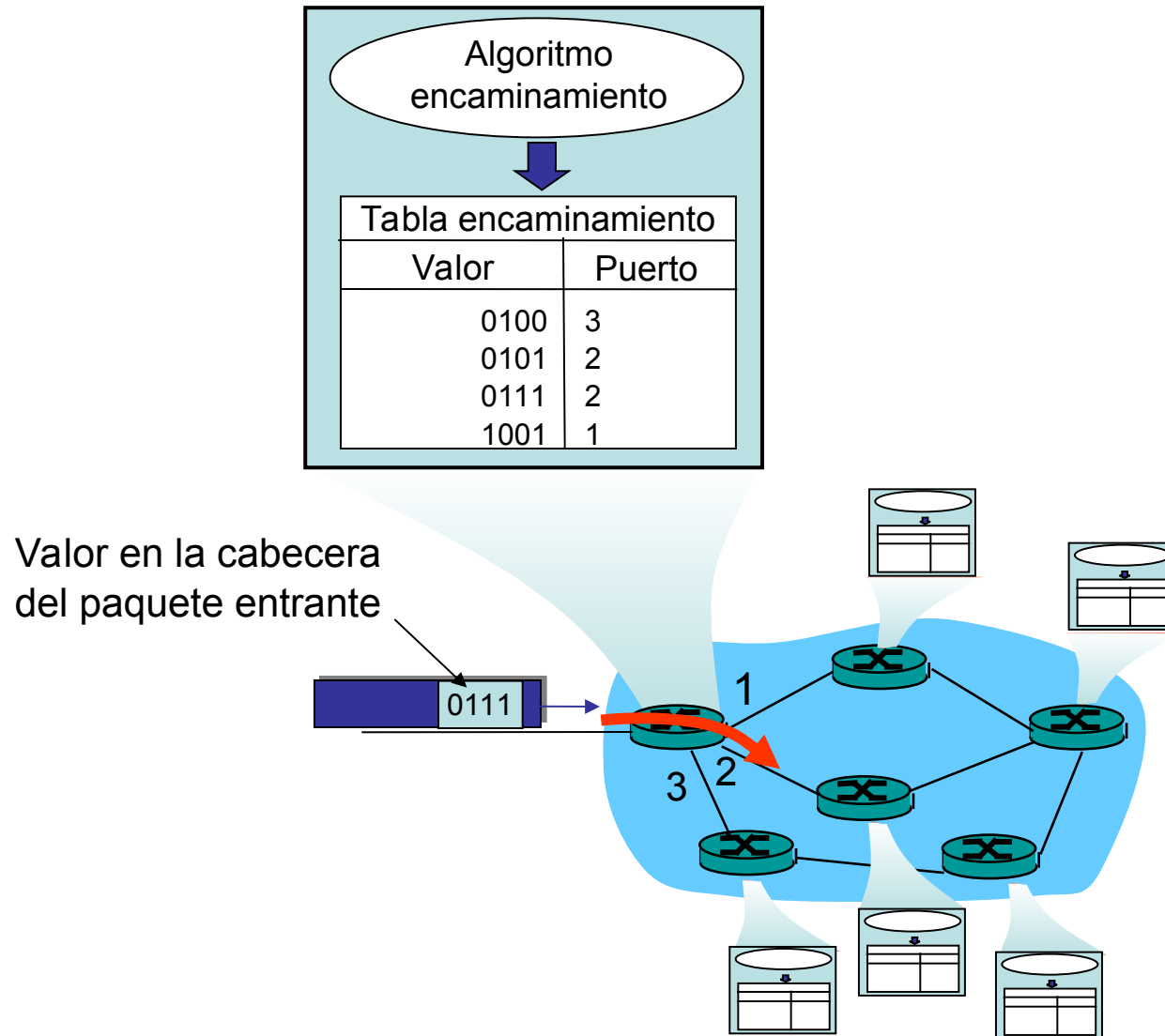
- 3.1. Introducción
- 3.2. Organización interna
 - 3.2.1. Circuitos virtuales
 - 3.2.2. Datagramas
- 3.3. Protocolo IP
 - 3.3.1. Estructura del datagrama
 - 3.3.2. Direccionamiento IPv4
 - 3.3.3. Enrutamiento
 - 3.3.4. NAT
 - 3.3.5. ICMP

Objetivo del nivel de red

- Proporcionar un servicio de encaminamiento de paquetes entre hosts a través de la red
- Este nivel involucra a hosts y routers
 - Emisor: encapsula los segmentos en paquetes
 - *Router: almacena el paquete, examina su cabecera y lo reenvía*
 - Receptor: entrega los segmentos al nivel de transporte



Reenvío y encaminamiento de paquetes



Funciones del nivel de red

- Transportar paquetes desde un host origen hasta un host destino a través de la red
- Determinar la trayectoria más apropiada para los paquetes a través de la red
 - Topología de la subred
 - Algoritmo de encaminamiento
 - Esquema de direccionamiento lógico uniforme
- Evitar la congestión de enlaces y equipos de interconexión
- Interconectar subredes tecnológicamente distintas
- Aislar el nivel de transporte de las tecnologías de las subredes que atraviesa el paquete
 - Ejemplo: fragmentación y reensamblaje de segmentos en paquetes

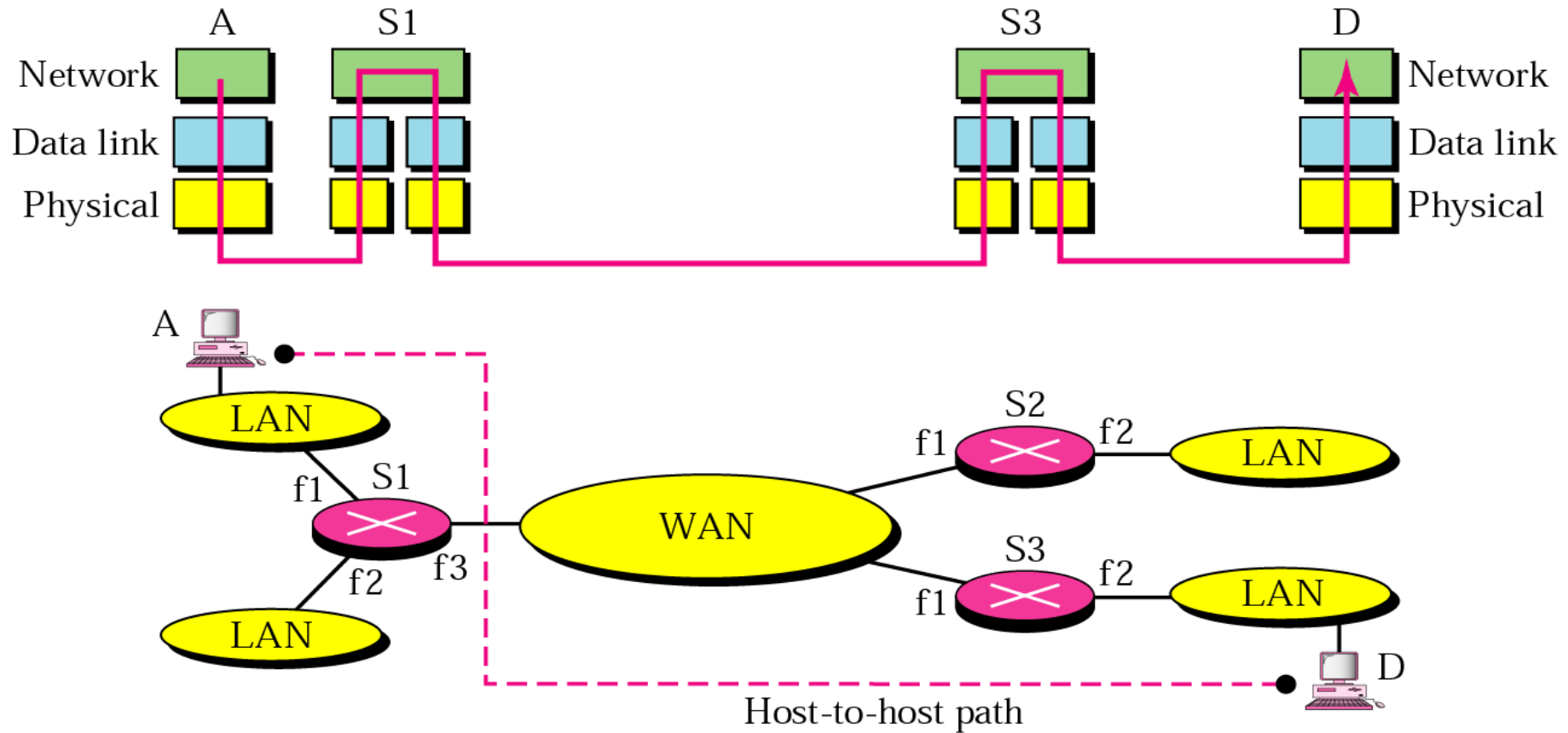
Calidad de servicio en el nivel de red

- Define las características del servicio de transporte de paquetes entre un host origen y un host destino
- Servicios deseables para paquetes individuales:
 - Entrega garantizada
 - Entrega con un retraso máximo acotado
- Servicios deseables para flujos de paquetes:
 - Entrega en orden
 - Ancho de banda mínimo garantizado
 - Fluctuación del retardo máximo entre paquetes (*jitter*) garantizado
 - Servicios de seguridad (protección de los paquetes)
- Internet proporciona por defecto un único tipo de servicio conocido como *best-effort*, es decir, no se garantiza ningún tipo de servicio

Servicios y protocolos del nivel de red

- Los protocolos utilizan el servicio de transmisión de tramas entre nodos conectados directamente proporcionado por el nivel de enlace
 - Entrega no garantizada de las tramas
- Algunos protocolos de red disponibles en Internet:
 - IP
 - Entrega no garantizada y (posiblemente) desordenada de los paquetes
 - No ofrece garantías de latencia o de ancho banda
 - ATM
 - Ofrece varios niveles de calidad de servicio
- Servicios proporcionados al nivel de transporte:
 - Orientado a conexión, confiable (subred de circuitos virtuales)
 - Sin conexión, no confiable (subred de paquetes)

Ejemplo



Contenidos

- 3.1. Introducción
- 3.2. Organización interna
 - 3.2.1. Circuitos virtuales
 - 3.2.2. Datagramas
- 3.3. Protocolo IP
 - 3.3.1. Estructura del datagrama
 - 3.3.2. Direccionamiento IPv4
 - 3.3.3. Enrutamiento
 - 3.3.4. NAT
 - 3.3.5. ICMP

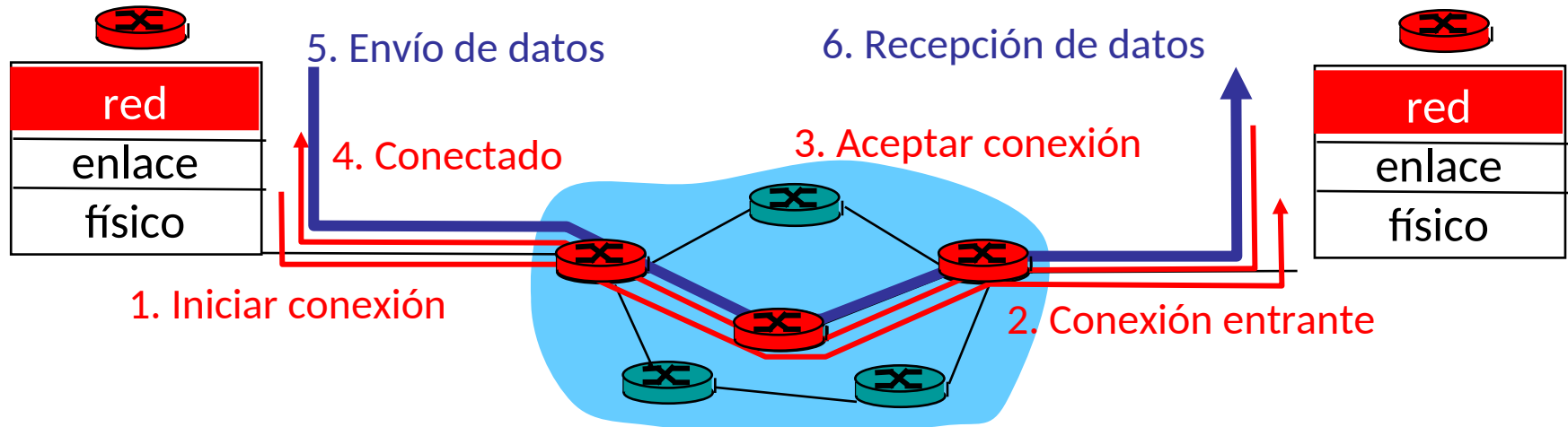
Organización interna de la red

- Hay dos categorías principales de organización:
 - Las redes de datagramas proporcionan un servicio de red sin conexión
 - Las redes de circuitos virtuales proporcionan un servicio de red orientado a la conexión
- Los servicios del nivel de red son análogos a los servicios del nivel de transporte pero con ciertas diferencias:
 - El servicio es host a host, no proceso a proceso
 - No hay elección, cada red implementa uno u otro
 - La implementación del servicio se realiza en el núcleo de la red, no en los sistemas finales

Circuitos virtuales

- Establecimiento del circuito virtual
 - Se establece una ruta fija entre el host origen y el host destino para todos los paquetes
 - El *encaminamiento* se realiza sólo una vez
 - Cada router reserva ciertos recursos internos (entrada en tabla de reenvío) para mantener el estado de todos los circuitos virtuales que pasan por él
 - Además, cada router también puede dedicar algunos recursos en los puertos que atraviesa el circuito virtual (buffers y ancho de banda) en exclusiva
 - Posibilidad de ofrecer garantías de calidad de servicio

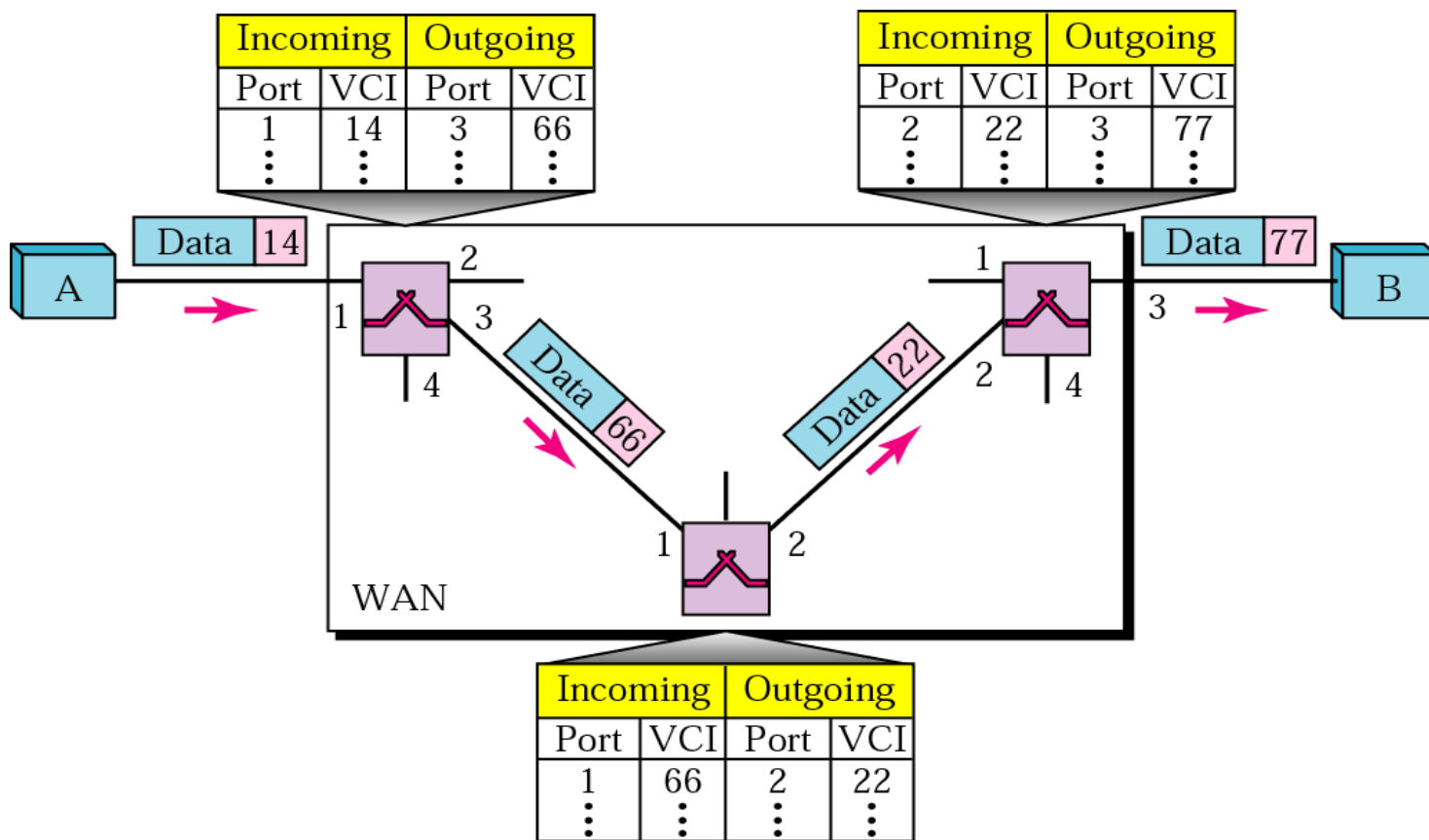
Circuitos virtuales



Circuitos virtuales

- Flujo de paquetes entre host origen y host destino
 - Todos los paquetes siguen la misma ruta
 - Cada paquete contiene un identificador de circuito virtual
 - Cada router mantiene una tabla de reenvío que asocia (puerto de entrada, identificador de circuito virtual) con (puerto de salida, identificador de circuito virtual)
 - Los paquetes son modificados en cada router
 - Los identificadores tienen un significado local
- Liberación del circuito virtual
 - Se eliminan las entradas de las tablas de reenvío y los recursos asociados al circuito virtual en todos los routers que atraviesa

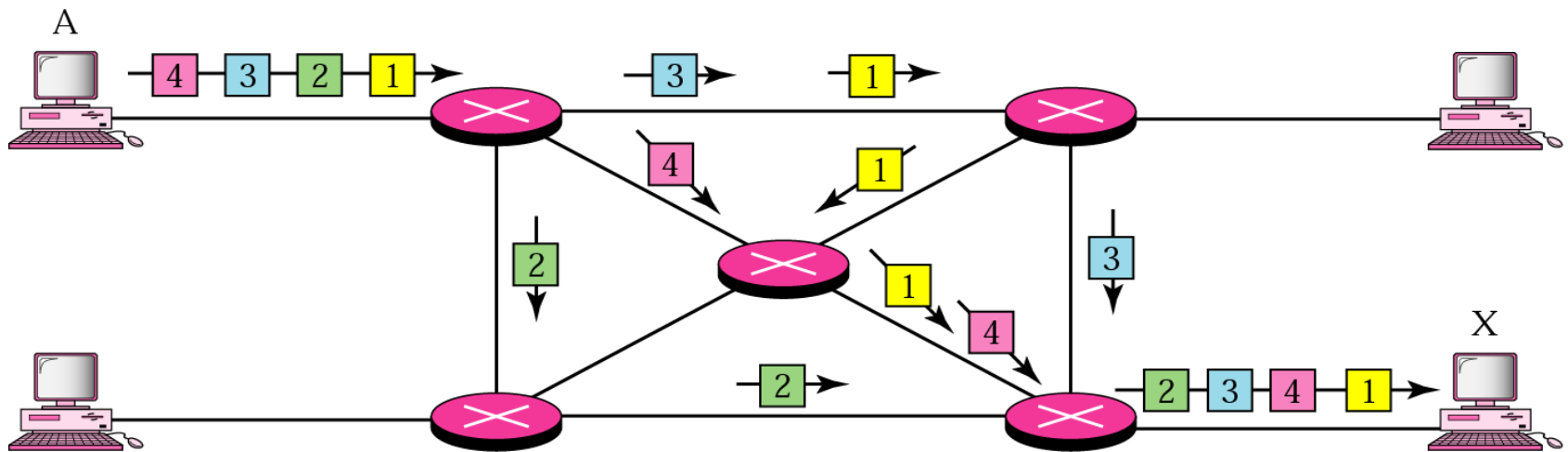
Ejemplo



Red de datagramas

- Cada paquete se encamina de forma independiente
 - No se establece una ruta fija entre cada par de hosts
 - Los paquetes se numeran (posible entrega fuera de orden)
 - Cada paquete contiene la dirección del host origen y la dirección del host destino
 - Cada router mantiene una tabla de encaminamiento que asocia un puerto de salida a cada posible dirección de destino
 - La tabla puede cambiar para reflejar cambios en la topología o en las condiciones del tráfico (congestión)
 - No se almacena información asociada a los flujos de datagramas transportados en los routers

Ejemplo



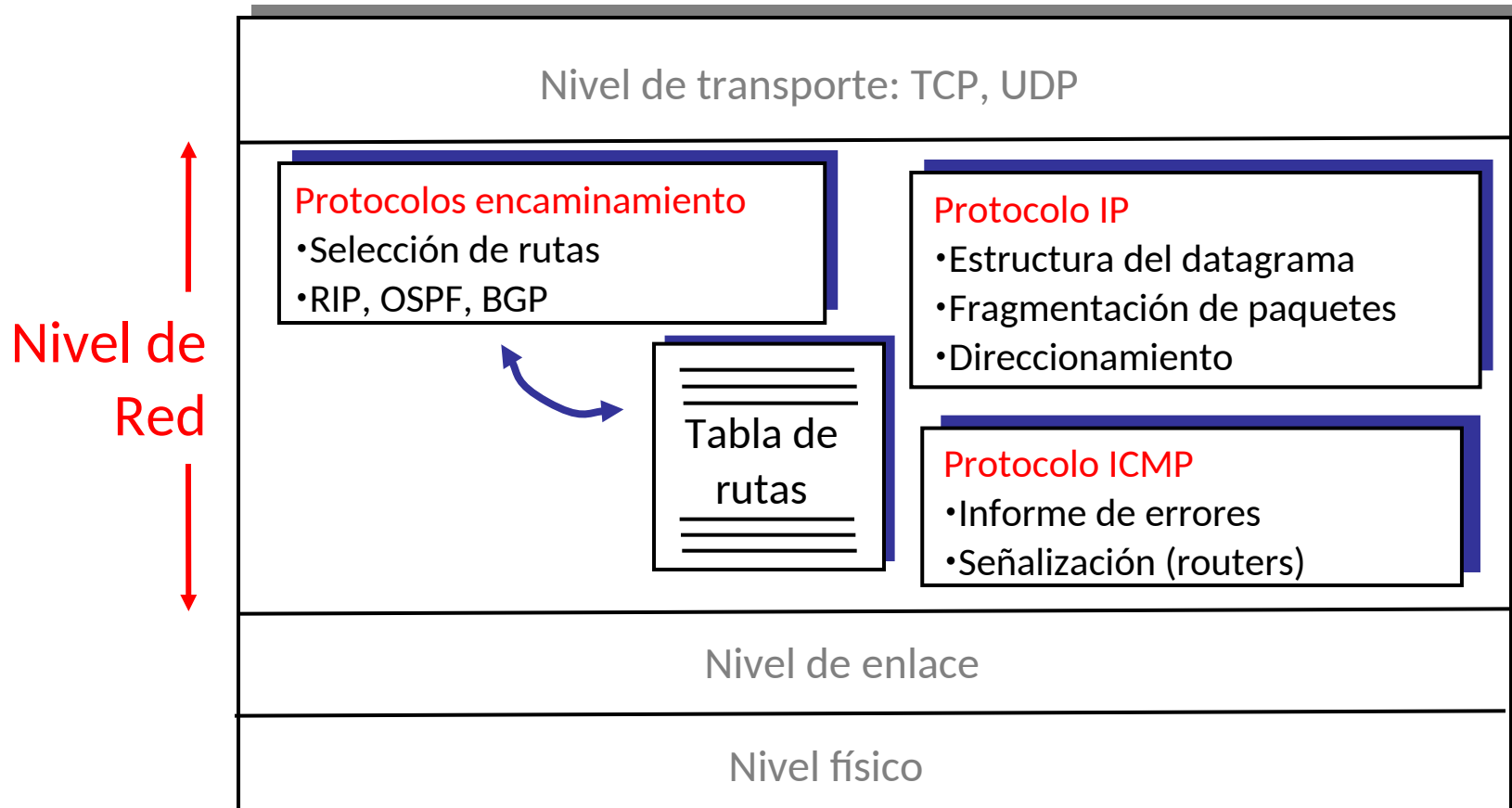
Comparación entre datagramas y CVs

Función	Datagramas	Circuitos Virtuales
Establecimiento CV	Innecesario	Requerido
Direccionamiento	Dirección completa de origen y destino en cada paquete	Identificador de canal virtual en cada paquete
Encaminamiento	Cada paquete se encamina de forma independiente	Todos los paquetes siguen la misma ruta
Información estado (router)	Innecesaria	Cada CV requiere una entrada en la tabla de reenvío
Liberación CV	Innecesaria	Requerida
Control de errores	Los paquetes erróneos se descartan	Factible (solicitud de retransmisión)
Control de congestión	Difícil (servicio <i>best-effort</i>)	Factible (preasignación de buffers a cada CV)
Calidad de servicio	Difícil (servicio <i>best-effort</i>)	Factible (preasignación de ancho de banda a cada CV)
Tolerancia a fallos (router)	Posible si existen rutas alternativas entre el host origen y el host destino	Imposible porque caen todos los CVs que atraviesan el router afectado
Complejidad	Mayor en los hosts	Mayor en los routers

Contenidos

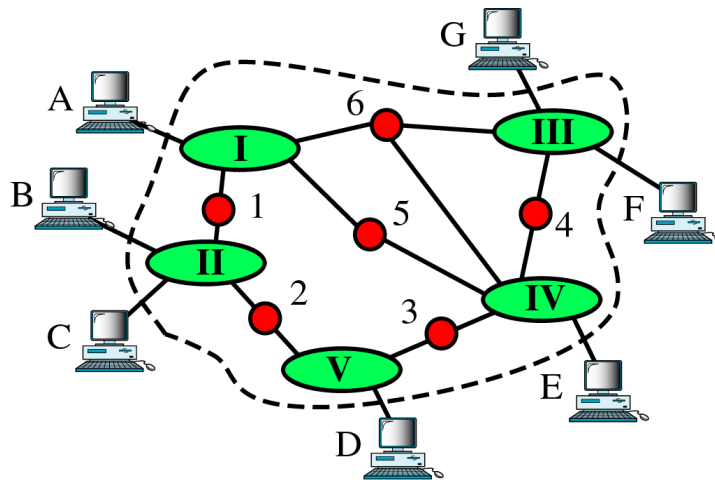
- 3.1. Introducción
- 3.2. Organización interna
 - 3.2.1. Circuitos virtuales
 - 3.2.2. Datagramas
- 3.3. Protocolo IP
 - 3.3.1. Estructura del datagrama
 - 3.3.2. Direccionamiento IPv4
 - 3.3.3. Enrutamiento
 - 3.3.4. NAT
 - 3.3.5. ICMP

El nivel de red en Internet

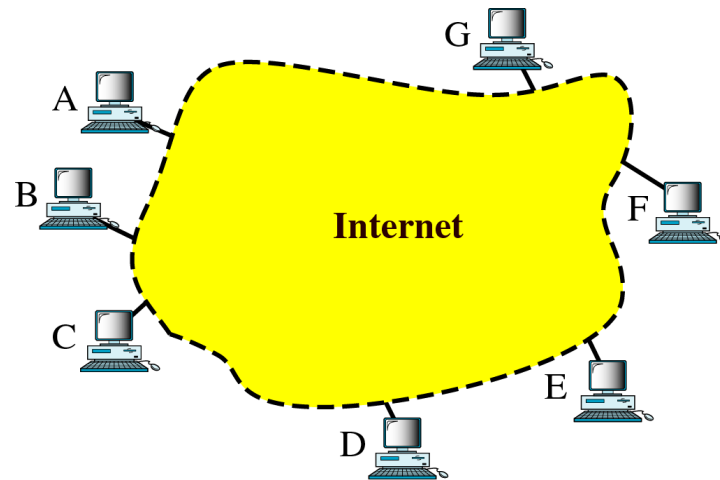


Introducción

- Protocolo IP (*Internet Protocol*)
 - Diseñado para la interconexión de LANs, subredes o sistemas autónomos mediante la retransmisión de datagramas desde el host origen hasta el host destino
 - RFC 791 (IPv4)

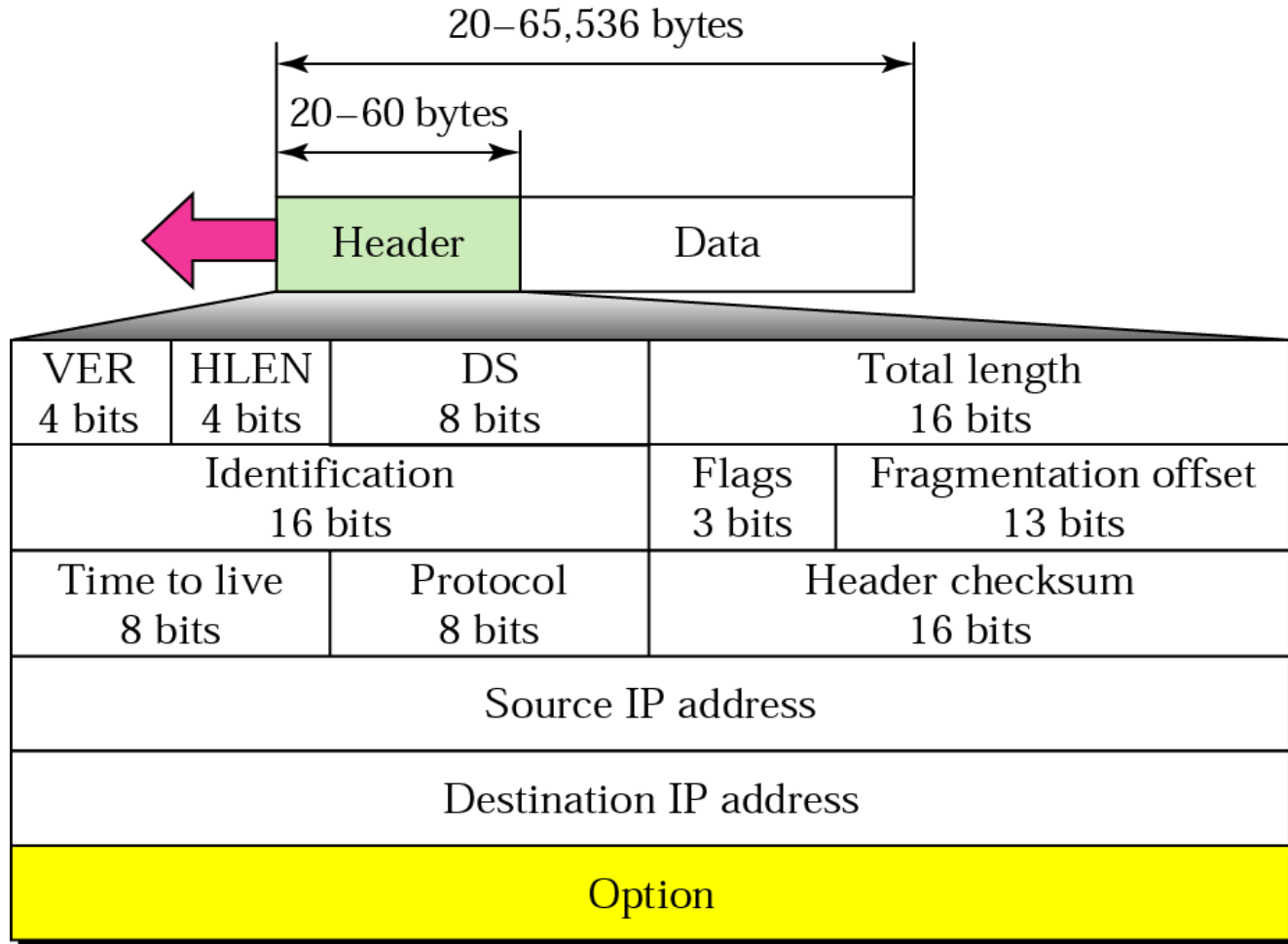


a. An actual internet



b. An internet seen by TCP/IP

Formato del paquete IP



Campos del paquete IP

- VER: versión (0100 para IPv4)
- HLEN: longitud de la cabecera en múltiplos de 32 bits
- DS (*Differentiated Services*): para diferenciar el tipo de datos
- *Total Length*: longitud total del paquete (hasta 65535 bytes)
- *Time To Live* (TTL): tiempo de vida del paquete en saltos
 - Cada router que procesa el paquete decrementa su valor
 - Cuando el campo TTL llega a 0, el paquete se descarta y se informa al origen con un paquete ICMP (*Time Exceeded*)
- *Protocol*: especifica protocolo de nivel de transporte utilizado
- *Header Checksum*: suma de comprobación de la cabecera
 - Debe recalcularse en cada router, ¿por qué?
- Direcciones IP de origen y de destino
- Opciones
 - Habitualmente no se utilizan

Fundamentos del direccionamiento

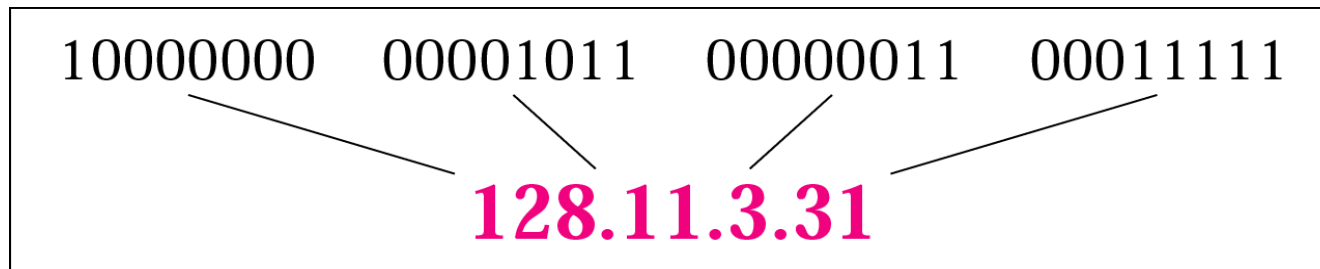
- Interfaces

- Un host puede estar conectado a distintas redes
 - Ejemplo: conexiones Ethernet, WiFi y teléfono móvil
- La conexión entre un host y el medio físico recibe el nombre de interfaz
- Un router tiene tantas interfaces como enlaces físicos a los que esté conectado (dos como mínimo)
- El protocolo IP requiere que cada interfaz disponga de su propia dirección IP
- Debemos pensar en una dirección IP como un identificador de una interfaz y no del equipo al cual pertenece la interfaz

Fundamentos del direccionamiento

- Direccionamiento IP

- Cada interfaz de red tiene asignada una dirección IP de 32 bits
- La dirección IP suele expresarse como 4 números entre 0 y 255 separados por puntos:

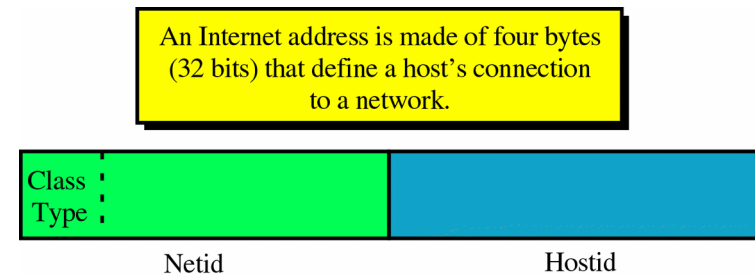


- Las direcciones IP públicas son únicas
- ICANN (*Internet Corporation for Assigned Names and Numbers*): organismo que asigna las direcciones IP

Estructura de las direcciones

- La dirección IP se compone de dos partes:

- Dirección de red (netid)
 - Clase de dirección (class type)
- Dirección de host (hostid)



- Direcciones especiales (no se usan para hosts):

- Dirección de red (hostid es 0s)
- Dirección de broadcast (hostid es 1s)

Dirección IP

Significado

NETID.00...00

Dirección de la red

NETID.11...11

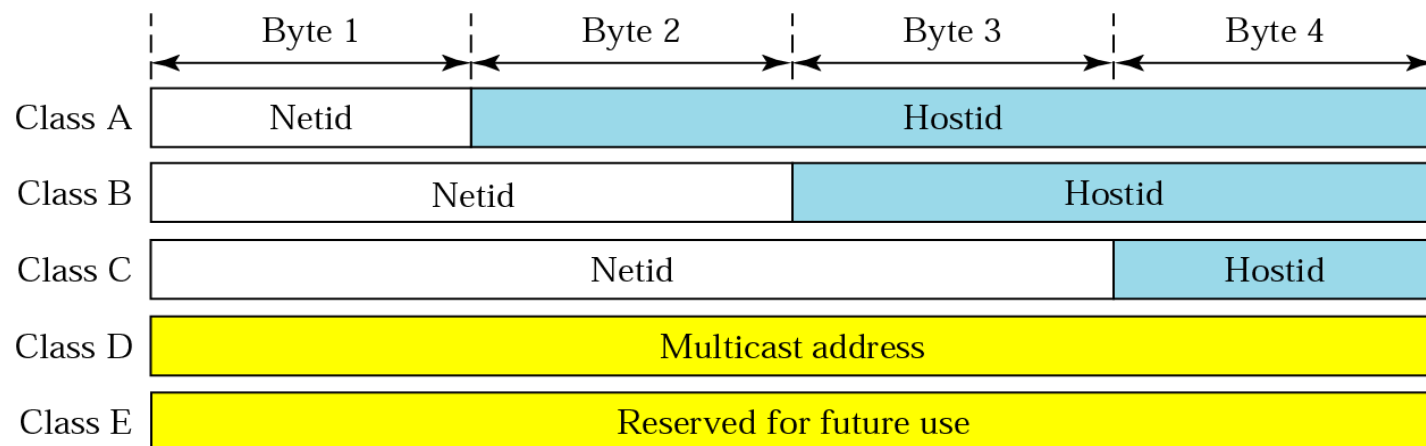
Broadcast de la red

Direccionamiento basado en clases

- *Classful Addressing*

- Clases de direcciones:

	First byte	Second byte	Third byte	Fourth byte
Class A	0			
Class B	10			
Class C	110			
Class D	1110			
Class E	1111			

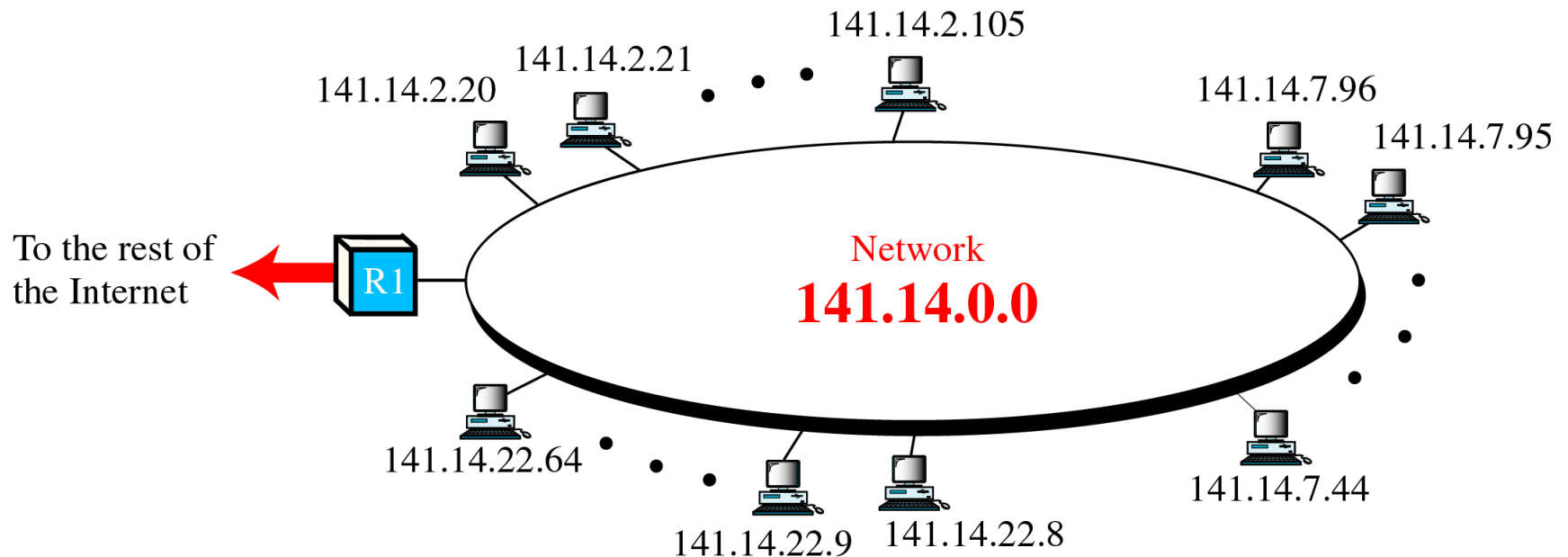


Direccionamiento CIDR

- CIDR (*Classless InterDomain Routing*)
 - Esquema de direccionamiento IP que permite un mayor aprovechamiento del espacio de direcciones IP
 - Cada dirección IP se expresa como a.b.c.d/x siendo x el número de bits de la máscara de red
 - Máscara de red (netid y subnetid a 1, y hostid a 0)
 - Con CIDR, los routers deben almacenar también la máscara de red porque no es posible deducirla de la clase de las direcciones

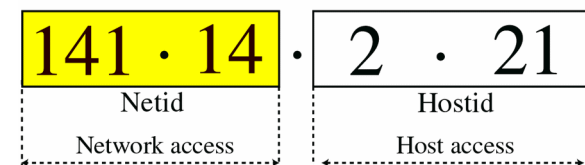
Comparación entre CIDR y basado en clases

- Direccionamiento IP
 - Sin CIDR
 - Dirección Clase B
 - Todos los hosts están en la misma subred IP

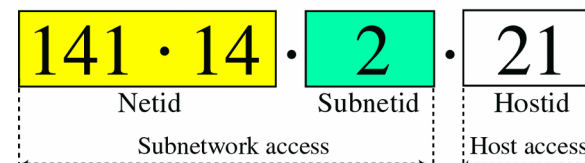


Comparación entre CIDR y basado en clases

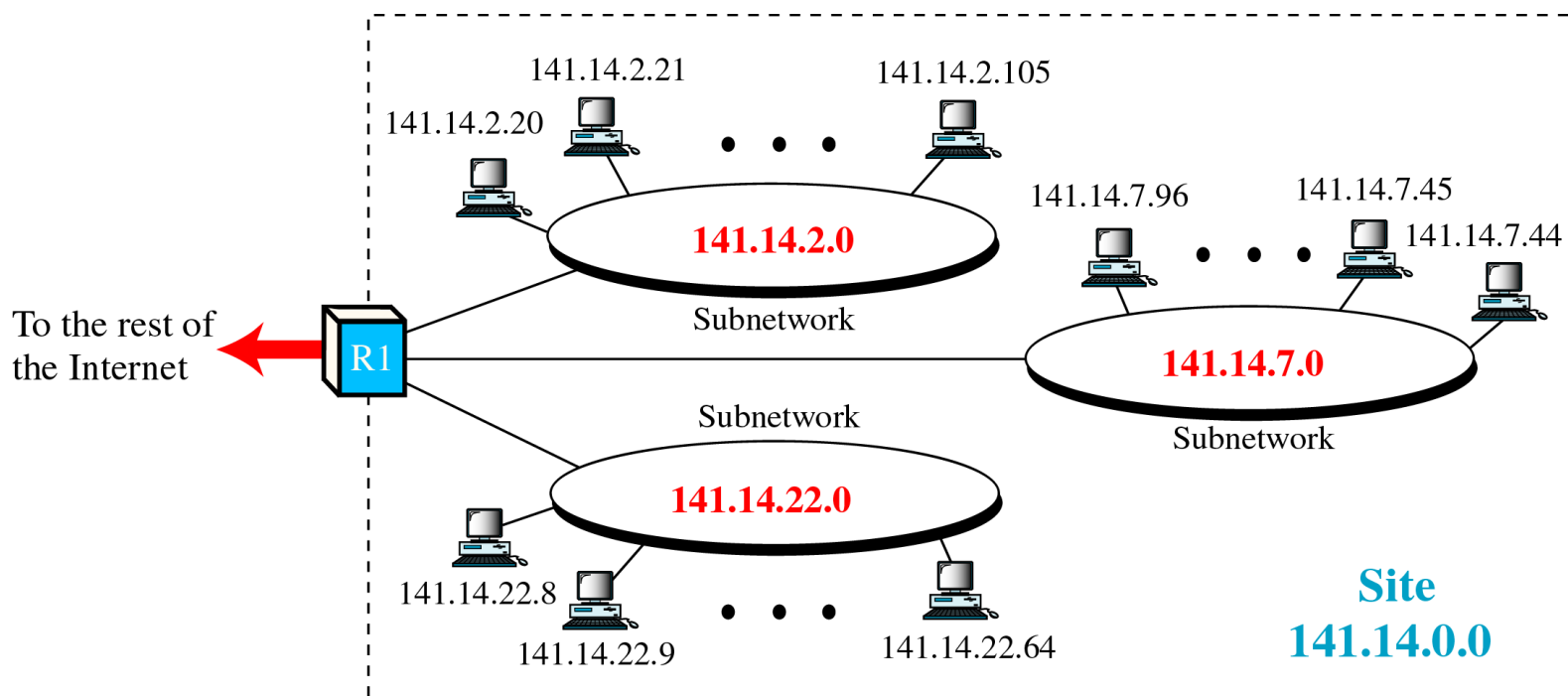
- Direccionamiento IP
 - Con CIDR
 - Dirección Clase B con subnetting
 - Hosts en tres subredes IP distintas



a. Without subnetting



b. With subnetting

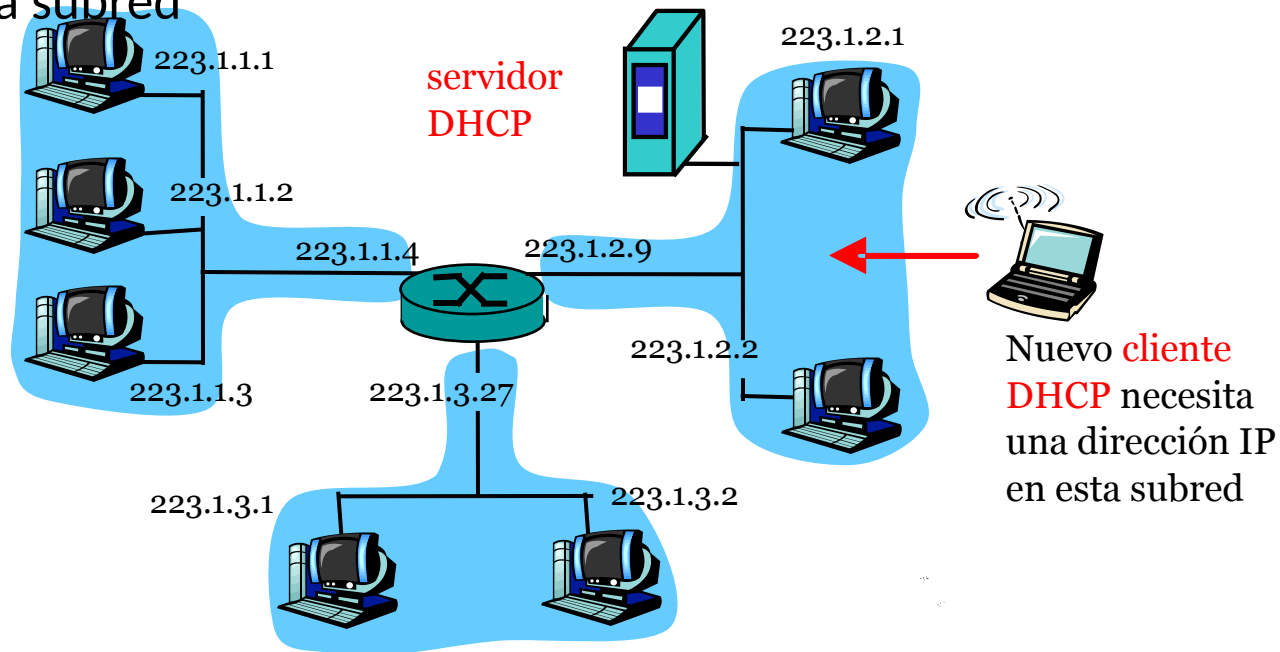


Asignación de direcciones IP

- La configuración de un host consta de tres valores principales:
 - Dirección IP del host
 - Máscara de subred
 - Dirección IP de un router (router por defecto o *gateway*)
- La especificación de estos valores puede realizarse mediante dos alternativas:
 - Mediante configuración manual hecha por un administrador
 - Mediante DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*)

Asignación de direcciones por DHCP

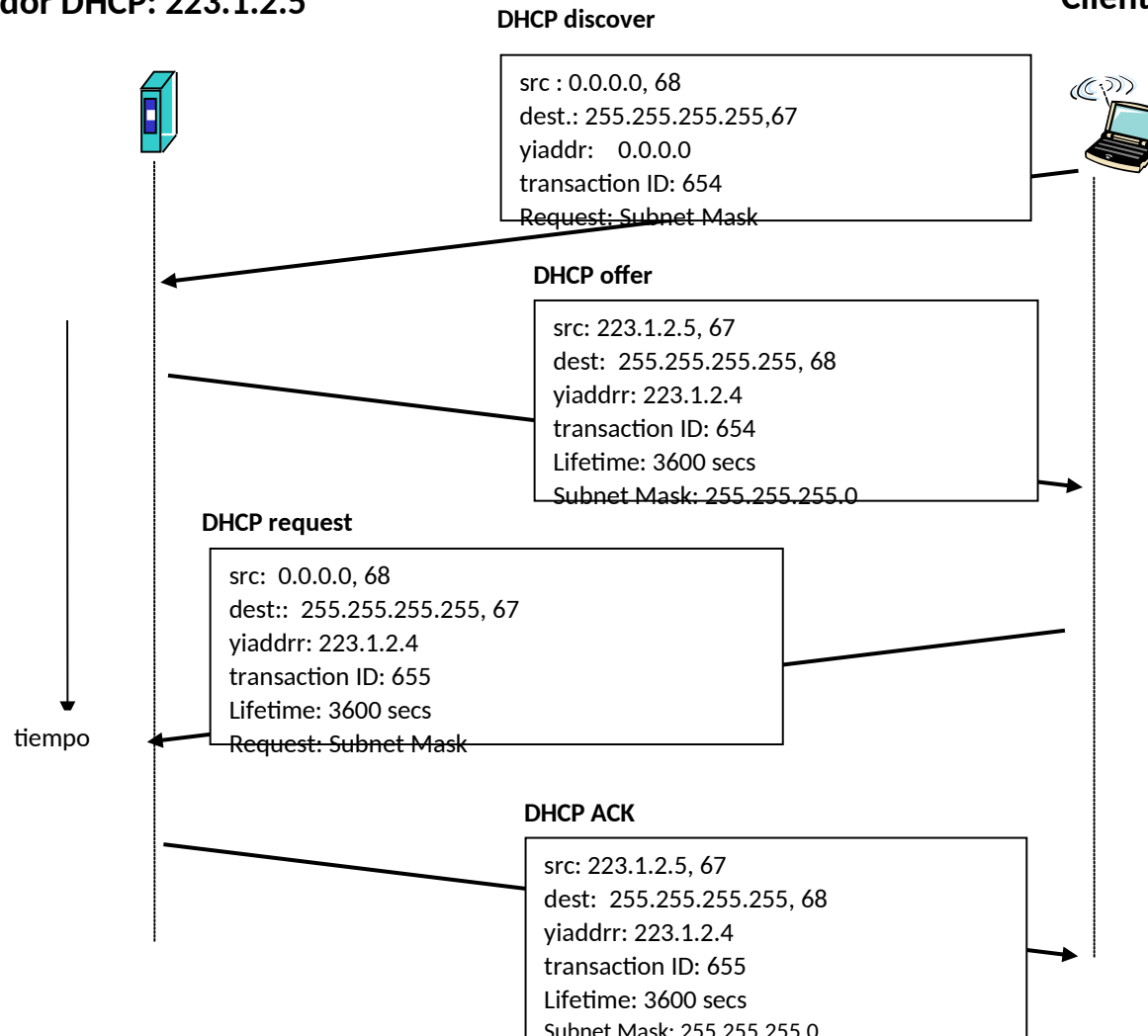
- DHCP es un protocolo de configuración dinámica de hosts que automatiza la asignación de los valores TCP/IP desde un servidor DHCP
 - El administrador puede especificar parámetros de TCP/IP globales y específicos de subredes de forma centralizada en el servidor
 - La mayoría de los routers pueden reenviar las solicitudes de configuración de DHCP. No es necesario disponer de servidores DHCP en cada subred



Asignación de direcciones por DHCP

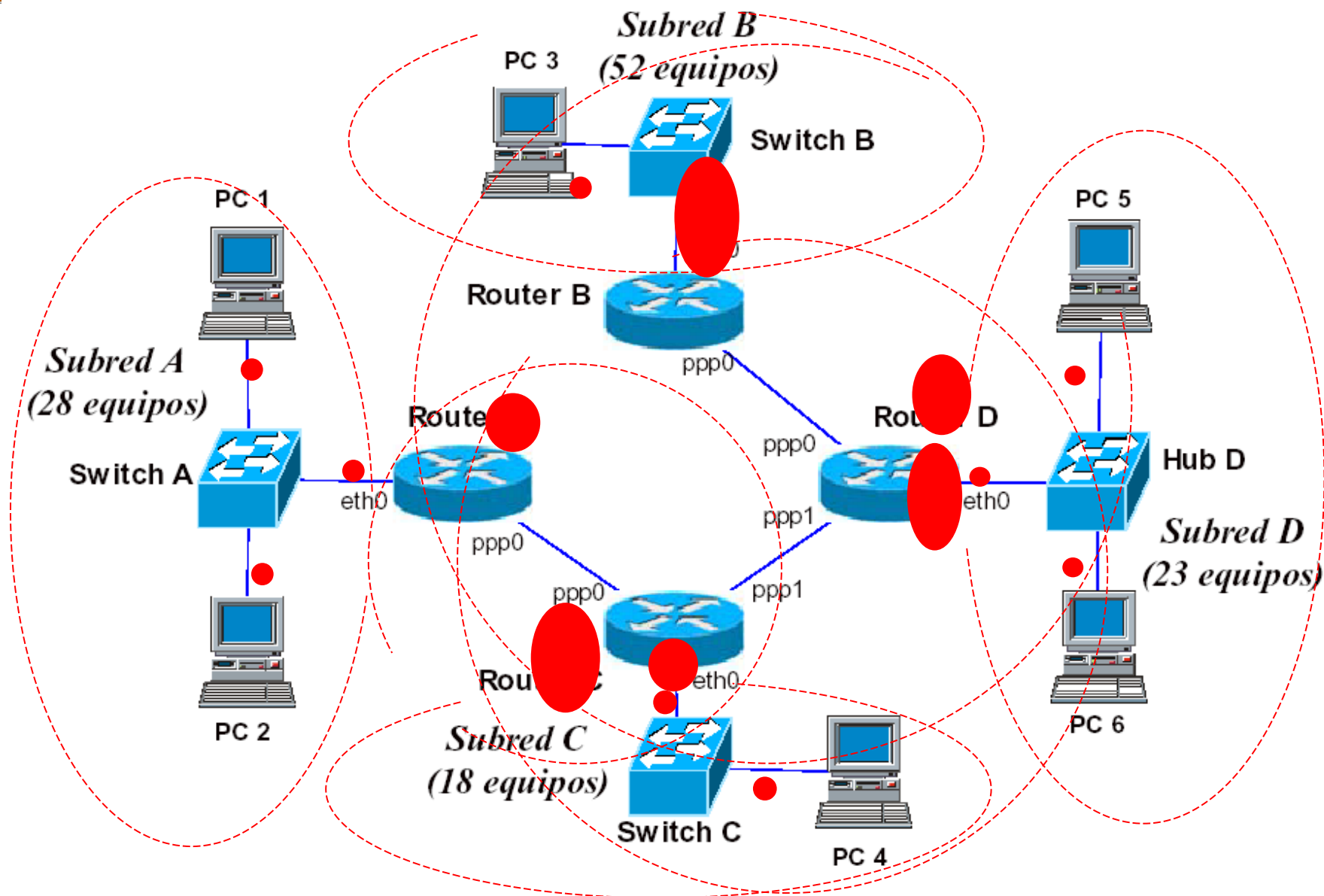
Servidor DHCP: 223.1.2.5

Cliente



- **Problema.** Dada la dirección de red asignada 10.10.10.0/24, asigne una dirección IP a cada una de la subredes e interfaces de la figura, teniendo en cuenta que:
 - El tamaño de las subredes debe ser lo más ajustado posible al número de equipos presentes en la subred
 - Las primeras direcciones de cada subred deben asignarse a los routers de dicha subred

Problemas



Problemas

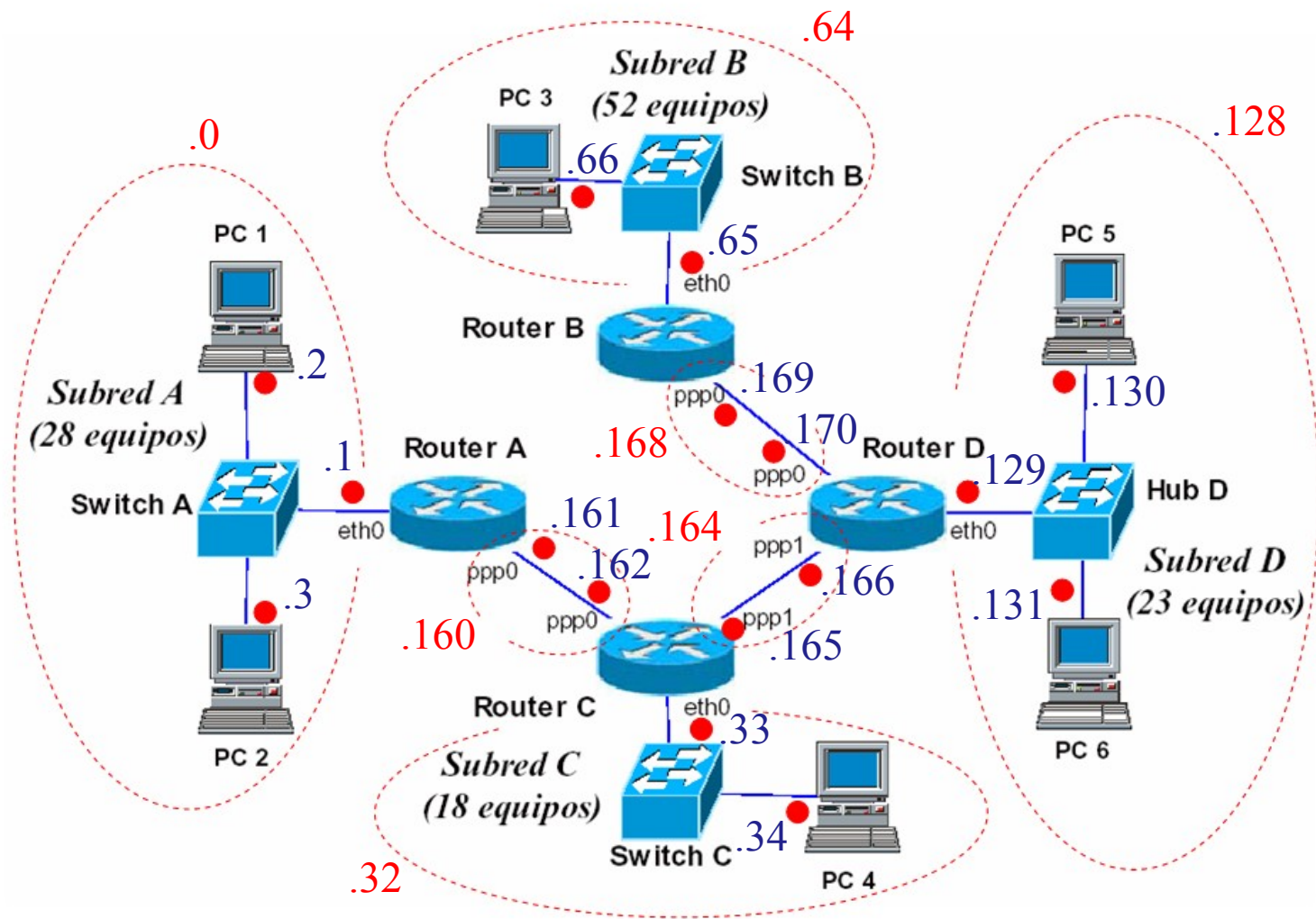
Subred	Interfaces+2	NetId	HostId
A	31	3 5	
B	55	2 6	
C	21	3 5	
D	26	3 5	
RaRc	4	6 2	
RcRd	4	6 2	
RdRb	4	6 2	

Subred	Dirección de red
A	10.10.10.0/27
B	10.10.10.64/26
C	10.10.10.32/27
D	10.10.10.128/27
Ra-Rc	10.10.10.160/30
Rc-Rd	10.10.10.164/30
Rd-Rb	10.10.10.168/30

10.10.10.000 00000 = Subred A
 10.10.10.001 00000 = Subred C
 10.10.10.010 00000 = Subred B

10.10.10.100 00000 = Subred D
 10.10.10.101 00000 = Subredes Ra-Rc / Rc-Rd / Rd-Rb

Problemas



Enrutamiento

- Enrutamiento IP entre dos hosts
 - Si dos hosts se encuentran en la misma (sub)red, pueden comunicarse directamente
 - Se puede determinar si dos hosts se encuentran en la misma (sub)red comparando el netid(+subnetid) de sus direcciones IP
 - Si dos hosts no se encuentran en la misma (sub)red, el host origen envía el paquete al router por defecto
 - Todos los equipos deben saber la dirección IP del router por defecto al que enviarán todos los paquetes destinados a una (sub)red diferente a la que encuentran
 - La dirección IP de destino del paquete es la del host destino
 - Cuando un router recibe una trama, extrae el paquete IP y lo procesa:
 - Si la dirección IP de destino del paquete es distinta a la suya, reenviará el paquete en base a su tabla de encaminamiento
 - Los paquetes pasan de un router a otro hasta llegar al que está conectado directamente a la (sub)red destino

Problemas

- **Problema (cont.).** Construye las tablas de enrutamiento para todos los routers y un PC de ejemplo con el siguiente formato:

Router	Destino	Gateway	Máscara	Interfaz
RA	10.10.10.0	*	/27	eth0
	10.10.10.160	*	/30	ppp0
	default	10.10.10.162	-	ppp0
RB	10.10.10.64	*	/26	eth0
	10.10.10.168	*	/30	ppp0
	default	10.10.10.170	-	ppp0
RC	10.10.10.32	*	/27	eth0
	10.10.10.160	*	/30	ppp0
	10.10.10.164	*	/30	ppp1
	10.10.10.0	10.10.10.161	/27	ppp0
	default	10.10.10.166	-	ppp1
RD	10.10.10.128	*	/27	eth0
	10.10.10.168	*	/30	ppp0
	10.10.10.164	*	/30	ppp1
	10.10.10.64	10.10.10.169	/26	ppp0
	default	10.10.10.165	-	ppp1
PC4	10.10.10.32	*	/27	eth0
(p.ej)	default	10.10.10.33	-	eth0

Problemas

- **Problema (cont.).** Construye las tablas de enrutamiento para todos los routers y un PC de ejemplo con el siguiente formato:

Router/PC	Destino	Gateway	Máscara	Interfaz
RA

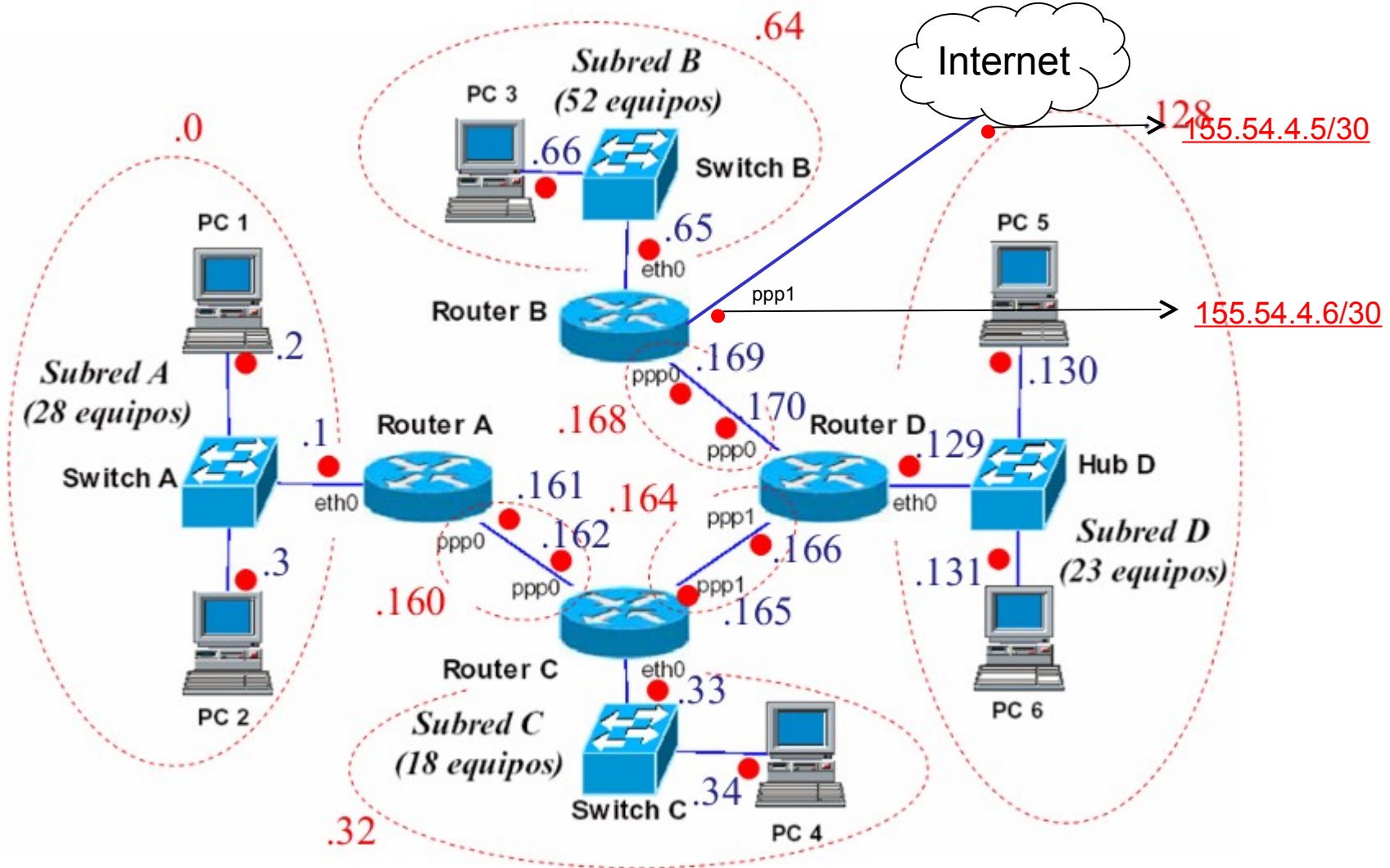
RB

...

PCX

Problemas

- **Problema (cont.).** ¿Y si Router B tuviese salida a Internet?:



Problemas

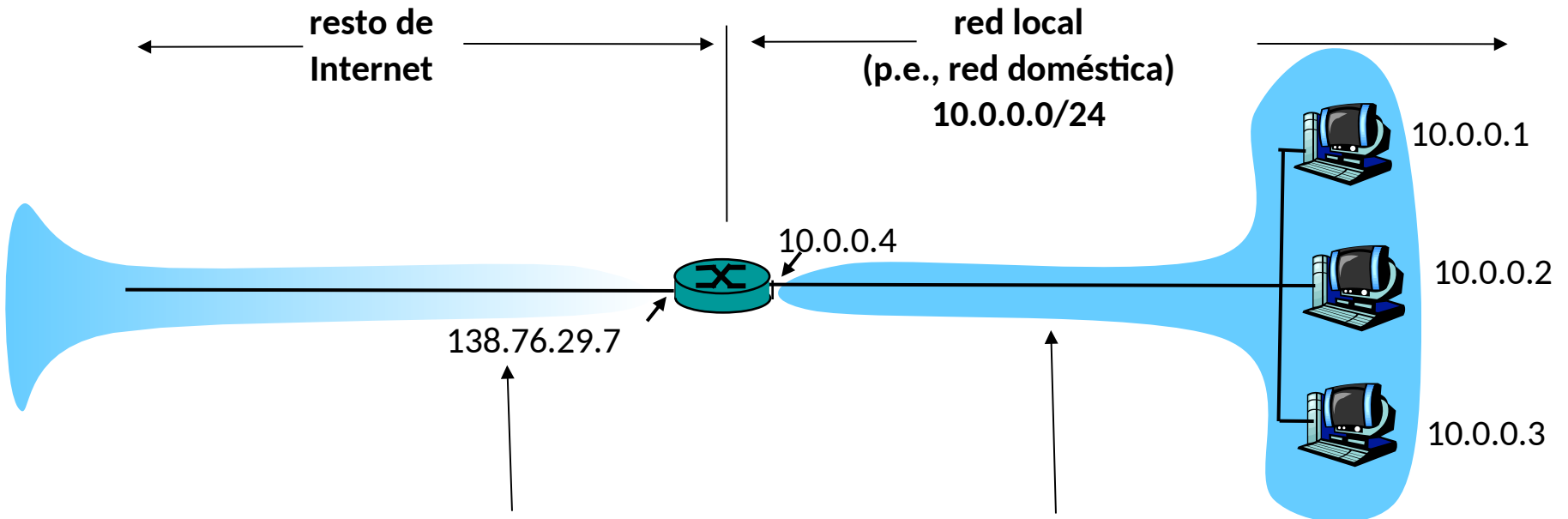
- **Problema (cont.).** Cambiaría default en algunos routers:

Router	Destino	Gateway	Máscara	Interfaz
RA		NO CAMBIA NADA		
RB	10.10.10.64	*	/26	eth0
	10.10.10.168	*	/30	ppp0
	155.54.4.4	*	/30	ppp1
	10.10.10.128	10.10.10.170	/27	ppp0
	10.10.10.32	10.10.10.170	/27	ppp0
	10.10.10.0	10.10.10.170	/27	ppp0
	10.10.10.160	10.10.10.170	/30	ppp0
	10.10.10.164	10.10.10.170	/30	ppp0
	default	155.54.4.5	-	ppp1
RC		NO CAMBIA NADA		
RD		CAMBIOS SIMILARES A RB ...		

NAT: *Network Address Translation*

- Motivación: necesidad de conectar número variable de dispositivos de una misma red local a Internet cuando sólo se dispone de una única IP pública
 - El ISP no proporciona un rango de direcciones sino sólo una IP para todos los dispositivos de la red local
 - 32 bits no son suficientes para asignar direcciones IP públicas a todas las interfaces de red de Internet
 - Se pueden agregar nuevos dispositivos y/o modificar las direcciones IP de los dispositivos de la red local de manera transparente
 - Se puede cambiar de ISP sin cambiar las direcciones IP de los dispositivos de la red local
 - Los dispositivos de la red local no son direccionables, es decir, visibles desde Internet (enmascaramiento)

Ejemplo de NAT



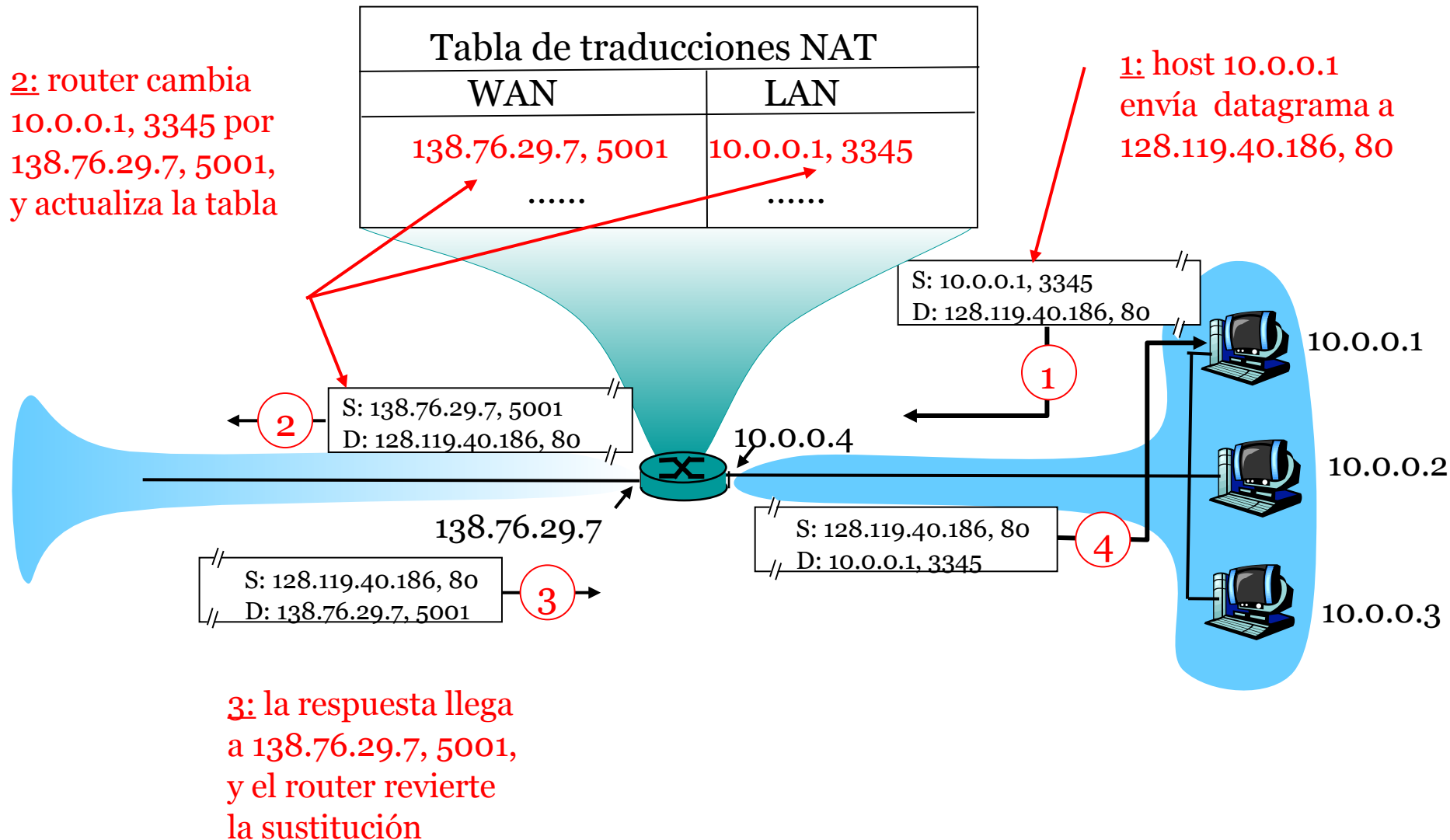
Todos los datagramas procedentes de la red local tienen 138.76.29.7 como dirección IP de origen, mientras que todos los datagramas destinados a la red local tienen 138.76.29.7 como IP de destino.

Los datagramas procedentes de la red local tienen una IP 10.0.0.0/24 como dirección IP de origen, mientras que los datagramas destinados a la red local tienen una IP 10.0.0.0/24 como dirección IP de destino.

Implementación de NAT

- El router actúa como traductor de direcciones y puertos entre la red Internet y la red de área local:
 - Para los datagramas salientes, reemplaza el par (dirección IP de origen, puerto #) por (dirección IP pública, nuevo puerto#)
 - Los clientes/servidores remotos responderán por tanto usando el par (IP pública, nuevo puerto #) como dirección IP de destino y puerto de destino
 - Además, almacena en la tabla de traducciones NAT cada una de las asociaciones entre direcciones junto a los correspondientes puertos
 - (IP pública, nuevo puerto #) (IP falsa, puerto#)
 - Para los paquetes entrantes, sustituye la dirección de destino y el puerto de destino por los correspondientes valores guardados en la tabla de traducciones NAT

Implementación de NAT

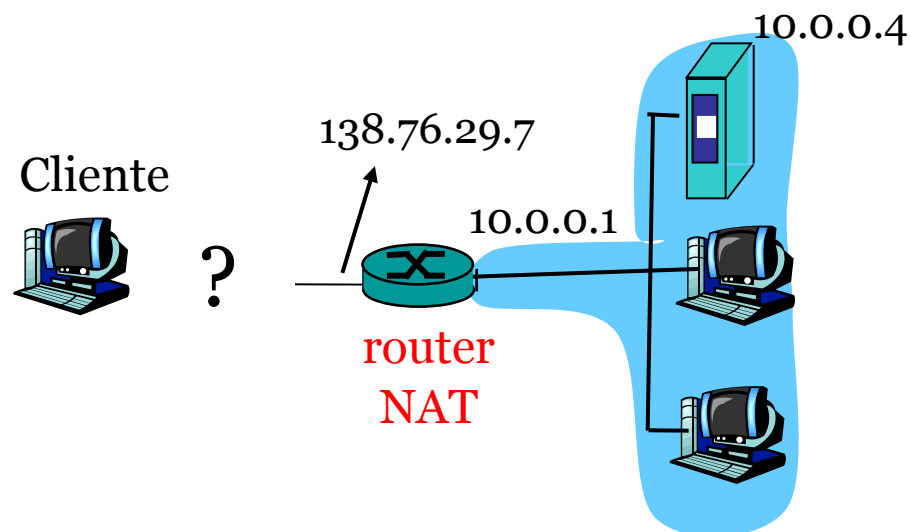


Implementación de NAT

- Los dispositivos de la red de área local pueden utilizar los siguientes rangos de IPs falsas
 - 10.0.0.0/8
 - 172.16.0.0/12
 - 192.168.0.0/16
- 169.254.0.0/16 se utiliza en ausencia de otro mecanismo de asignación de direcciones (*auto IP*)
 - *Automatic Private IP Addressing* (APIPA) de Microsoft
 - *Dynamic Configuration of IPv4 Link-Local Addresses* (RFC 3927)

El problema del NAT inverso

- ¿Qué sucede si un cliente quiere conectarse a un servidor que se ejecuta en un host con IP privada?
 - La única dirección visible desde Internet es la dirección pública
- Soluciones:
 - Configuración manual del router:
 - Configuración automática del router: *Universal Plug and Play (UPnP)*, *Internet Gateway Device (IGD) Protocol*



Protocolo ICMP

- ICMP (*Internet Control Message Protocol*)
 - IP puede fallar al intentar entregar un paquete:
 - El host destino no existe o está desconectado
 - El campo TTL toma el valor 0 y el router descarta el paquete
 - Sin embargo, IP no permite al emisor detectar estos problemas o simplemente conocer el estado de la red
 - ICMP es un protocolo diseñado para informar a un host de posibles errores o del estado de la red
 - Los paquetes ICMP viajan dentro de paquetes IP pero su destino es la capa de red del host origen
 - El identificador de protocolo para el paquete IP es 1
 - El nivel de red del receptor puede informar a los niveles superiores para que tomen medidas correctivas

Tipos de paquetes ICMP

- Destination Unreachable (Type=3)
 - Net unreachable (Code=0)
 - Host unreachable (Code=1)
 - Protocol unreachable (Code=2)
 - Port unreachable (Code=3)
 - Fragmentation needed and DF set (Code=4)

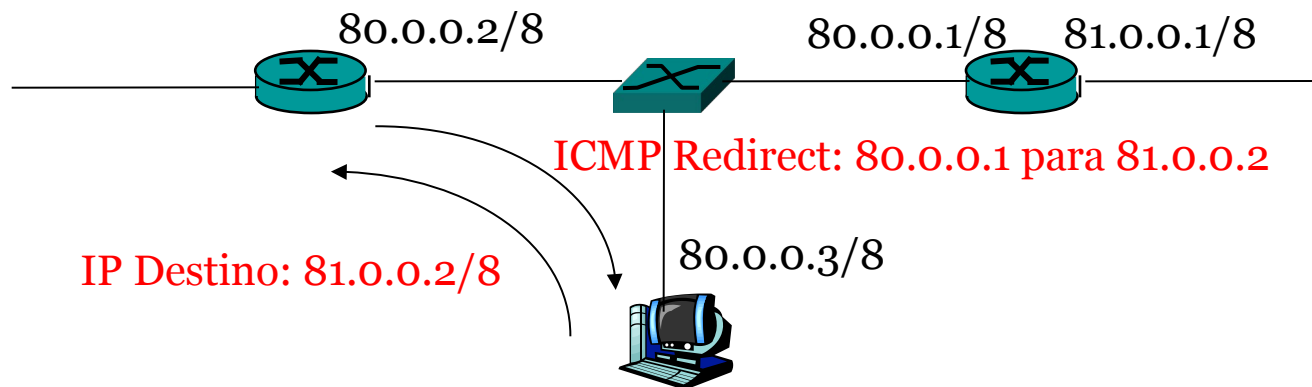
Type	Code	Checksum
No usado		
Cabecera IP y primeros 64 bits del datagrama original		

Tipos de paquetes ICMP

- Redirect (Type=5)

Type	Code	Checksum
Gateway Internet Address		
Cabecera IP y primeros 64 bits del datagrama original		

– Ejemplo:



Destino	Gateway	Máscara	Interfaz
80.0.0.0	*	/8	eth0
81.0.0.2 default	80.0.0.2	0.0.0.0	eth0
default	80.0.0.2	0.0.0.0	eth0

Tipos de paquetes ICMP

- Echo Request (Type=8) / Reply (Type = 0)
 - Identifier: identificador para determinar correspondencia entre peticiones y respuestas
 - Sequence Number: contador

Type	Code	Checksum
Identifier		Sequence number
Generally filled with ASCII text		

- Usado en la implementación de `ping`

Tipos de paquetes ICMP

- Time exceeded (Type=11)
 - TTL exceeded in transit (Code=0)
 - Fragment reassembly time exceeded (Code=1)

Type	Code	Checksum
No usado		
Cabecera IP y primeros 64 bits del datagrama original		

- Usado en la implementación de `traceroute`

Tema 3

El nivel de red

(1904) Redes de Comunicaciones