

Redes de Computadores

Grado en Ingeniería Informática



Contenido de la asignatura

Tema 1: Redes de Computadores e Internet

Tema 2: Capa de Aplicación

Tema 3: Capa de Transporte

Tema 4: Capa de Red

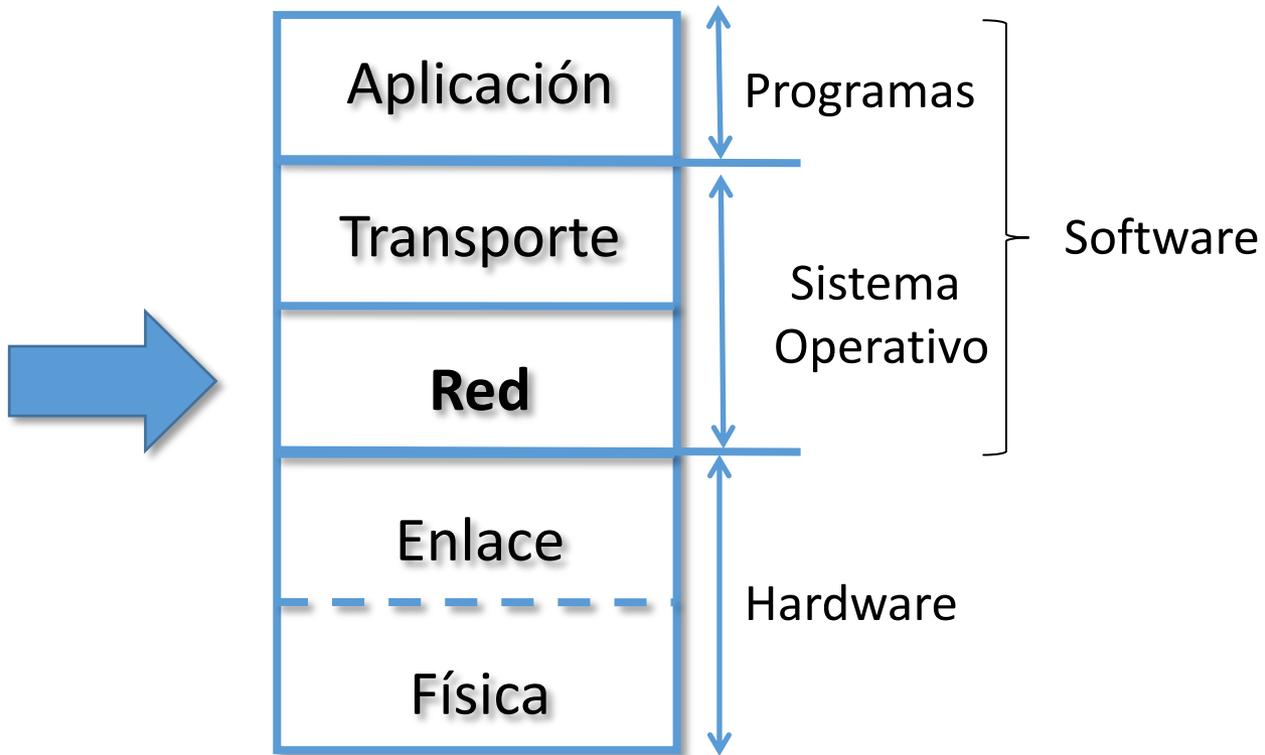
Tema 5: Capa de Enlace de Datos

Redes de Computadores

Tema 4

La Capa de Internet o Red





Tema 4: La Capa de Red

Objetivos

- Entender los principios que hay detrás de los servicios del Nivel de Red:
 - Modelos de servicio del Nivel de Red
 - Reenvío versus enrutamiento
 - El interior de un router
- Analizar un ejemplo: implementación en Internet

Contenido

1. Introducción
2. Router en redes de datagrama
3. IP: Protocolo de Internet
 - Formato del datagrama IPv4
 - Direccionamiento IPv4
 - Introducción a ICMP
 - Funcionamiento

Tema 4: La Capa de Red

Objetivos

- Entender los principios que hay detrás de los servicios del Nivel de Red:
 - Modelos de servicio del Nivel de Red
 - Reenvío versus enrutamiento
 - El interior de un router
- Analizar un ejemplo: implementación en Internet

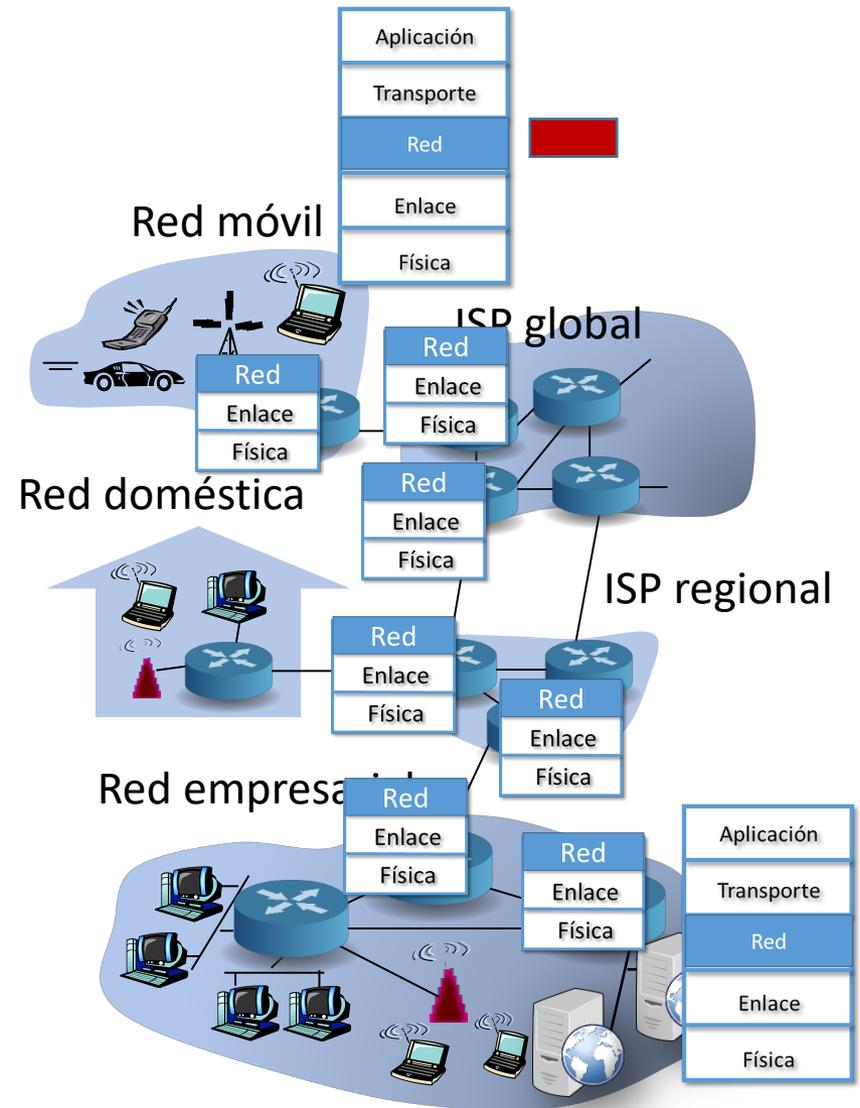
Contenido

1. **Introducción**
2. Router en redes de datagrama
3. IP: Protocolo de Internet
 - Formato del datagrama IPv4
 - Direccionamiento IPv4
 - Introducción a ICMP
 - Funcionamiento

Introducción

El nivel de red

- El nivel de Red envía segmentos (T_PDUs) desde un sistema final origen a uno destino.
- En el emisor, encapsula cada T_PDU en un datagrama (R_PDU)
- En el receptor, entrega las T_PDU al nivel de transporte.
- El nivel de Red está presente tanto en los sistemas finales como en los routers.
- Los routers examinan la cabecera (R_PCI) de todas las R_PDUs que pasan por ellos.



Introducción

Modelos de servicio del Nivel de Red

Algunos de los servicios que podría proporcionar una capa de Red del modelo OSI son:

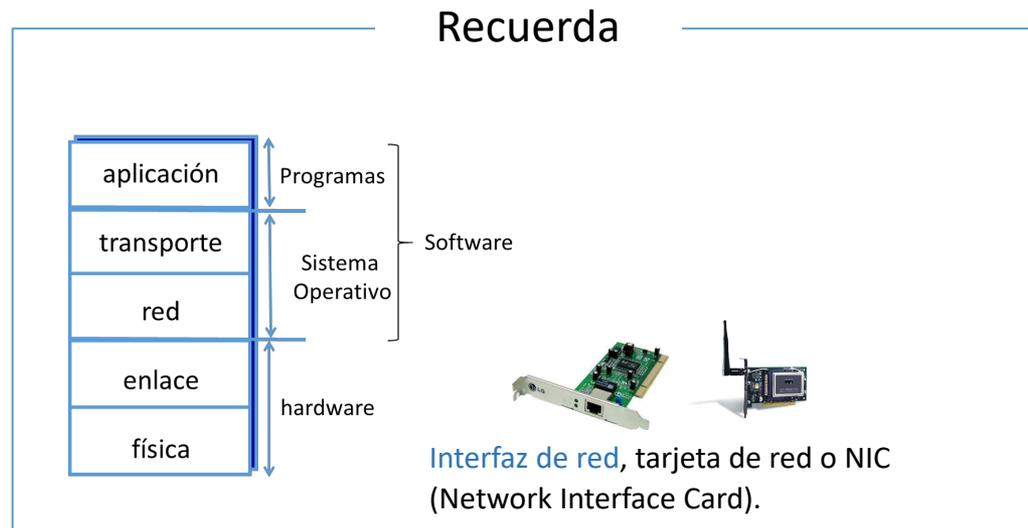
- Entrega garantizada.
- Entrega garantizada con retardo limitado.
- Entrega de los paquetes en orden.
- Ancho de banda mínimo garantizado.
- Seguridad.

Sin embargo, la capa de Red de TCP/IP proporciona sólo uno: servicio de mejor esfuerzo (*best effort*), que **no** incluye ninguno de los servicios anteriores.

Introducción

Comunicación con el Nivel de Enlace

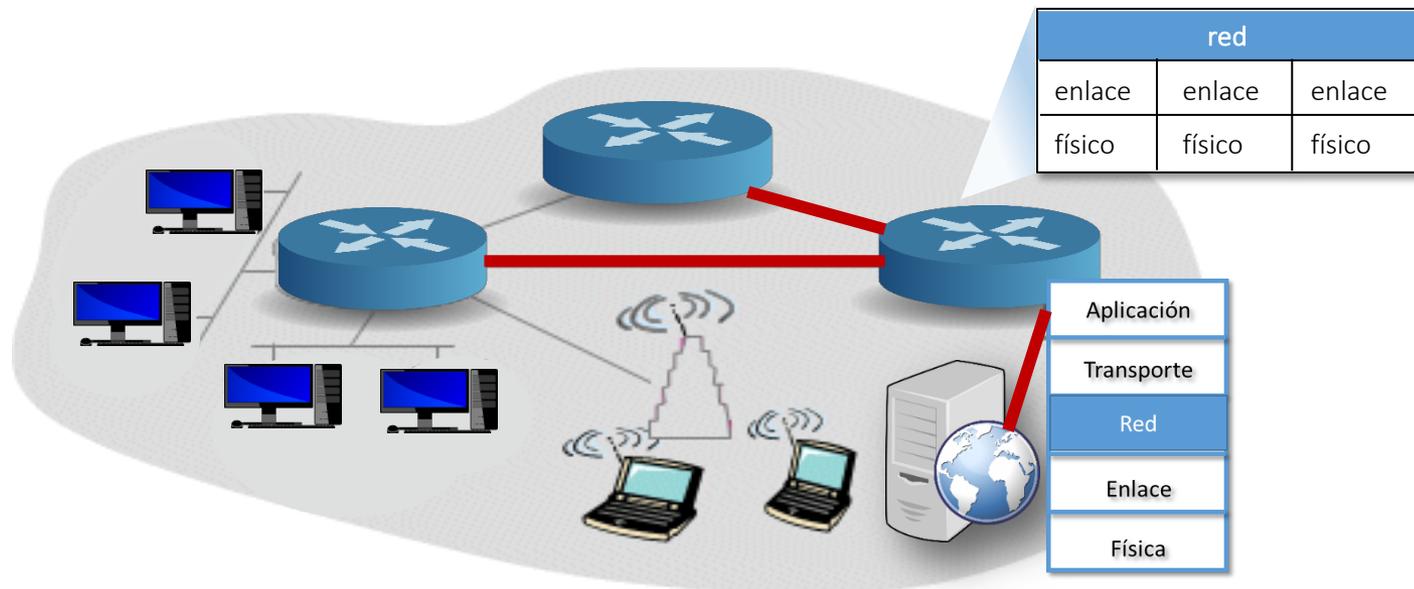
- Cada interfaz de red implementa un determinado protocolo de nivel de enlace y físico, conocido como **tecnología de enlace**, **tecnología de red** o simplemente **tecnología**.
- Cada interfaz de red tiene asociada una dirección de nivel de enlace, conocida como **dirección física** o **dirección MAC** de 48 bits que lo identifica. Por ejemplo, 00:BF:3C:23:45:30



Introducción

Interfaces

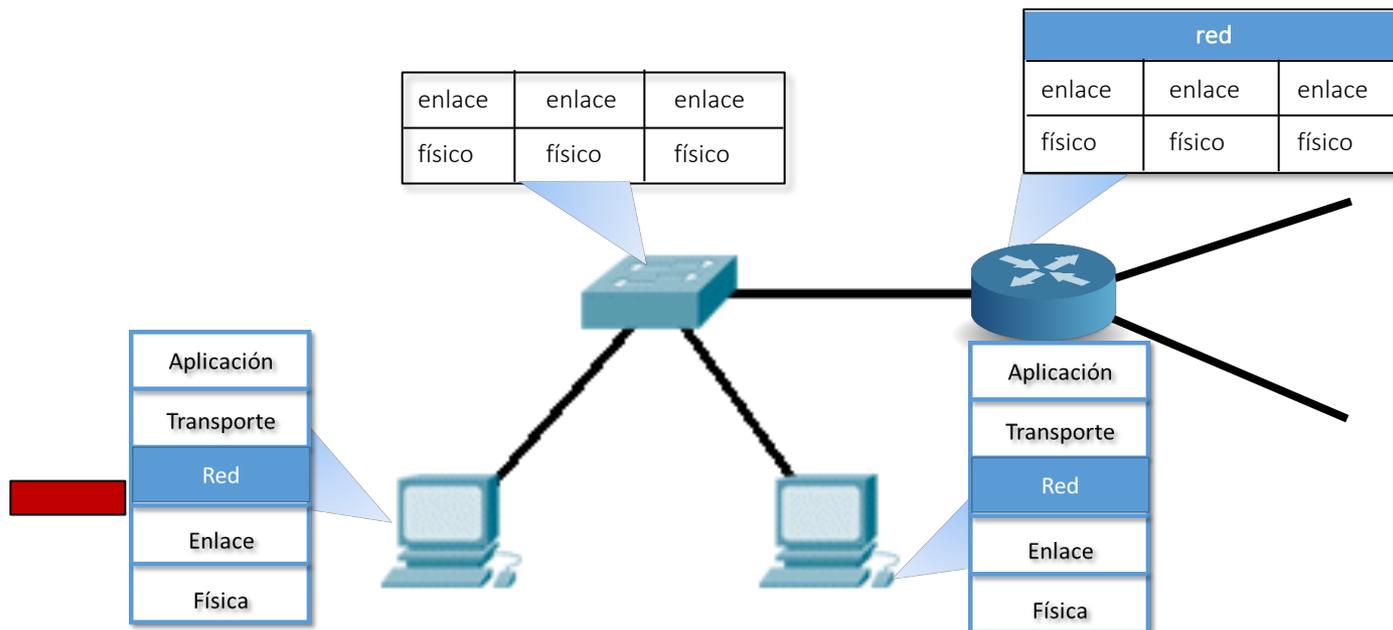
- En general, en los sistemas finales se usa sólo una interfaz de red, aunque puede haber varias (por ejemplo, Ethernet y Wi—Fi).
- En los routers hay varias interfaces de red.
 - Cada una de estas interfaces le llevará hacia otros routers o hacia sistemas finales.



Introducción

Límites del dominio de broadcast

- El nivel de enlace, a través de la interfaz de red, le ofrece al Nivel de Red un servicio no fiable de entrega de R_PDUs entre routers o sistemas finales que estén conectados mediante medios físicos y dispositivos que implementan, como mucho, hasta el nivel de enlace.
- Los routers y sistemas finales conectados de esta forma se dice que están en el mismo **dominio de difusión o broadcast**.



Introducción

Direccionamiento

- Esta función del nivel de red permite definir una forma de identificar de manera única a los dispositivos que están conectados por el mismo nivel de red.
- Es conocida como **dirección de nivel 3** o **dirección de nivel de red** (dirección IP en el caso de la arquitectura TCP/IP.)
- Todo dispositivo que tenga nivel de red (p.e. sistemas finales, routers,...) tiene una **dirección de nivel de red**.
- Se utilizan esquemas de direccionamiento jerárquico (**Red.Host**)
 - Una parte de la dirección de nivel 3 identifica a la red lógica (**Red**).
 - Es común a todos los dispositivos que estén en la misma red lógica.
 - Otra parte de la dirección de nivel 3 identifica al dispositivo con nivel 3 dentro de la red lógica (**Host**).

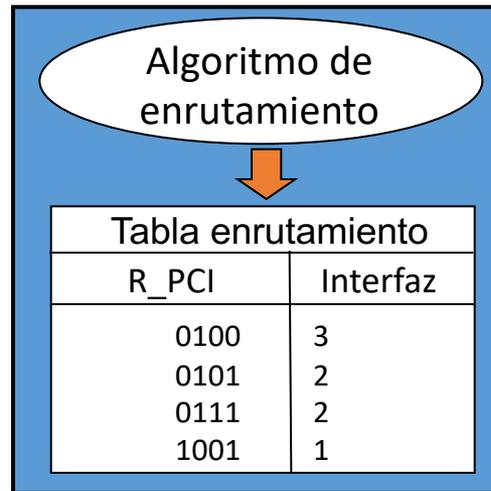
Introducción

Dos funciones claves del Nivel de Red

- **Reenvío** (forwarding): El router mueve R_PDUs de una interfaz de entrada hacia la interfaz de salida apropiada.
- **Enrutamiento** (routing): Determina la ruta que han de tomar las R_PDUs desde un origen a un destino.
 - Algoritmos de enrutamiento
- **Una analogía:**
 - Enrutamiento: sería el proceso de planificar un viaje desde un lugar origen a un destino
 - Renvío: sería el proceso de atravesar una intersección.

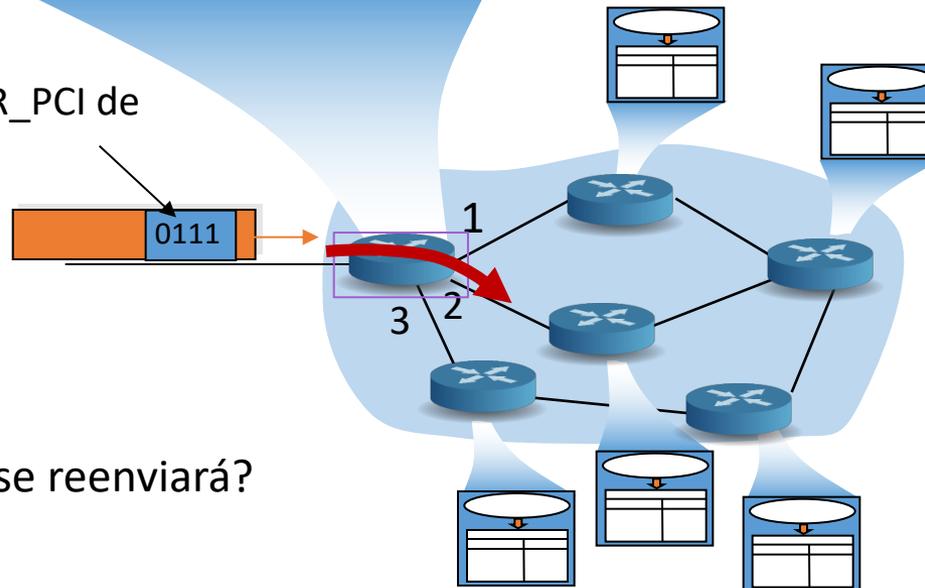
Introducción

Interacción entre enrutamiento y reenvío



En breve más sobre tabla de enrutamiento.....

Valor en la R_PCI de la R_PDU



P. ¿Por qué interfaz se reenviará?

Tema 4: La Capa de Red

Objetivos

- Entender los principios que hay detrás de los servicios del Nivel de Red:
 - Modelos de servicio del Nivel de Red
 - Reenvío versus enrutamiento
 - El interior de un router
- Analizar un ejemplo: implementación en Internet

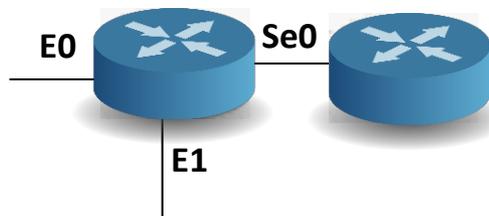
Contenido

1. Introducción
2. **Router en redes de datagrama**
3. IP: Protocolo de Internet
 - Formato del datagrama IPv4
 - Direccionamiento IPv4
 - Introducción a ICMP
 - Funcionamiento

Routers en redes de datagrama

Interfaces de un router

- La tecnología que se utilice **en cada interfaz** de un router es independiente.
 - Por ejemplo el router frontera de una red doméstica suele tener una interfaz Ethernet o WI-FI y otra ADSL, cable modem...
- Las interfaces de un router se identifican
 - con una letra según la tecnología y
 - Por ejemplo, E: Ethernet 10 Mbps, Fa: Fast Ethernet, Gi: Gigabit Ethernet, To: Token Ring, Se: Serial...
 - un número para distinguir interfaces con la misma tecnología
 - Por ejemplo, E0, Fa0, Fa1, Se0...



Routers en redes de datagrama

Interfaces del router y redes lógicas (I)

- En cada interfaz de un router, utilizando el medio de transmisión apropiado, se conectarán sistemas finales u otros routers.
 - Para conectar estos equipos será posible utilizar dispositivos que implementan como mucho hasta el nivel de enlace. Por ejemplo un switch, un punto de acceso o un hub.
 - Todos los equipos conectados estarán en el mismo dominio de broadcast, es decir, todos ellos procesarán todas las tramas (E_PDUs) que en la E_PCI tengan una dirección física destino broadcast o multicast.
 - En general, todos los equipos conectados serán de la misma red lógica.
 - Sus direcciones de nivel 3 compartirán el mismo identificador de red.

Notas

1. Una dirección física broadcast o multicast sirve para identificar a un grupo de interfaces de red.
2. Las direcciones IP son jerárquicas. Los bits que la componen se estructuran de tal manera que una parte (identificador de red) identifica a la red lógica, y la otra parte (identificador de host) identifica al sistema final o router. De forma abstracta, una dirección IP es de la forma (Red.Host).

[Más en breve...](#)

Routers en redes de datagrama

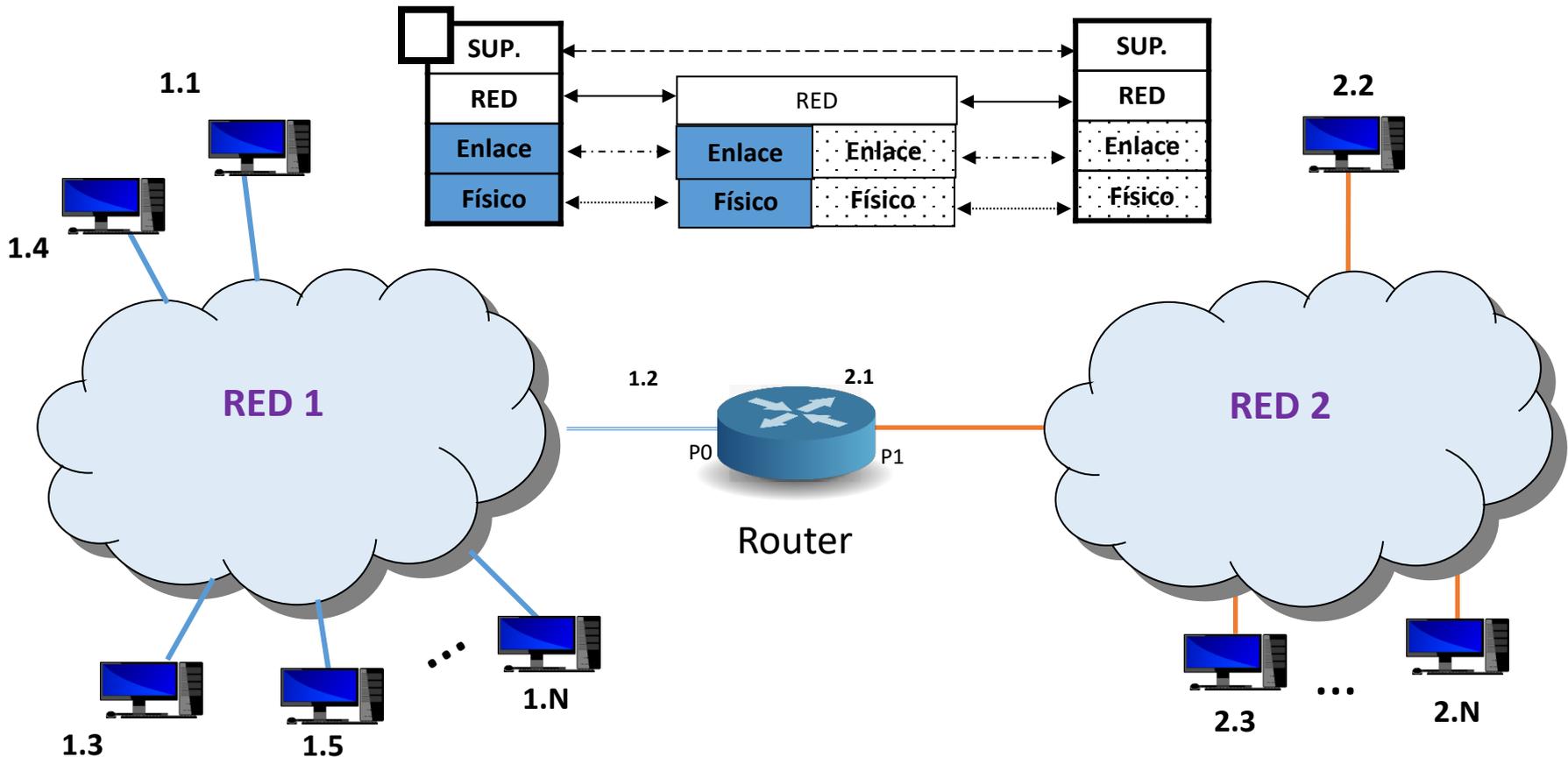
Interfaces del router y redes lógicas (II)

- Cada interfaz de un router pertenecerá a una red lógica distinta.
 - Tendrá una dirección de nivel 3 distinta.
 - La parte que identifica a la red lógica será distinta, necesariamente, en cada interfaz. (Por ejemplo, 1, 2,...)
- Cada interfaz de un router está un dominio de broadcast diferente.
- Un router no es un dispositivo transparente.
 - La dirección de nivel 3 del router debe ser conocida por los sistemas finales de un determinado dominio de broadcast.
 - Por ejemplo, en una red doméstica conectada a Internet, los sistemas finales deben conocer la dirección IP de la interfaz Ethernet o Wi-Fi del router frontera.
 - La dirección de nivel 3 del router debe ser conocida por otros routers que vayan a reenviarle una R_PDU (routers directamente conectados).

Routers en redes de datagrama

Interfaces del router y redes lógicas – Ejemplo

1. ¿Cuántos dominios de broadcast hay? ¿Cuántas redes lógicas hay?
2. ¿Y si a 1.3 y 1.4 se le asignase en la dirección de nivel 3 el identificador de red 3?
3. Si 1.1 quiere enviar datos a 2.2. ¿A quién tendrá que entregar la R_PDU que encapsule esos datos el nivel de red de ese sistema final? ¿Qué direcciones de nivel 3 origen y destino aparecerán en esa R_PDU?
4. ¿Qué dirección de nivel 3 origen tendrá la R_PDU que reciba el sistema final 2.2 en la R_PCI?



Routers en redes de datagrama

Reenvío basado en destino - Tabla de enrutamiento (I)

- Las dos funciones claves del nivel de red hacen uso de la tabla de reenvío o **tabla de enrutamiento (TE)**.
 - La función de enrutamiento puede modificar su contenido.
 - La función de reenvío la consulta para saber por qué la interfaz de salida hay que reenviar la R_PDU para alcanzar su destino.
- Tanto los sistemas finales como los routers tienen una tabla de enrutamiento.
- En el proceso de reenvío las entradas de la TE sirven para conocer el próximo salto a seguir en el camino.
- Una entrada de la TE contiene como mínimo:

Red	Próximo salto	Interfaz
Identificador de Red	Dirección de nivel 3 del router próximo salto	Interfaz de red de salida

Routers en redes de datagrama

Reenvío basado en destino - Tabla de enrutamiento (II)

¿Cómo se rellenan las entradas de la TE?

- **Automáticamente**

- Al asignar direcciones de nivel 3 a los dispositivos con nivel de red se incluye una entrada para la red lógica a la que pertenece el dispositivo.

- **Manualmente**

- Mediante comandos de administración se rellenan las redes alcanzables en la TE.

- **Dinámicamente**

- Mediante protocolos de enrutamiento que implementan algoritmos que determinan el mejor camino hacia una determinada red lógica.
 - Específico de los routers.
 - Protocolos típicos usados en Internet son RIP, OSPF y BGP.
- Además en la TE se suele incluir una entrada especial, conocida como **ruta por defecto**, que se utilizará en el caso de no existir una entrada específica para una determinada red lógica. Se usa un identificador de red reservado.

Routers en redes de datagrama

Reenvío basado en destino - Tabla de enrutamiento (III)

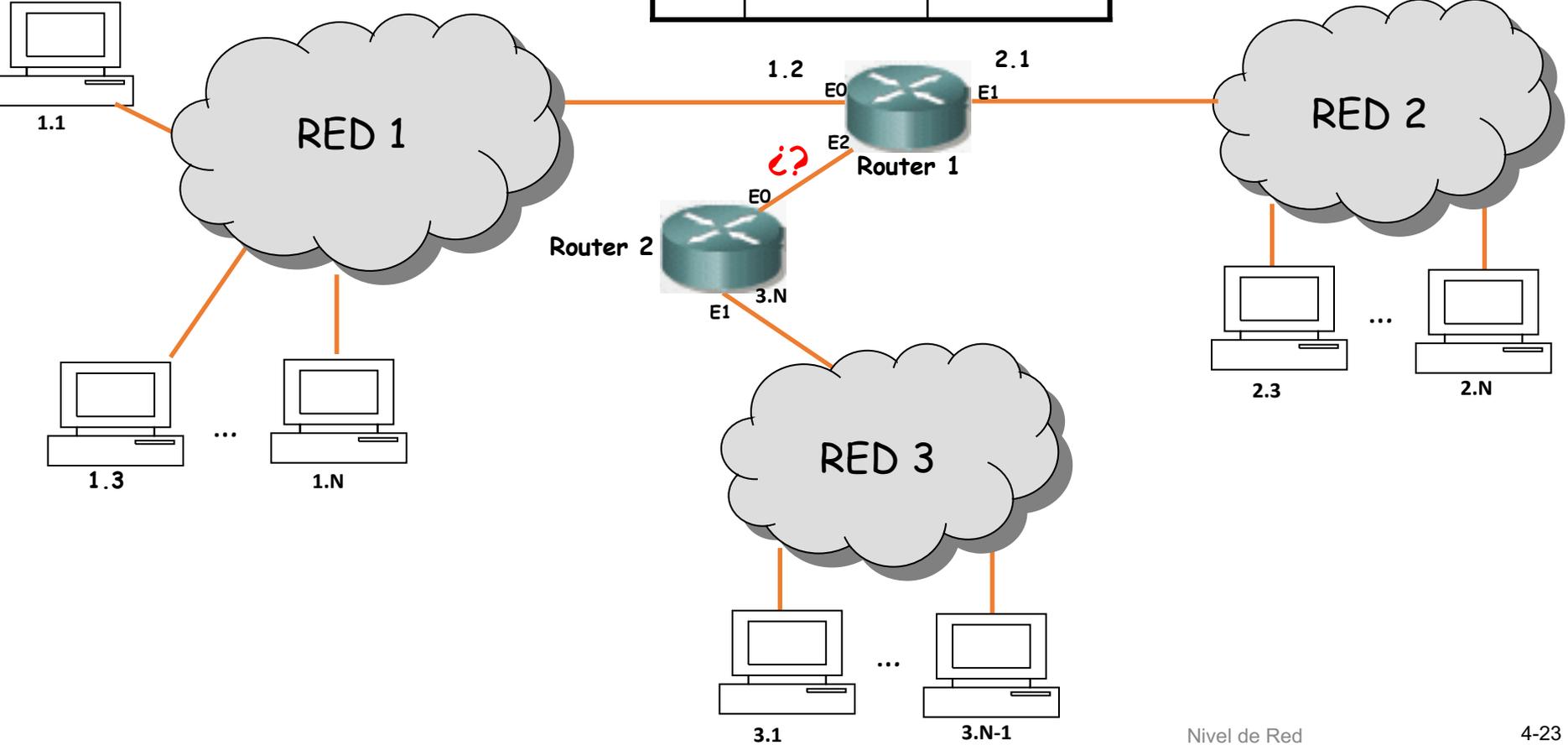
- Cuando el Nivel de Red tiene una R_PDU que debe enviar, la única información que necesita usar de la R_PCI para averiguar el próximo salto, es la dirección destino de nivel 3.
- El Nivel de Red buscará en la TE una entrada cuyo campo Red tenga un identificador de red que coincida con el identificador de red del destino.
 - En caso de encontrar esa entrada en la TE, entregará la R_PDU, **sin modificar en la R_PCI las direcciones de nivel 3 de origen y destino en el caso de los routers**, al próximo salto indicado en la entrada y a través de la interfaz indicada en la entrada.
 - Si la entrada encontrada no especificase el próximo salto, es debido a que el destino está **directamente conectado** a la interfaz indicada. En ese caso le entregará la R_PDU directamente al destino a través de la interfaz indicada.
 - Si no encuentra una entrada adecuada, descartará la R_PDU.
 - Esa red no sería alcanzable por ese Nivel de Red.

Routers en redes de datagrama

Reenvío basado en destino - Tabla de enrutamiento: Ejemplo 1

TE Host 1.1		
Red	Próximo salto	Interfaz

TE Router 1		
Red	Próximo salto	Interfaz



Routers en redes de datagrama

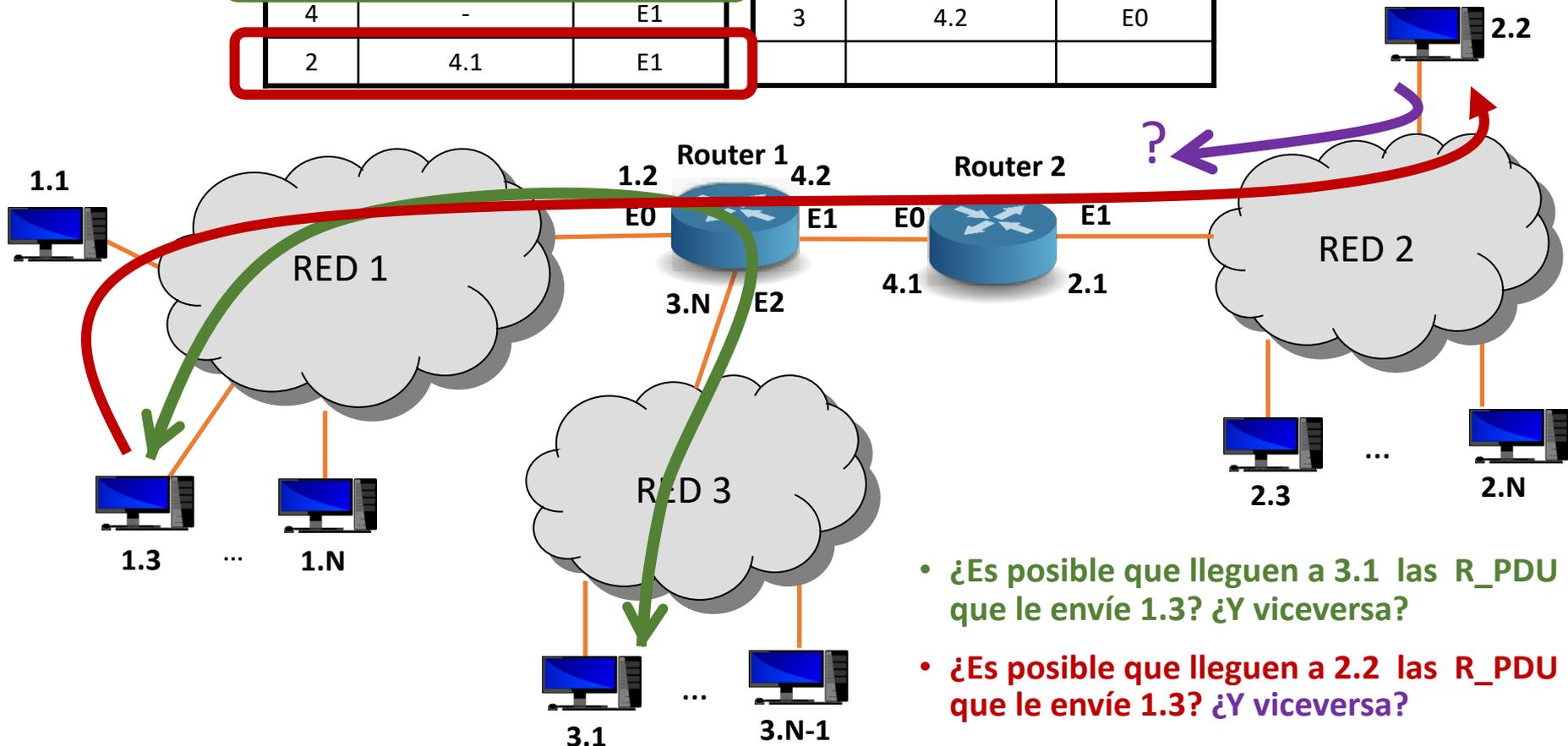
Reenvío basado en destino - Principios de la tabla de enrutamiento

- Cada dispositivo con nivel de red toma sus propias decisiones, basándose en la información que tiene en su tabla de enrutamiento.
- El hecho de que un dispositivo con nivel de red tenga cierta información en su tabla de enrutamiento no quiere decir que otros tengan la misma información.
- El hecho de que las tablas de enrutamiento contengan información capaz de hacer llegar una R_PDU desde una red origen hacia una destino, **no** garantiza que contengan información necesaria para que la R_PDU pueda hacer el camino inverso.

Routers en redes de datagrama

Reenvío basado en destino - Tabla de enrutamiento: Ejemplo 2

TE Router 1			TE Router 2		
Red	Próximo salto	Interfaz	Red	Próximo salto	Interfaz
1	-	E0	4	-	E0
3	-	E2	2	-	E1
4	-	E1	3	4.2	E0
2	4.1	E1			



- ¿Es posible que lleguen a 3.1 las R_PDU que le envíe 1.3? ¿Y viceversa?
- ¿Es posible que lleguen a 2.2 las R_PDU que le envíe 1.3? ¿Y viceversa?

Tema 4: La Capa de Red

Objetivos

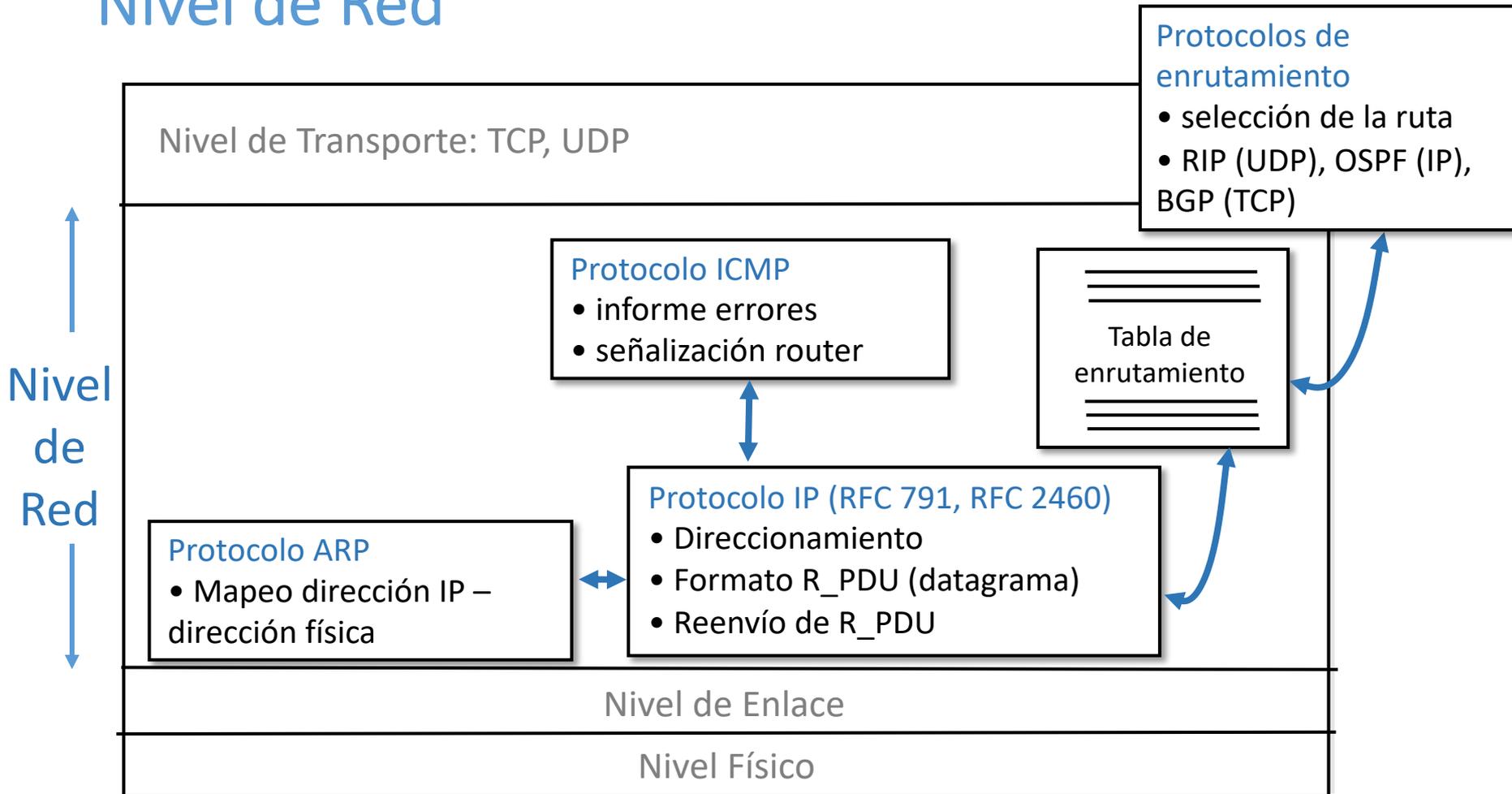
- Entender los principios que hay detrás de los servicios del Nivel de Red:
 - Modelos de servicio del Nivel de Red
 - Reenvío versus enrutamiento
 - El interior de un router
- Analizar un ejemplo: implementación en Internet

Contenido

1. Introducción
2. Router en redes de datagrama
- 3. IP: Protocolo de Internet**
 - Formato del datagrama IPv4
 - Direccionamiento IPv4
 - Introducción a ICMP
 - Funcionamiento

IP: Protocolo de Internet

Nivel de Red



- Existen varios protocolos en el nivel de Red que están presentes tanto en sistemas finales como en los routers.
- Los protocolos de enrutamiento están en los routers. No todos los protocolos de enrutamiento operan en el Nivel de Red.

Tema 4: La Capa de Red

Objetivos

- Entender los principios que hay detrás de los servicios del Nivel de Red:
 - Modelos de servicio del Nivel de Red
 - Reenvío versus enrutamiento
 - El interior de un router
- Analizar un ejemplo: implementación en Internet

Contenido

1. Introducción
2. Router en redes de datagrama
- 3. IP: Protocolo de Internet**
 - **Formato del datagrama IPv4**
 - Direccionamiento IPv4
 - Introducción a ICMP
 - Funcionamiento

IP: Protocolo de Internet

Versiones del protocolo IP

- Incluye funciones de direccionamiento lógico.
- Hay dos versiones:

IPv4 (RFC 791)

32 bits

Versión	Long. Cab	Tipo de servicio	Longitud del datagrama (bytes)	
Identificador de 16 bits		Indic.	Desplazamiento de fragmentación de 13 bits	
Tiempo de vida	Protocolo de la capa superior	Suma de comprobación de cabecera		
Dirección IP de origen de 32 bits				
Dirección IP de destino de 32 bits				
Opciones (si existen)				
Datos				

IPv6 (RFC 2460, RFC 4291)

32 bits

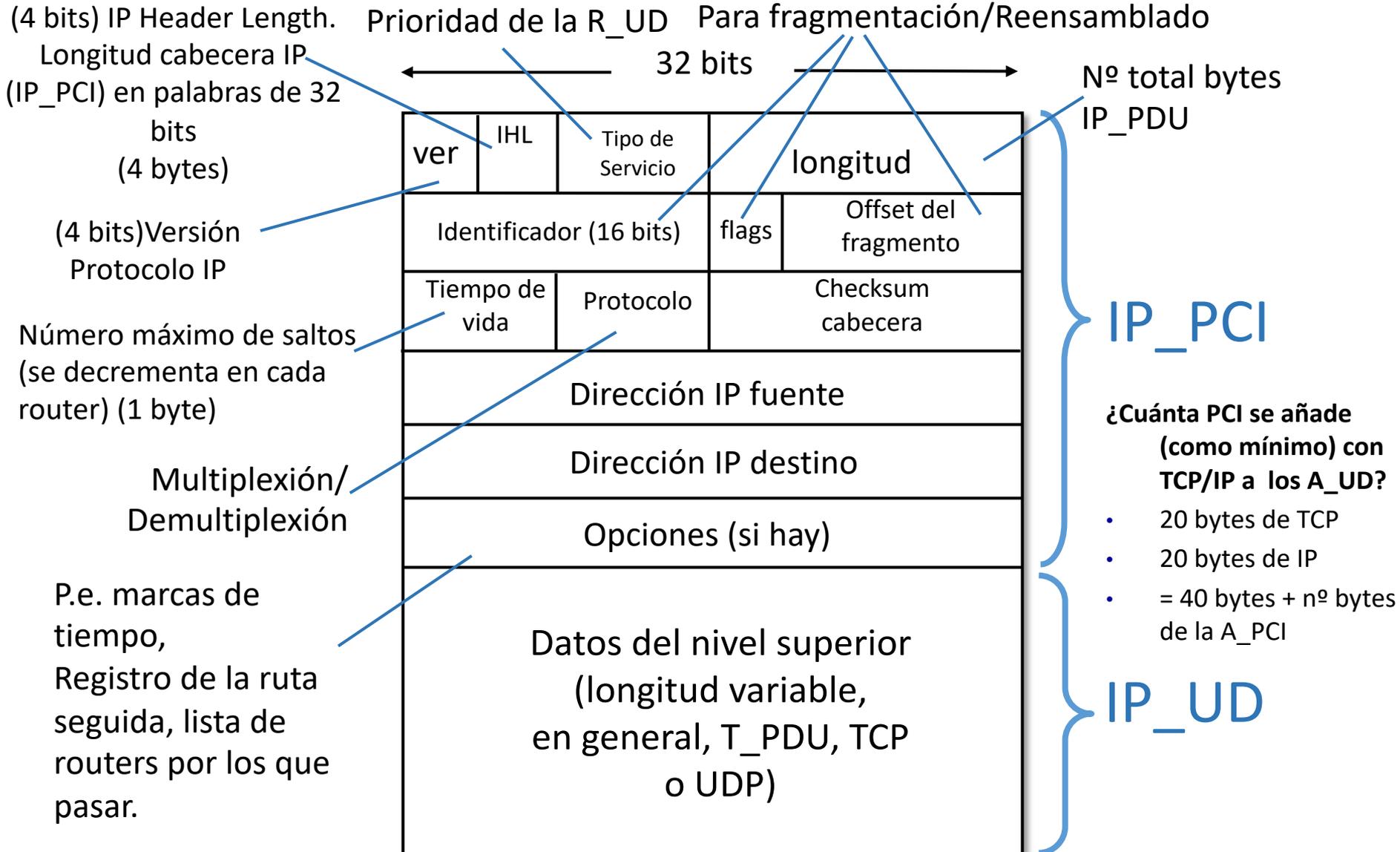
Versión	Clase de tráfico	Etiqueta de flujo		
Longitud de carga útil		Siguiente cabecera	Límite de saltos	
Dirección IP de origen de 128 bits				
Dirección IP de destino de 128 bits				
Datos				

¿Cuánta PCI se añade (como mínimo) con TCP/IP a las A_UD?

- 20 bytes de TCP
- 20 bytes de IPv4 o 40 bytes de IPv6
- = (40 bytes o 60 bytes) + n° bytes de la A_PCI

IP: Protocolo de Internet

Formato del datagrama IPv4 (IP_PDU o R_PDU)



IP: Protocolo de Internet

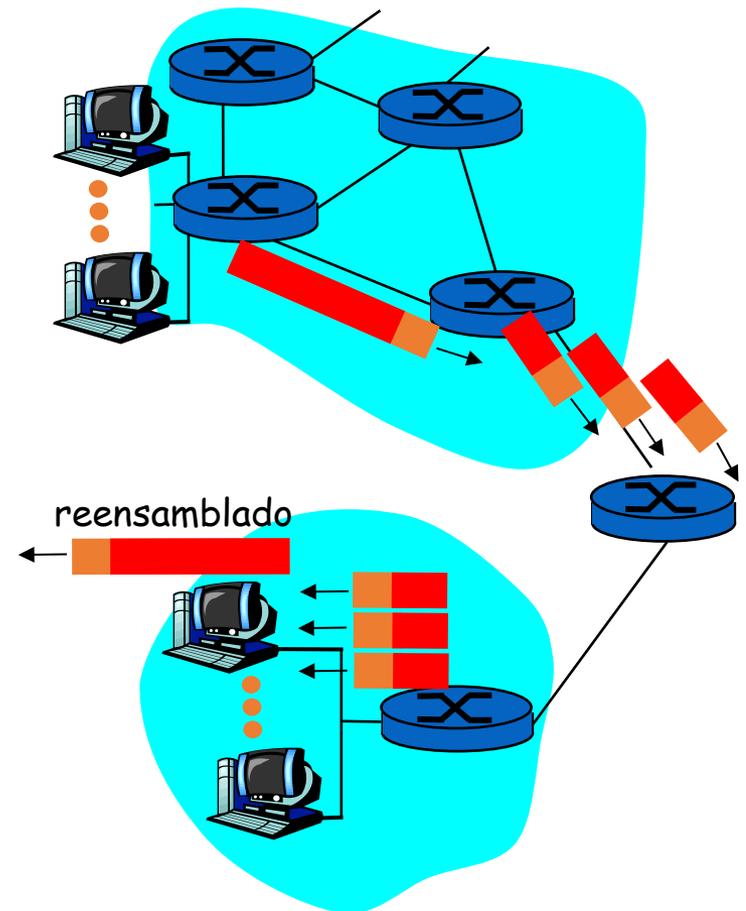
Fragmentación y reensamblado en IPv4

- Cada tecnología de enlace tiene limitada la cantidad máxima de bytes que puede transportar de E_SDU (R_PDU), conocido como **MTU** (Maximum Transfer Unit, Unidad Máxima de Transferencia).
- Si el tamaño de la IP_PDU es mayor que la MTU de la interfaz por la que se va a transmitir, es necesario fragmentar.
- Una IP_PDU se trocea en varias IP_PDUs (fragmentos) de tamaño adecuado (menor que la IP_PDU original).
- El nivel de red del destino se encarga del reensamblado.

Ejemplo de fragmentación:

entra: 1 IP_PDU grande

salen: 3 IP_PDUS más pequeñas



Tema 4: La Capa de Red

Objetivos

- Entender los principios que hay detrás de los servicios del Nivel de Red:
 - Modelos de servicio del Nivel de Red
 - Reenvío versus enrutamiento
 - El interior de un router
- Analizar un ejemplo: implementación en Internet

Contenido

1. Introducción
2. Router en redes de datagrama
- 3. IP: Protocolo de Internet**
 - Formato del datagrama IPv4
 - **Direccionamiento IPv4**
 - Introducción a ICMP
 - Funcionamiento

IP: Protocolo de Internet

Direccionamiento IPv4 (I)

- Esta función del nivel de red permite definir una forma de identificar de manera única a los dispositivos que están conectados por el mismo nivel de red.
- Es conocida como **dirección de nivel 3** o **dirección de nivel de red** (dirección IP en el caso de la arquitectura TCP/IP.)
- Todo dispositivo que tenga nivel de red (p.e. sistemas finales, routers,...) tiene una **dirección de nivel de red**.
- Se utilizan esquemas de direccionamiento jerárquico (**Red. Host**)
 - Una parte de la dirección de nivel 3 identifica a la red lógica (**Red**).
 - Es común a todos los dispositivos que estén en la misma red lógica.
 - Otra parte de la dirección de nivel 3 identifica al dispositivo con nivel 3 dentro de la red lógica (**Host**).

IP: Protocolo de Internet

Direccionamiento IPv4 (II)

- En TCP/IP la dirección de nivel de 3 se conoce como **dirección IP** o IPv4
 - Se usan 32 bits (4 bytes) con un esquema de direccionamiento jerárquico:



- El número de bits que identifican a la red y el que identifica al host dependerá del esquema de direccionamiento usado.
- La notación utilizada para representar una dirección IPv4 es:
 - Dirección 32 bits:
11001000001010001000000000100000
 - Agrupan en bytes:
11001000 00101000 10000000 00100000
 - Cada byte se escribe en decimal y se separa por puntos:
200.40.128.32
- Configurable manual o automáticamente.
 - En los sistemas finales hay que configurar dirección IP y dirección IP router frontera (más en breve).
 - En los routers, una dirección IP por interfaz.

IP: Protocolo de Internet

Direccionamiento IPv4 – Tipos direcciones IPv4

Existen tres tipos de direcciones IPv4:

- **Unicast:** Sirven para enviar IP_PDUs a un único destino.
 - Todos los routers y sistemas finales deben tener asignada como mínimo una dirección unicast.
- **Broadcast:** Usada como destino, sirve para enviar IP_PDUs a todos los dispositivos (host y routers) de una red lógica.
 - Cada red lógica tiene una dirección broadcast.
- **Multicast:** Usada como destino, sirve para enviar IP_PDUs a un grupo de dispositivos (host y routers) de la misma o diferente red lógica.
 - Para que funcione, todos los dispositivos del mismo grupo deben tener configurada la misma dirección multicast.

IP: Protocolo de Internet

Direccionamiento IPv4 – Direcciones especiales

Dos significados



Este host: Usado como dirección IP origen cuando no se tiene una (p.e. dispositivo sin configuración).

Identificador de cualquier red

(Ruta por defecto en la TE)

Dirección de red



Identificador de la red lógica

(Se usa en la TE)

Dirigido



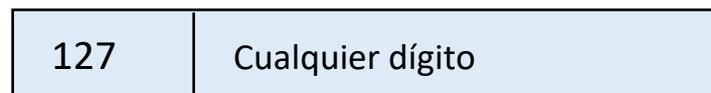
Identifica a todos los dispositivos de una red.

Limitado



Identifica a todos los dispositivos de la red a la que pertenezca el origen

Dirección de *loopback*
(*localhost*)



Usada para comunicar internamente procesos de un mismo equipo.

IP: Protocolo de Internet

Direccionamiento IPv4 – Esquemas de direccionamiento

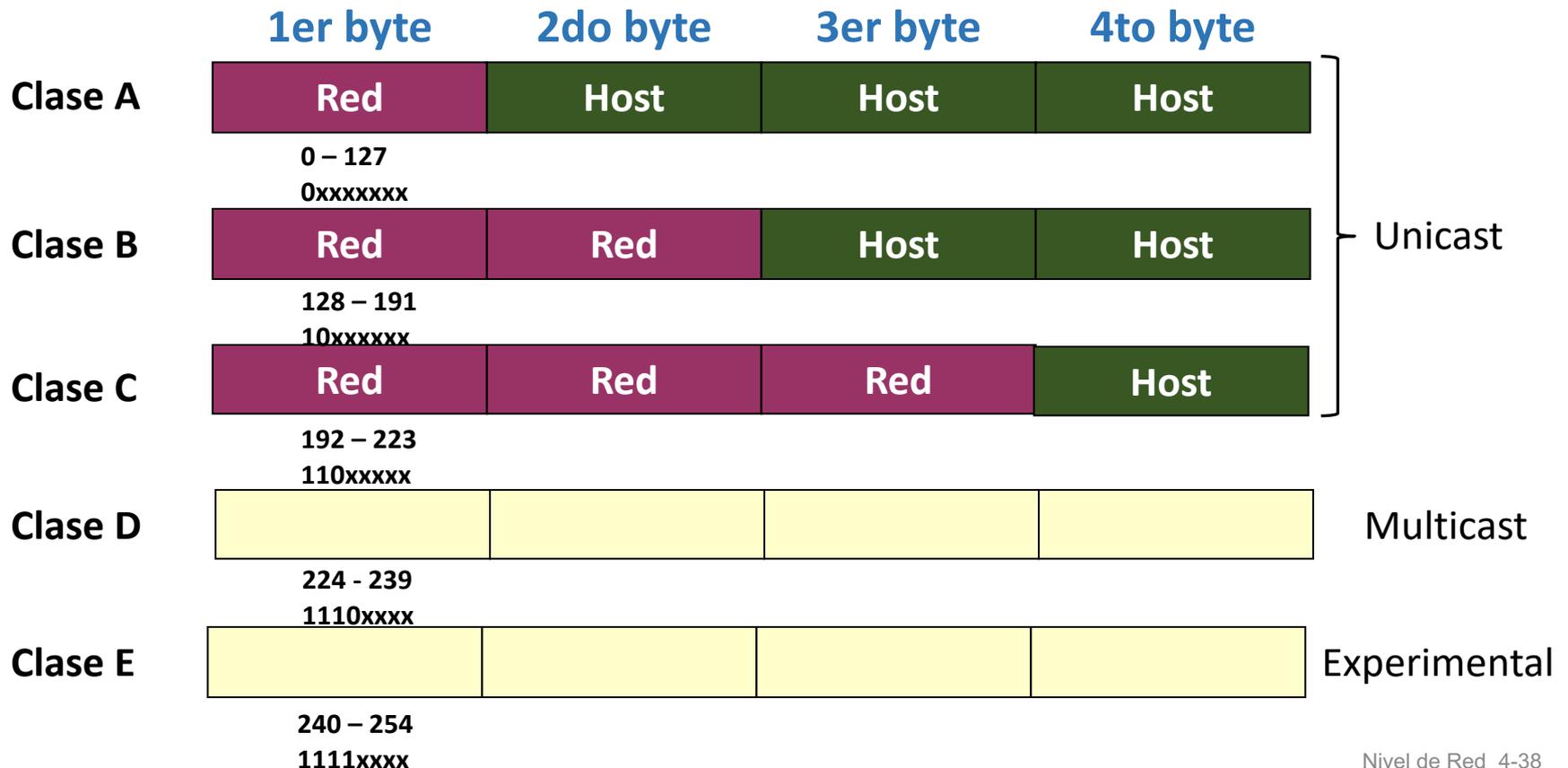
Para determinar qué parte de la dirección IPv4 identifica a la red y qué parte identifica al host se utilizan:

- Direccionamiento con clase (classful) (está obsoleto).
- Direccionamiento sin clase (classless) (mecanismo usado hoy en día).

IP: Protocolo de Internet

Direccionamiento IPv4 – Direccionamiento con clase (classful) (I)

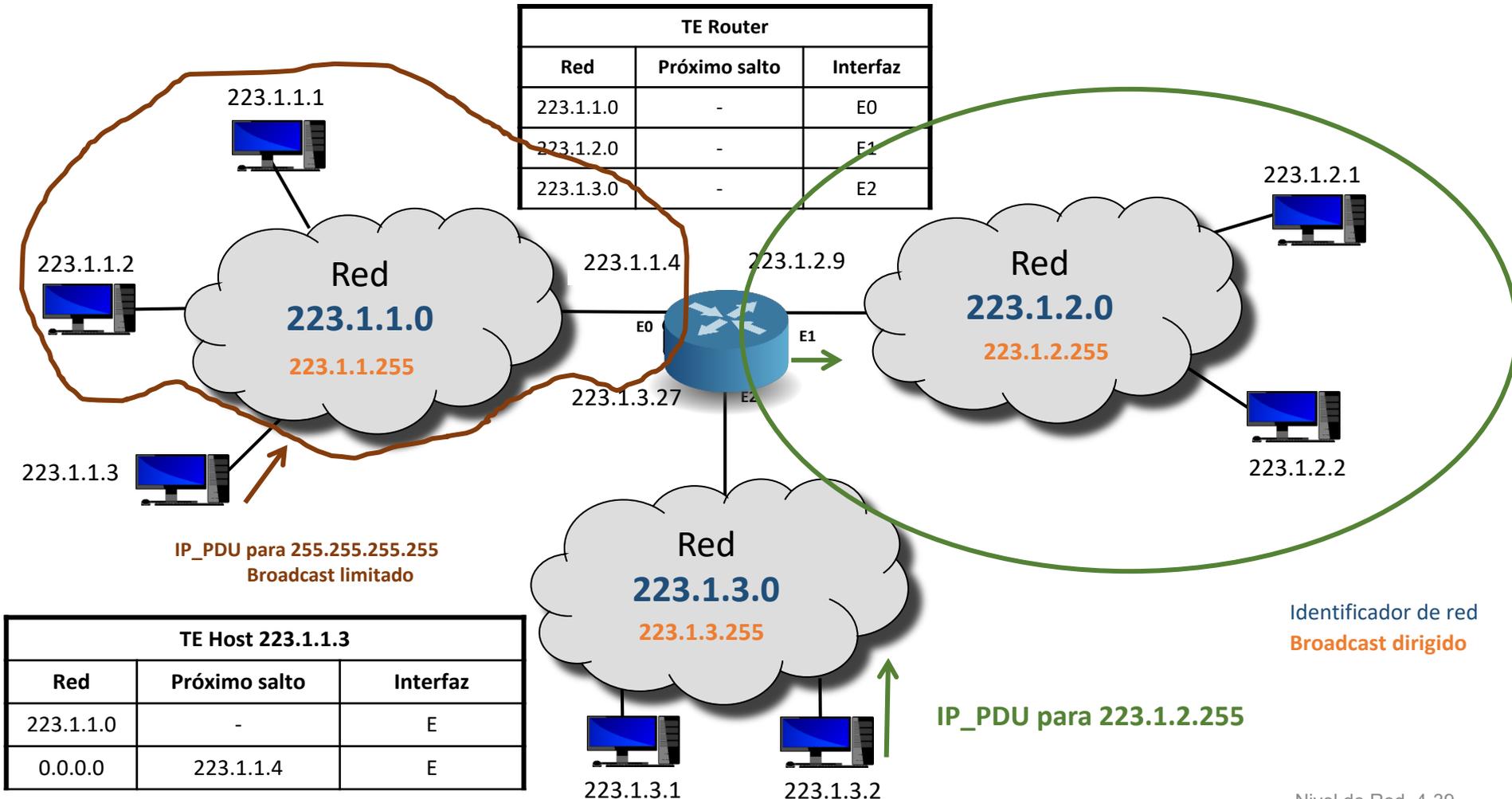
- Usa el primer byte de la dirección IP para determinar qué parte identifica a la red y qué parte al host.
- Existen 5 clases direcciones:



IP: Protocolo de Internet

Direccionamiento IPv4 – Direccionamiento con clase (classful) (II) – Ejemplo

- Clase C, el último byte identifica al host y el resto a la red.
- ¿Cuántos dispositivos con nivel de red como máximo se pueden identificar en cada red lógica?



IP: Protocolo de Internet

Direccionamiento IPv4 – Direccionamiento con clase (classful) (III)

- Redes 1.0.0.0 – 126.0.0.0. **Clase A.**

- La red 0 tiene un uso especial.
 - 0.0.0.0 es la dirección que se utiliza como origen si un dispositivo con nivel de red no está configurado.
 - 0.0.0.0 sirve para identificar a cualquier red.
 - Aparece en la entrada de la tabla de enrutamiento que representa la ruta por defecto.

Ejemplo de ruta por defecto en TE		
Red	Próximo salto	Interfaz
0.0.0.0	223.1.3.27	E0

- La red 127 tiene un uso especial. Usada en comunicaciones internas.
- $2^7 - 2$ redes de $2^{24} - 2$ direcciones asignables a dispositivos
- Redes 128.0.0.0 – 191.255.0.0. **Clase B.**
 - 2^{14} redes de $2^{16} - 2$ direcciones asignables a dispositivos
- Redes 192.0.0.0 – 223.255.255.0. **Clase C.**
 - 2^{21} redes de $2^8 - 2$ host direcciones asignables a dispositivos

IP: Protocolo de Internet

Direccionamiento IPv4 – Direccionamiento sin clase (I)

Para determinar qué parte identifica a la red y qué parte identifica al host en una dirección IPv4 se añade a esta una barra seguida de un número (/x) que indica el número de bits del identificador de la red (**notación barra**).

- X puede valer de 0 a 32.
 - Por ejemplo, 223.234.0.0/16 sería el identificador de una red lógica de tamaño equivalente a una red clase B.
- Dado un prefijo de red /x se pueden direccionar ($2^{32-x}-2$) dispositivos con nivel de red.
 - Por ejemplo, 223.234.0.0/16 sería un identificador de red en la que:
 - la dirección broadcast sería 223.234.255.255
 - el rango de IPs asignables a dispositivos sería 223.234.0.1 a 223.234.255.254.

IP: Protocolo de Internet

Direccionamiento IPv4 – Direccionamiento sin clase (II)

- Cuando se configuran los dispositivos con nivel de red no se suele utilizar la notación barra para especificar qué número de bits tiene el identificador de red.
- El **/x** se sustituye por la **máscara de red** (netmask) o **máscara de subred** (nombre usado indistintamente).
 - Es un número de 32 bits en los que:
 - Los primeros X bits están a 1.
 - Los últimos 32-X bits están a 0.
 - La máscara se representa igual que una dirección IPv4.
 - Por ejemplo un dispositivo con nivel de red que tuviera asignada la IP 223.234.0.25/17 se configuraría como:
 - Dirección IP: 223.234.0.25
 - Máscara de red: 255.255.128.0
- 0.0.0.0/0 sirve para identificar a cualquier red.

Con máscara de red

Ejemplo de ruta por defecto en TE		
Red	Próximo salto	Interfaz
0.0.0.0 – 0.0.0.0	223.1.3.27	E0

Identificador de red - máscara de red

Con notación barra

Ejemplo de ruta por defecto en TE		
Red	Próximo salto	Interfaz
0.0.0.0/0	223.1.3.27	E0

IP: Protocolo de Internet

Direccionamiento IPv4 – Direccionamiento sin clase (III)

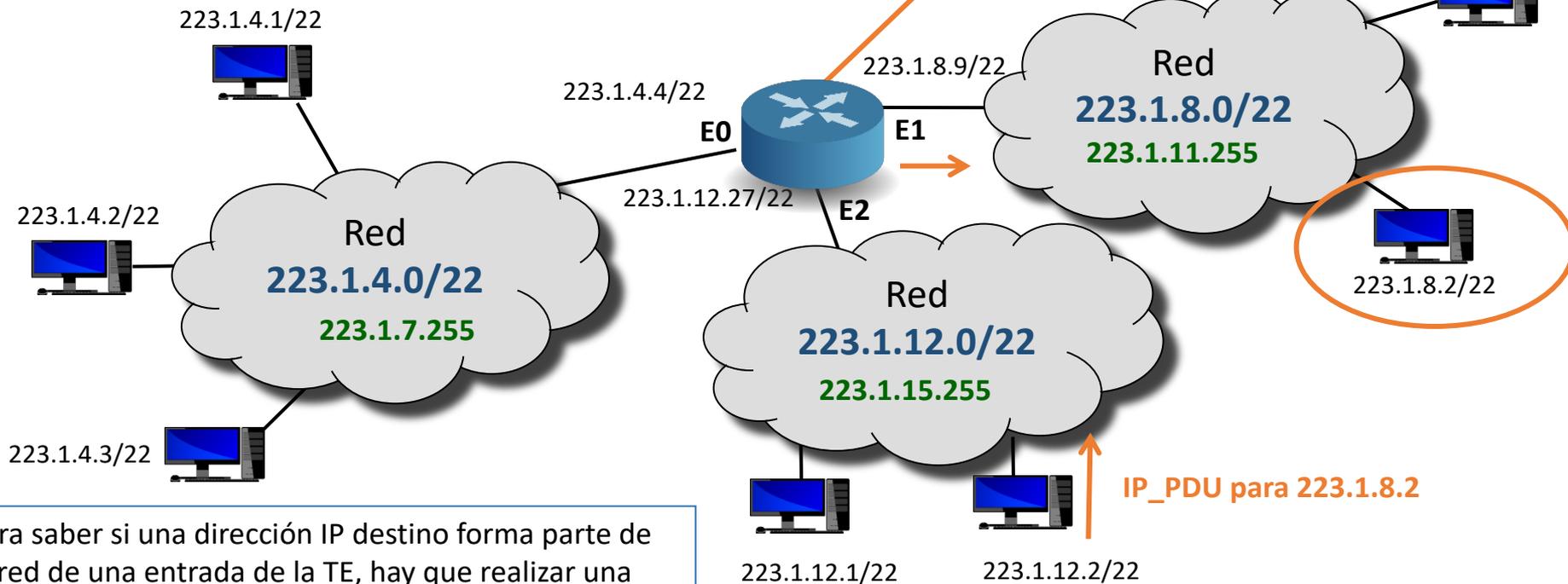
- A este esquema de direccionamiento se le conoce como **CIDR** (Classless InterDomain Routing) (RFC 4692).
- Permite asignar los bloques de direcciones IPv4 (conocidos como **bloques CIDR**) según las necesidades reales.
 - No se desperdician direcciones IPv4.
 - Ejemplo: si una empresa requiere 2000 direcciones IPv4.
 - Con direccionamiento con clase requiere una red clase B completa.
 - Se desperdician $2^{16} - 2002$ direcciones.
 - Con CIDR con un prefijo de red /21 tendría $2^{11} - 2$ direcciones, 2046, que son suficientes.

IP: Protocolo de Internet

Direccionamiento IPv4 – Ejemplo de direccionamiento sin clase

- ¿Cuál es la máscara de red a configurar en los dispositivos?
- ¿Cuántos dispositivos con nivel de red cómo máximo se pueden identificar en cada red lógica?

TE Router		
Red	Próximo salto	Interfaz
223.1.4.0/22	-	E0
223.1.8.0/22	-	E1
223.1.12.0/22	-	E2



Para saber si una dirección IP destino forma parte de la red de una entrada de la TE, hay que realizar una **operación lógica “and” con la máscara de red de dicha entrada y la dirección IP destino**. Si el valor obtenido coincide con el identificador de red de la TE entonces esa entrada indica la ruta a elegir.

nota

TE Host 223.1.12.2/22		
Red	Próximo salto	Interfaz
223.1.12.0/22	-	E
0.0.0.0/0	223.1.12.27	E

Identificador de red
Broadcast dirigido

IP: Protocolo de Internet

Direccionamiento IPv4 – Creación de subredes con CIDR

- A partir de un bloque CIDR, permite direccionar redes lógicas más pequeñas, subredes, que se ajusten al número de direcciones IP requeridas.
- Todas las subredes creadas no tienen por qué ser del mismo tamaño.
- Para crear las subredes hay que tomar prestados algunos de los bits que identifican al host para que pasen a identificar a la subred.
 - Dado una red con x bits de prefijo de red, si se toman prestados n bits, siendo $n \leq 32-x-2$, entonces:
 - se crean 2^n subredes de $2^{32-x-n} - 2$ direcciones IP asignables a dispositivos
 - siendo $x+n$ el número de bits que identifican a la red dentro de cada subred.

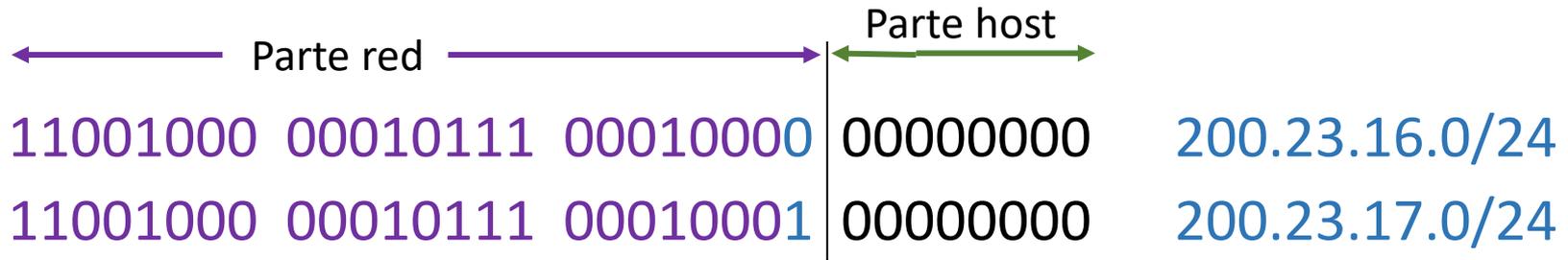
IP: Protocolo de Internet

Direccionamiento IPv4 – Creación de subredes con CIDR - Ej

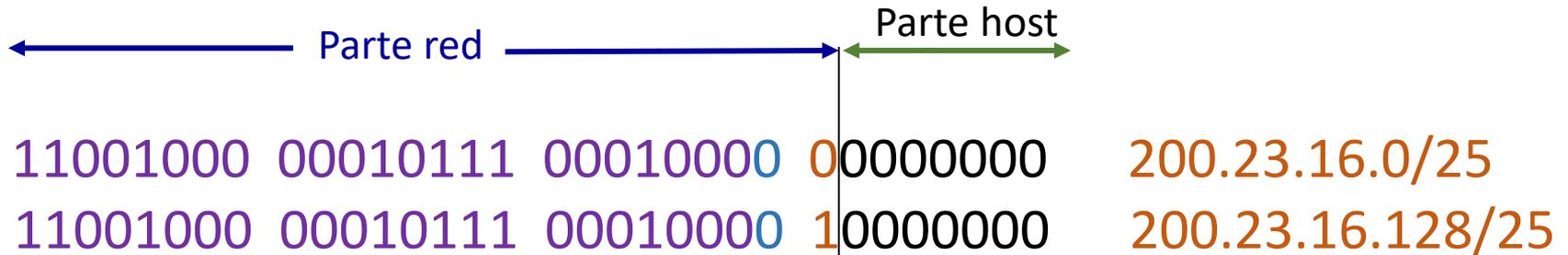
- Sea el prefijo de red 200.23.16.0/23



- Si se toma prestado **un bit** se crean dos subredes.



- Si de una de las nuevas redes, p.e., la 200.23.16.0/24 se toma de nuevo prestado un bit se crearían otras dos nuevas subredes.

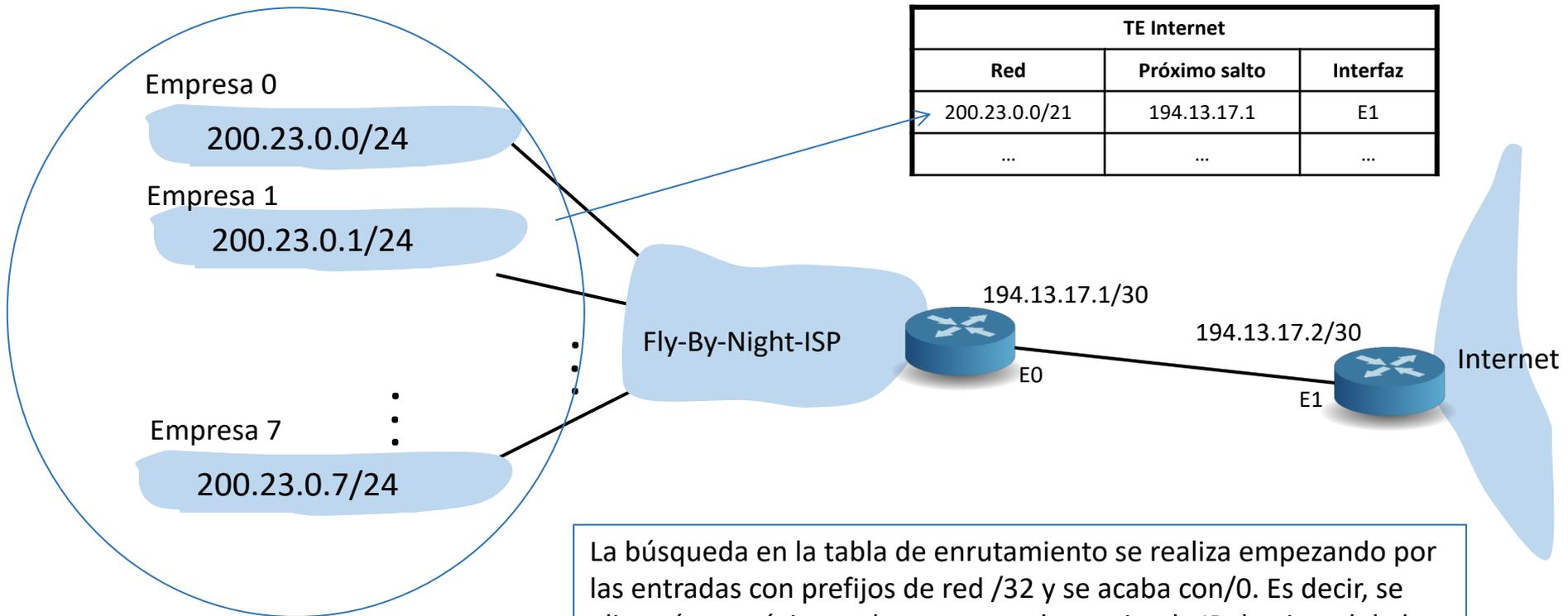


- Luego a partir del bloque CIDR 200.23.16.0/23 se han creado tres redes, la 200.23.16.0/25 y la 200.23.16.128/25 de 2^7-2 direcciones asignables y la 200.23.17.0/24 con 2^8-2 direcciones asignables.

IP: Protocolo de Internet

Direccionamiento IPv4 – Beneficios de las subredes con CIDR

- Permite que se **agreguen rutas** en las tablas de enrutamiento.
- Al crear subredes a partir de un prefijo de red de partida (bloque CIDR), si todas esas subredes son accesibles por una misma interfaz, se pueden resumir por el prefijo de la red de partida.



La búsqueda en la tabla de enrutamiento se realiza empezando por las entradas con prefijos de red /32 y se acaba con/0. Es decir, se elige cómo próximo salto para una determinada IP destino el de la entrada cuyo prefijo de red tenga mayor número de bits en común con dicha IP destino.

nota

IP: Protocolo de Internet

Direccionamiento IPv4 – ¿Cómo se asignan los bloques CIDR?

- Ya no quedan bloques libres.
 - El último se asignó en febrero de 2011.
 - ¿Por qué se han agotado?
 - Dispositivos móviles.
 - Uso ineficiente espacio de direcciones disponibles.
 - Elevado número de usuarios en Internet.
- Los ISPs reparten entre sus clientes los bloques CIDR que tienen asignados.
 - Ya no les suelen asignar IP fija.
- Si no hay direcciones IPv4 libres ¿cómo se identifican los dispositivos?
 - Direccionamiento Privado y NAT.
 - IPv6
 - Migración progresiva.

IP: Protocolo de Internet

Direccionamiento IPv4 – Direccionamiento Privado

En el año 1996 se reservaron un conjunto de direcciones IPv4 denominadas **direcciones privadas** (RFC 1918):

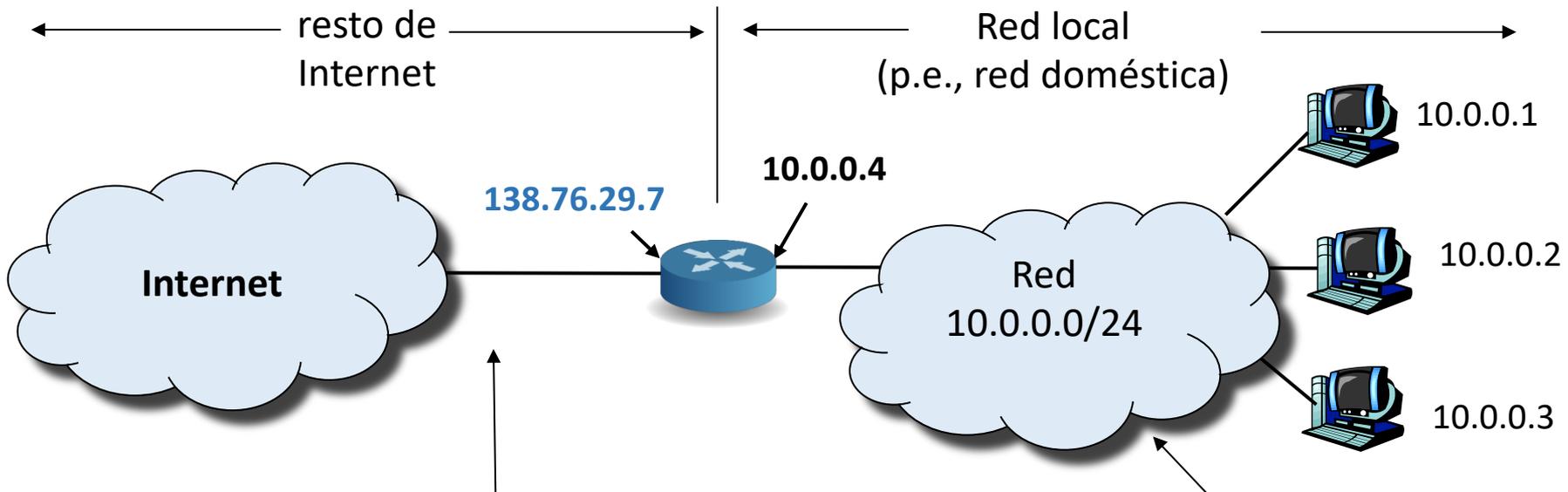
- No es más que un rango de direcciones IP reservadas para ser utilizadas sólo en redes privadas (estas direcciones IPs no pueden aparecer en el núcleo de Internet).
 - Por ejemplo, direccionar una Intranet que no es pública, un laboratorio, una red doméstica....
- Rangos reservados:

“Clase”	Rango de Direcciones	Prefijo CIDR
A	10.0.0.0 – 10.255.255.255	10.0.0.0 /8
B	172.16.0.0 – 172.31.255.255	172.16.0.0 /12
C	192.168.0.0 – 192.168.255.255	192.168.0.0 /16

IP: Protocolo de Internet

Direccionamiento IPv4 – Direccionamiento Privado y NAT

- Las direcciones privadas junto con NAT (Network Address Translation, Traducción de direcciones de Red, RFC 3022) se usan para que toda una red direccionada con direcciones IP privadas pueda acceder a Internet.
- NAT se suele implementar en los routers.



Todas las IP_PDU que abandonan la red doméstica tienen la misma IP origen:

138.76.29.7

IP_PDU con origen o destino dentro de esta red tienen direcciones de la red 10.0.0.0/24 como fuente o destino (como siempre)

Tema 4: La Capa de Red

Objetivos

- Entender los principios que hay detrás de los servicios del Nivel de Red:
 - Modelos de servicio del Nivel de Red
 - Reenvío versus enrutamiento
 - El interior de un router
- Analizar un ejemplo: implementación en Internet

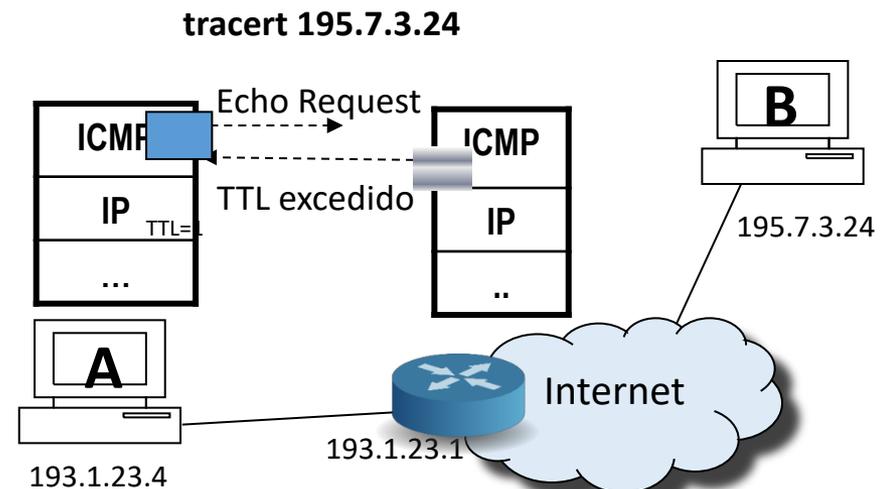
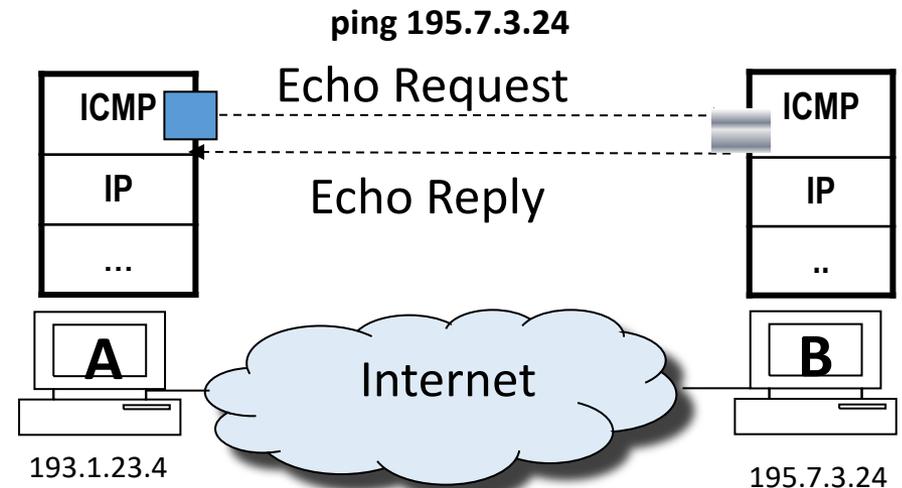
Contenido

1. Introducción
2. Router en redes de datagrama
- 3. IP: Protocolo de Internet**
 - Formato del datagrama IPv4
 - Direccionamiento IPv4
 - **Introducción a ICMP**
 - Funcionamiento

IP: Protocolo de Internet

Introducción a ICMP

- **ICMP = Internet Control Message Protocol (RFC 792)**
- Usado por sistemas finales y routers para comunicar información de nivel de red
 - Reporte de errores: host inalcanzable, o red, o puerto, o protocolo, etc.
- Funciona “sobre” IP (nivel de red):
 - Las ICMP_PDUs (conocidas como **mensajes ICMP**) son encapsuladas en las IP_PDUs (datagramas IP).
- Mensajes ICMP:
 - **Echo Request / Echo Reply** (usado por el ping)
 - **TTL excedido** (usado por el tracert)



Tema 4: La Capa de Red

Objetivos

- Entender los principios que hay detrás de los servicios del Nivel de Red:
 - Modelos de servicio del Nivel de Red
 - Reenvío versus enrutamiento
 - El interior de un router
- Analizar un ejemplo: implementación en Internet

Contenido

1. Introducción
2. Router en redes de datagrama
- 3. IP: Protocolo de Internet**
 - Formato del datagrama IPv4
 - Direccionamiento IPv4
 - Introducción a ICMP
 - **Funcionamiento**

IP: Protocolo de Internet

Funcionamiento de IPv4 (I)

El nivel de red de Internet requiere que **los dispositivos con nivel de red estén configurados** y tengan rellena la tabla de enrutamiento:

- En los sistemas finales como mínimo se debe configurar dirección IP, máscara y router por defecto (router frontera). Existen dos formas de hacerlo:
 - Manualmente usando la interfaz del sistema operativo.
 - Automáticamente usando algún protocolo, p.e. DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol).
- En los routers hay que configurar la dirección IP de cada interfaz que tenga activo y su máscara de red correspondiente.

nota

En los sistemas finales es conveniente además configurar la dirección de uno o varios servidores de nombre (DNS) para poder traducir nombres a direcciones IPs.

IP: Protocolo de Internet

Funcionamiento de IPv4 (II)

El nivel de red de Internet requiere que los dispositivos con nivel de red estén configurados y **tengan rellena la tabla de enrutamiento**:

- La TE de un sistema final tiene como mínimo dos entradas (incluidas **automáticamente**).
 - La de la red lógica a la que pertenece (no necesita próximo salto).
 - Ruta por defecto, cuyo próximo salto es el router frontera.
- La TE de un router debe tener una entrada a cada red alcanzable por él:
 - Introducidas **manualmente**.
 - p.e: ruta por defecto.
 - Aprendidas **dinámicamente** por un protocolo de enrutamiento.
 - Como mínimo la tabla incluye las redes directamente conectadas, es decir, las que se acceden directamente a través de sus interfaces (se introducen **automáticamente**).

IP: Protocolo de Internet

Funcionamiento de IPv4 (III)

Antes de poder enviar una IP_PDU con una determinada IP destino, el protocolo IP busca si existe una entrada en la TE con una red a la que pertenezca esa IP destino:

- Si **no** existe esa entrada no enviará la IP_PDU.
- Si existe entrada, enviará la IP_PDU por la interfaz indicada en la TE, usando para ello los servicios de nivel de enlace...
 - ...directamente al destino, si está directamente conectado .
 - ... al dispositivo (router) cuya dirección IP coincida con la indicada en la TE como próximo salto.

Nota

Antes de solicitar el envío de la IP_PDU al nivel de enlace será necesaria la traducción de dirección IP a dirección MAC usando para ello protocolo ARP. [Más en el siguiente tema...](#)

Si la MTU del nivel de enlace de datos no es adecuada habría que fragmentar.

IP: Protocolo de Internet

Funcionamiento de IPv4 (IV)

Al recibir una IP_PDU, el nivel de red comprueba si la dirección IP destino es una de las que tiene configurada:

- Si coincide, procesará la IP_PDU, desencapsulándola.
- Si **no** coincide, entonces:
 - Si es un sistema final, descartará la IP_PDU.
 - Si es un router, la reenviará, haciendo lo siguiente:
 - Comprobar el valor del campo TTL de la IP_PDU.
 - si es 1, descarta la IP_PDU (no la reenvía).
 - en caso contrario, decrementa el valor del campo TTL en una unidad.
 - Repetir las acciones que realiza el nivel de red para enviar una IP_PDU.

IP: Protocolo de Internet

Funcionamiento de IPv4 – Ejemplo envío de IP_PDU

TR Router 1	
Red	Próximo salto
223.1.3.0/24	-
223.1.1.0/24	-
223.1.2.0/24	223.1.1.2
223.1.8.0/22	223.1.1.2
223.1.16.0/22	223.1.3.2
0.0.0.0/0	223.1.3.2

TR Router 2	
Red	Próximo salto
223.1.3.0/24	-
223.1.0.0/24	-
223.1.16.0/22	-
223.1.1.0/24	223.1.3.1
223.1.8.0/22	223.1.3.1
0.0.0.0/0	223.1.0.1

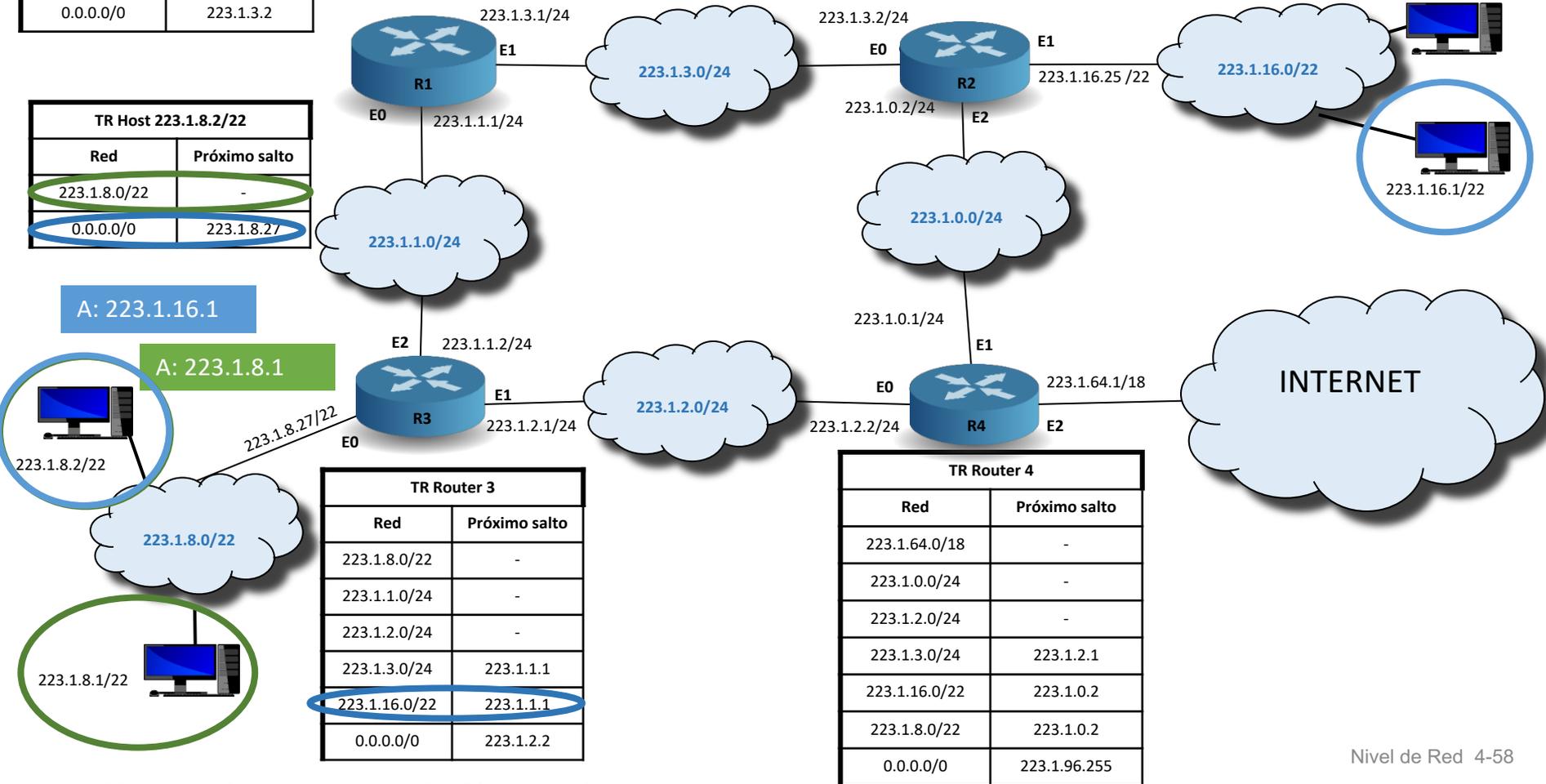
De 223.1.8.2 a 223.1.8.1

De 223.1.8.2 a 223.1.16.1

¿Cuánto valdrá el campo TTL que recibe en la IP_PDU 223.1.16.1?

TR Host 223.1.8.2/22	
Red	Próximo salto
223.1.8.0/22	-
0.0.0.0/0	223.1.8.2

223.1.16.2/22



A: 223.1.16.1

A: 223.1.8.1

TR Router 3	
Red	Próximo salto
223.1.8.0/22	-
223.1.1.0/24	-
223.1.2.0/24	-
223.1.3.0/24	223.1.1.1
223.1.16.0/22	223.1.1.1
0.0.0.0/0	223.1.2.2

TR Router 4	
Red	Próximo salto
223.1.64.0/18	-
223.1.0.0/24	-
223.1.2.0/24	-
223.1.3.0/24	223.1.2.1
223.1.16.0/22	223.1.0.2
223.1.8.0/22	223.1.0.2
0.0.0.0/0	223.1.96.255

Tema 4: La Capa de Red

Objetivos

- Entender los principios que hay detrás de los servicios del Nivel de Red:
 - Modelos de servicio del Nivel de Red
 - Reenvío versus enrutamiento
 - El interior de un router
- Analizar un ejemplo: implementación en Internet

Contenido

1. Introducción
2. Router en redes de datagrama
3. IP: Protocolo de Internet
 - Formato del datagrama IPv4
 - Direccionamiento IPv4
 - Introducción a ICMP
 - Funcionamiento

Contenidos

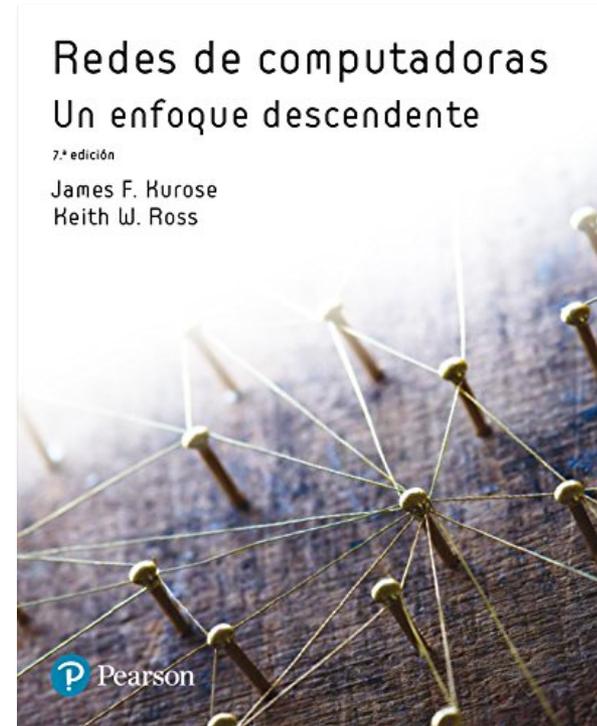
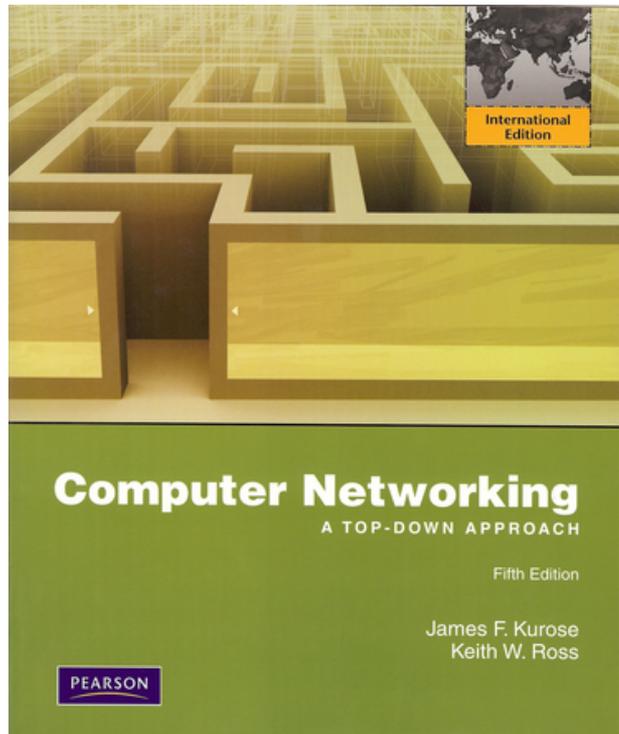
Tema 1: Redes de Computadores e Internet

Tema 2: Capa de Aplicación

Tema 3: Capa de Transporte

Tema 4: Capa de Red

Tema 5: Capa de Enlace de Datos



Estas transparencias han sido elaboradas a partir de material con copyright que Pearson pone a disposición del profesorado, a partir del libro:

[Jim Kurose, Keith Ross \(2010\). Computer Networking: A Top Down Approach, 5th edition, Ed. Pearson.](#)

Algunas actualizaciones pertenecen a la última edición:

[Jim Kurose, Keith Ross \(2017\). Redes de Computadoras: Un enfoque descendente, 7ª edición, Ed. Pearson.](#)

Redes de Computadores

Tema 4

La Capa de Red

EJERCICIOS



Problema 1

Un router ha recibido por una de sus interfaces una IP_PDU sin opciones de 2400 bytes que debe reenviar por otra interfaz de salida cuya MTU es de 1000 bytes. ¿Cuántas IP_PDUs reenviará por dicha interfaz?

Problema 2

Suponga que a una empresa le asignan el bloque CIDR 200.1.0.0/24, determine de manera razonada cuántas subredes podría crear dentro de la empresa, qué prefijo de red, dirección broadcast y rango de direcciones IP asignable tendría cada una, si el número de sistemas finales a conectar en cada subred es de 20. ¿Cambiaría su respuesta si fuesen 30 sistemas finales?

En la Figura 1 se muestra la red de una empresa que está conectada a Internet a través de la interfaz E2 de R1 y que tiene asignado el bloque CIDR 200.1.2.0/24. (Rext no pertenece a la empresa).

- ¿Cuántos dominios de difusión/broadcast hay?
- Indique el contenido de la entrada de la tabla de enrutamiento de Rext que sirve para que este reenvíe el tráfico hacia la red de la empresa.
- Asigne prefijos de red a las subredes de la empresa, si en la subred del PC A hay 30 PCs y en la del PC D hay 90 PCs. Debe dejar sin asignar el mayor número de IPs para futuras ampliaciones de la red de la empresa.
- Indique la configuración IPv4, según c) de PC A, PC D y el contenido de la tabla de enrutamiento de R1 si todos los sistemas finales deben tener acceso a Internet y al resto de sistemas finales de la empresa.

Problema 3

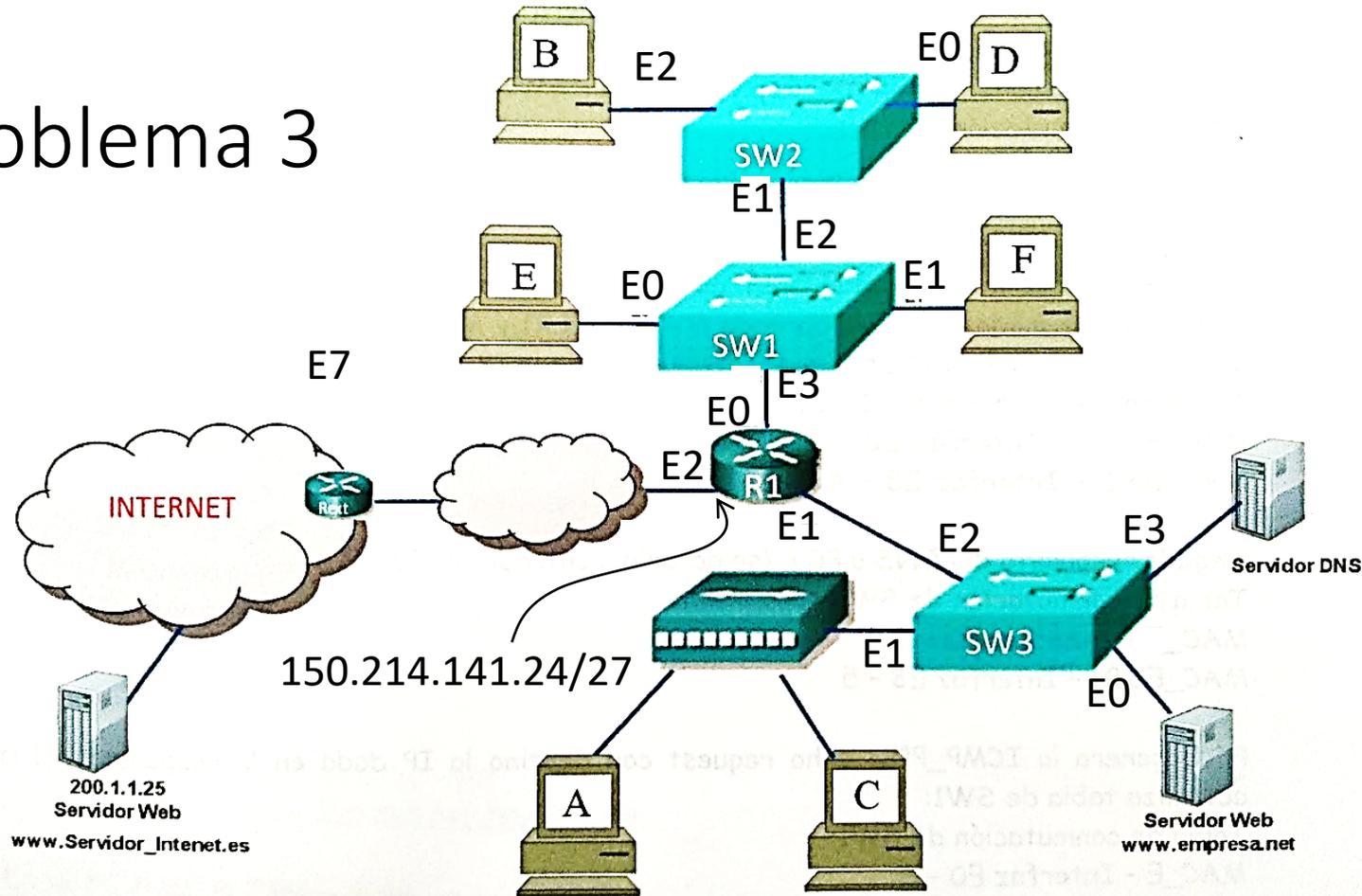
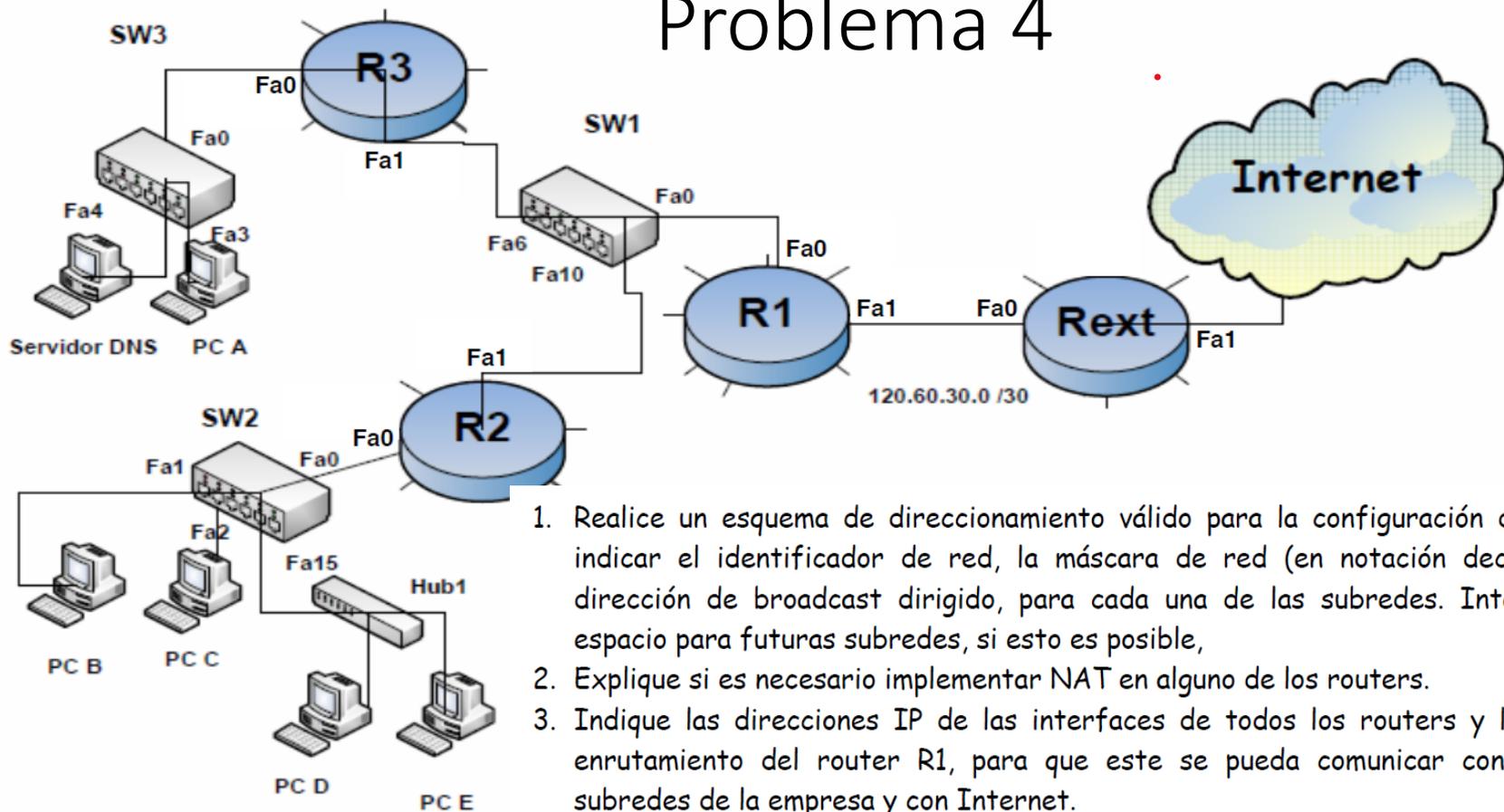


Figura 1

PROBLEMA: La empresa RedesDeComputadores S.A. ha recibido el bloque CIDR 101.110.119.128/27, por parte de su ISP. La configuración de la red diseñada por el administrador es la que se muestra en la Figura 1. En un primer momento, los dispositivos conectados son los que se muestran en la figura, pero se quiere dejar espacio de direccionamiento para conectar 6 PCs más al Hub 1. Los routers R1, R2 y R3 son propiedad de la empresa, conectándose a Internet por medio de Rext, propiedad del proveedor de servicios.

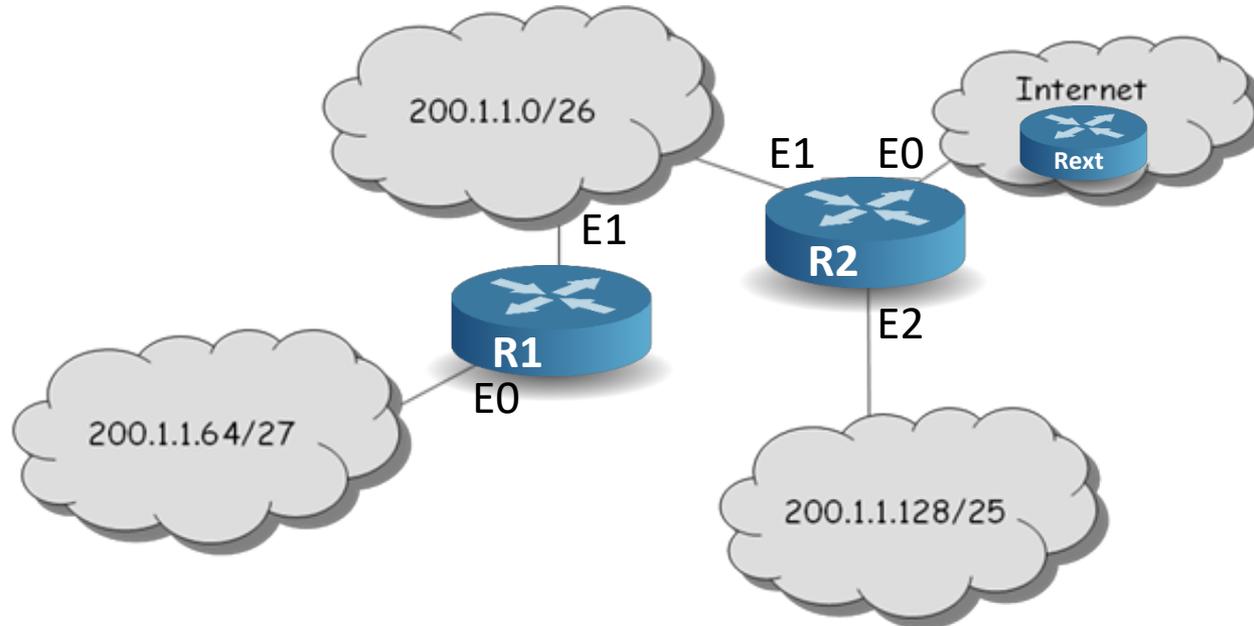
Problema 4



1. Realice un esquema de direccionamiento válido para la configuración dada. Debe indicar el identificador de red, la máscara de red (en notación decimal), y la dirección de broadcast dirigido, para cada una de las subredes. Intente dejar espacio para futuras subredes, si esto es posible,
2. Explique si es necesario implementar NAT en alguno de los routers.
3. Indique las direcciones IP de las interfaces de todos los routers y la tabla de enrutamiento del router R1, para que este se pueda comunicar con todas las subredes de la empresa y con Internet.

Problema 5

La siguiente figura muestra la red de una empresa pública que accede a Internet a través de router R2 y que tiene asignado un único bloque CIDR. Determine de manera razonada:



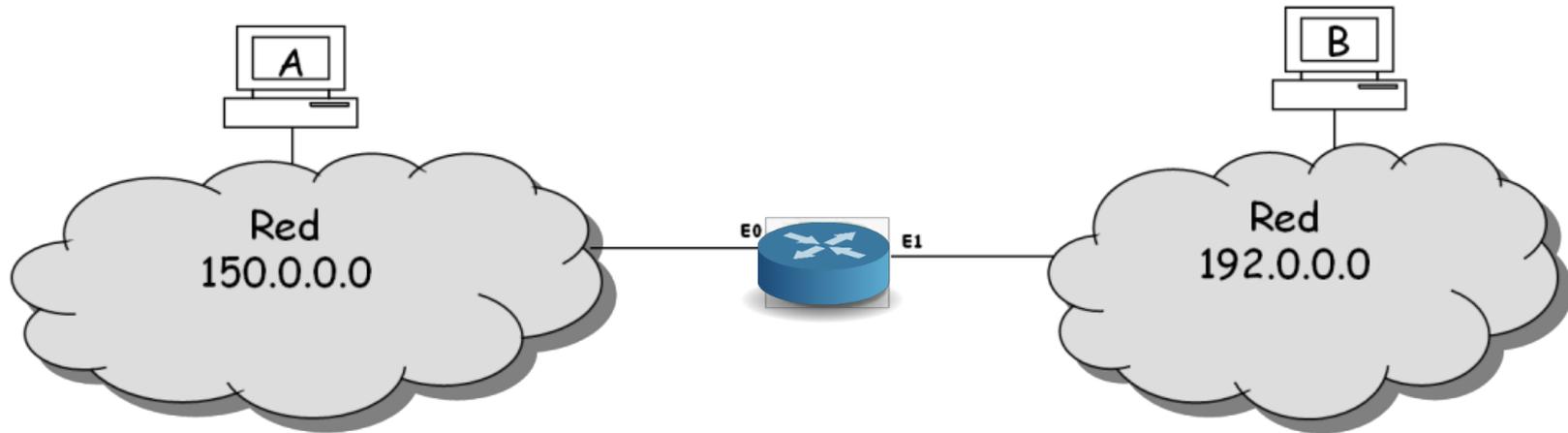
- ¿Cuántos sistemas finales como máximo se pueden conectar en cada subred de la empresa?
- ¿Es necesario que router R2 implemente NAT?
- Suponga que R2 no implementa NAT. ¿Qué prefijo de red aparecería en la tabla de enrutamiento de un router de Internet, por ejemplo R1, para identificar a la red de esta empresa?
- ¿Podría la empresa direccionar una nueva subred? ¿Cuántos sistemas finales podría conectar como máximo?
- Suponga que la interfaz E0 de R2 tiene la siguiente configuración dirección IP=223.14.15.1, máscara=255.255.255.252, y que todos los sistemas finales deben tener acceso a Internet y comunicarse con otros sistemas finales de la empresa. Indique la configuración de las interfaces de los routers R1 y R2, el contenido mínimo de las tablas de enrutamiento de R1 y R2, así como la de un sistema final de cada subred de la empresa.

Problema 6

Suponga que un router interconecta tres redes: red 1 con 63 sistemas finales, red 2 con 95 sistemas finales y red 3 con 16 sistemas finales. Determine de manera razonada si es posible direccionar esas tres redes si se parte del bloque CIDR 223.1.17.0/24.

Problema 7

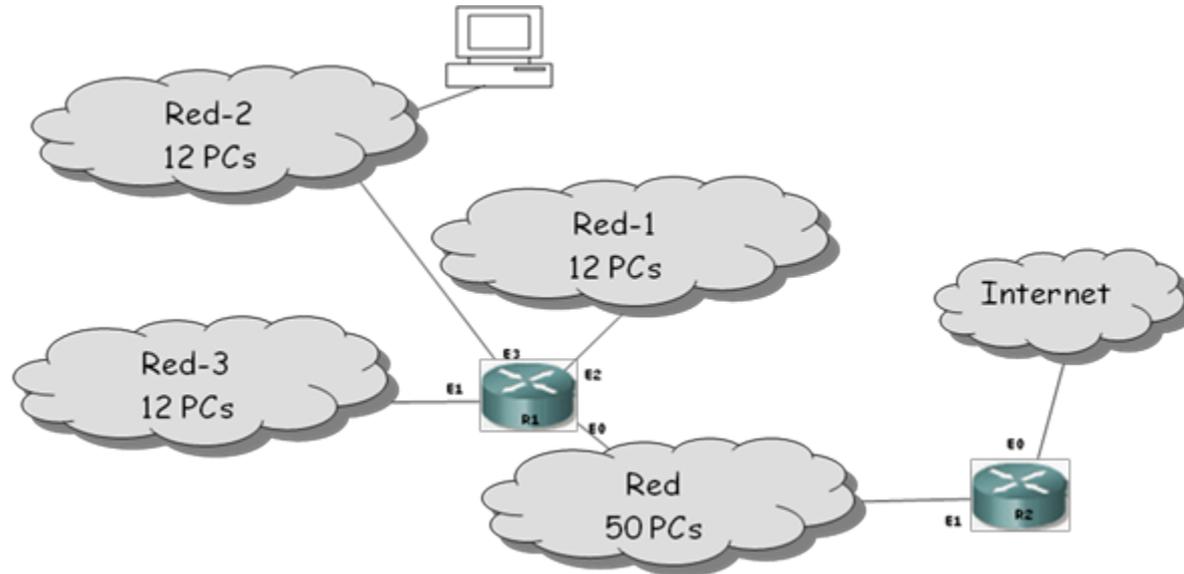
- En la siguiente figura se muestra un router que conecta dos redes, si el tipo de direccionamiento que se utiliza es con clase determine de manera razonada:



- a) El rango de direcciones asignables para cada red, la dirección broadcast de cada red y el contenido de la tabla de enrutamiento del router y de un sistema final de cada red. Ponga como ejemplo una posible configuración de las interfaces del router así como la de los sistemas finales A y B.
- b) Suponga que el nivel de red en un sistema final de la red 150.0.0.0 envía una IP_PDU cuya dirección destino es 192.0.0.255. ¿Qué nivel de red en la red destino recibirá esa IP_PDU?
- c) Suponga que el nivel de red en un sistema final de la red 192.0.0.0 envía una IP_PDU cuyo destino es 255.255.255.255. ¿Qué nivel de red en la red destino recibirá esa IP_PDU?

Problema 8

La siguiente figura muestra la red de una empresa pública que accede a Internet a través de router R2. Determine de manera razonada:

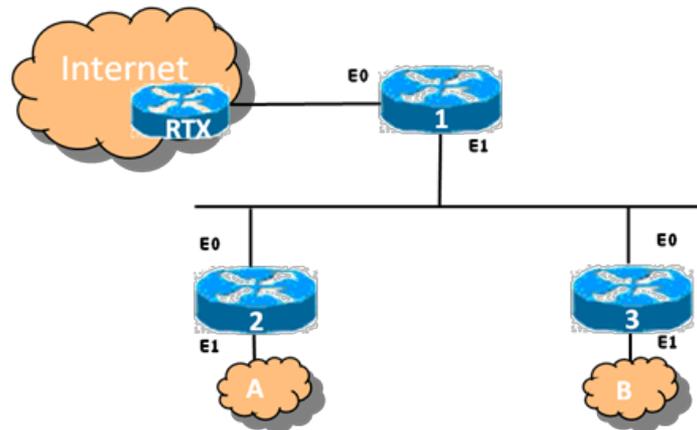


- Si el direccionamiento que se utilizara para direccionar a la empresa fuese con clase. ¿Cuántas redes habría que asignarle? ¿De qué clase deberían ser para que el desperdicio de direcciones IP fuese el mínimo?
- ¿Sería posible direccionar todas las subredes de la empresa a partir del bloque CIDR 200.1.1.0/25?, en caso afirmativo realizar la asignación de identificador de red para cada una de las subredes de la empresa.
- ¿Sería posible conectar una nueva subred de 13 PCs a una interfaz libre R1?, en caso afirmativo, indicar el contenido la tabla de enrutamiento de R2 que haga que el número de entradas de la misma sea mínimo. (Nota: la interfaz E0 de R2 tiene la siguiente configuración dirección IP=223.14.15.1, máscara=255.255.255.252. Todos los PCs de la empresa tienen acceso a Internet).
- ¿Cambiaría su respuesta al apartado C, si la subred se conectara a un interfaz libre de R2 en vez de a R1?

Problema 9

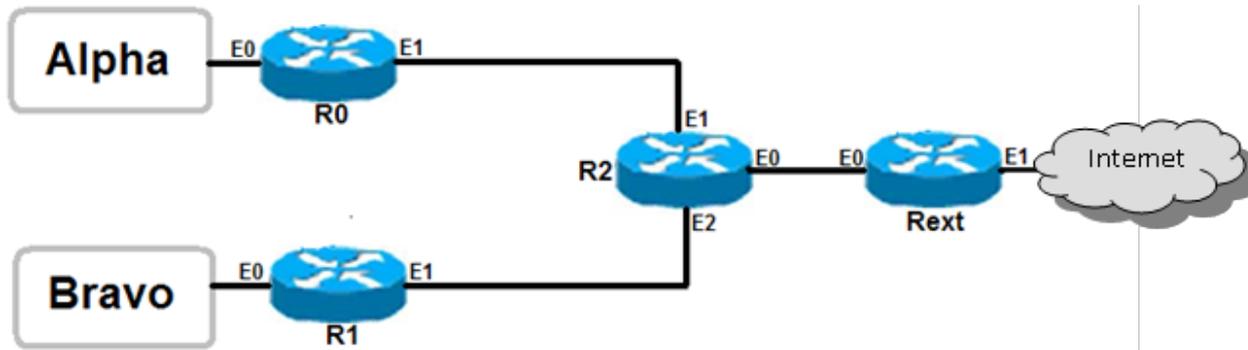
En la red de la figura se muestra el esquema de la red de una empresa en la que los hosts acceden a Internet a través del router 1. El router 1 estará conectado por uno de sus interfaces a la red 150.214.141.0/24 y la red de la empresa es la 199.99.1.0/24. El router RTX está en Internet y no forma parte de la red de la empresa. El esquema de direccionamiento que se va a utilizar, para todo el ejercicio, es el de direccionamiento sin clase (CIDR).

- ¿Cuántos dominios de broadcast hay en la empresa?
- Realice una asignación de direcciones en la red de la empresa, teniendo en cuenta que deben dejarse libres el mayor número de direcciones posible para futuras ampliaciones. En la red A se necesitan direcciones para 125 PC, en la red B se necesita direcciones para 61 PC.
- Indique, de forma justificada, la dirección IP y máscara de todos los interfaces de los routers 1,2 y 3.
- ¿Qué rango de direcciones quedaría disponible para futuras redes? Utilizando todo el espacio de direcciones obtenido indique, de forma justificada, los prefijos de las direcciones de red resultantes que permitan direccionar el mayor número de hosts posible.
- Indique, de forma justificada, el contenido mínimo de las tablas de enrutamiento de los tres routers (1, 2 y 3), para que todos los Pcs de la empresa puedan intercambiar datagramas entre ellos y con de Internet y se genere el menor tráfico posible.
- Para el router RTX, ¿Debe incluirse en la tabla de enrutamiento alguna entrada para la red con la que se direcciona la empresa? Indique por qué y, en su caso, una posible dirección IP del próximo salto.



Problema 10

Considere la red de la figura que tiene acceso a Internet en la que se utiliza un esquema de direccionamiento sin clase y en el que la configuración de las interfaces de los routers son las indicadas en la tabla (nota: no aparecen todas).



Router (Interfaz)	Configuración notación prefijo
R0 (E0)	150.214.0.1/23
R0 (E1)	150.214.128.2/30
R1 (E0)	150.214.2.1/23
R1 (E1)	150.214.128.5/30
R2 (E0)	150.214.128.9/30
Rext (E1)	190.100.100.2/30

- Indique, de forma razonada, la dirección IP y la máscara de red que se debe asignar a los interfaces E1 y E2 del router R2.
- Indique, de forma razonada, si son correctas las siguientes direcciones IP en el entorno descrito:
 - La dirección 150.214.0.0 y máscara 255.255.254.0 a un PC de la red Alpha.
 - La dirección 150.214.0.255 y máscara 255.255.254.0 a un PC de la red Alpha.
 - La dirección 150.214.2.5 y máscara 255.255.252.0 a un PC de la red Bravo.
 - La dirección 150.214.1.2 y máscara 255.255.254.0 a un ordenador de la red Bravo.
- Indique, de forma justificada, el contenido mínimo de las tablas de enrutamiento del router R2 y de un router exterior (Rext) que estuviera conectado a R2 a través de su interfaz E0.
- Si se sustituyen los routers R0, R1 y R2 por un switch que interconecta las redes Alpha y Bravo directamente con el Router Exterior (Rext), para que todos estén en el mismo dominio de broadcast. ¿Qué cambios habrá que hacer en la configuración de los nodos de ambas redes y en la del propio router exterior para que los PCs de las redes Alpha y Bravo sigan teniendo conexión a Internet y entre ellos. NOTA: El parámetro "Dirección IP" de los nodos de Alpha y Bravo no puede modificarse.

Problema 11

Suponga que hay un router que conecta dos dominios de broadcast 1 y 2, en cada dominio hay sólo una red lógica. El dominio de broadcast 1 tiene una MTU de 1500 bytes y el dominio de broadcast 2 tiene una MTU de 1000 bytes. En el dominio de broadcast 1 hay un PC, PcA, en el que se está ejecutando un proceso en el puerto 49789 que implementa la parte cliente de un protocolo de aplicación X que usa UDP como servicio de transporte. En ese mismo dominio hay otro PC, PcB, en el que se está ejecutando un proceso en el puerto 51345 que implementa la parte servidora del protocolo de aplicación X. Si UDP en el PcA recibe del puerto 49789 la solicitud de envío de una A_PDU de 1472 bytes al puerto 51345 de PcB determine de manera justificada:

- a) ¿Cuántas UDP_PDU e IP_PDU recibirá UDP e IP, respectivamente, en el PcB?
- b) ¿Cambiaría su respuesta si PcB estuviera en el dominio de broadcast 2? ¿Por qué? (Nota: En este caso, PcB se habrá configurado adecuadamente para la red lógica de ese dominio de broadcast)