



Tema 4. Capa de Internet

Introducción a las Redes de Computadores

Isidro Calvo

Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática

Noviembre 2012



Índice

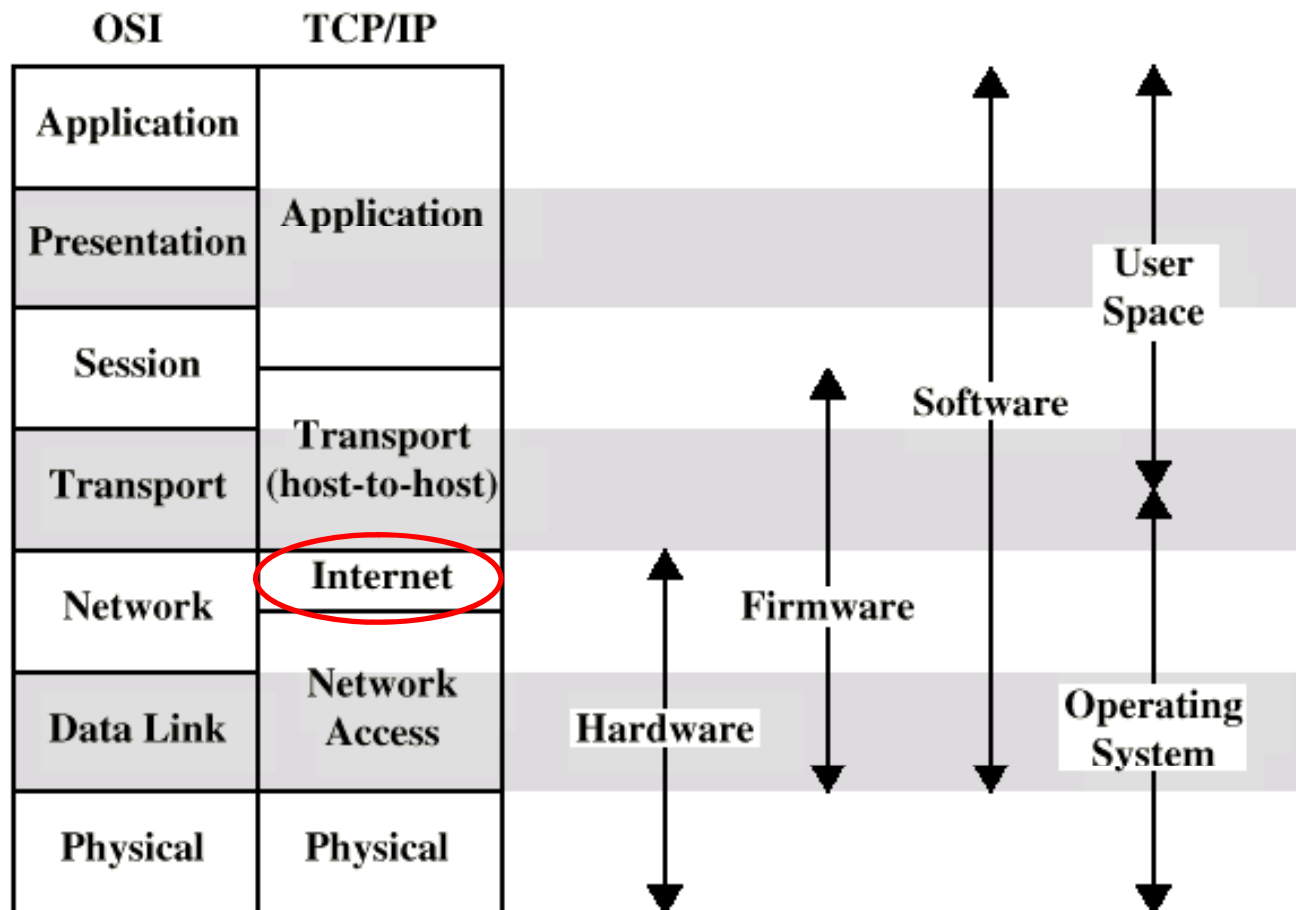
- Misión de la capa de red
- Localización de la capa de red
- Diseño de la capa de red
- Funciones de la capa de red
- La capa de red en Internet
 - El rol de los routers
 - Direcciones IP
 - Subredes IP
 - Otros protocolos de la capa de Internet



Misión de la capa de red

- La capa de red, capa 3 de OSI, se encarga de:
 - La capa 3 lleva los paquetes desde el origen hasta destino
 - Se pueden requerir varios saltos por routers intermedios a través de redes que utilizan tecnologías diferentes
 - Los routers deben conocer la topología de la subred de comunicaciones para conocer la ruta más adecuada
 - Se utilizan algoritmos inteligentes para evitar sobrecargar las líneas de comunicación
 - La capa 3 realiza la división y reconstrucción (Fragmentación y reensamblado) de la información en paquetes (*Protocol Data Unit* – PDU de nivel 3)
 - Los routers almacenan temporalmente los paquetes y los reenvían
 - **Diferencia con la capa 2:** La capa de enlace a datos (capa 2), SÓLO mueve tramas dentro de una red homogénea, que puede ser una LAN o una WAN, la capa de red permite enviar información a través de redes heterogéneas.

Localización de la capa de red



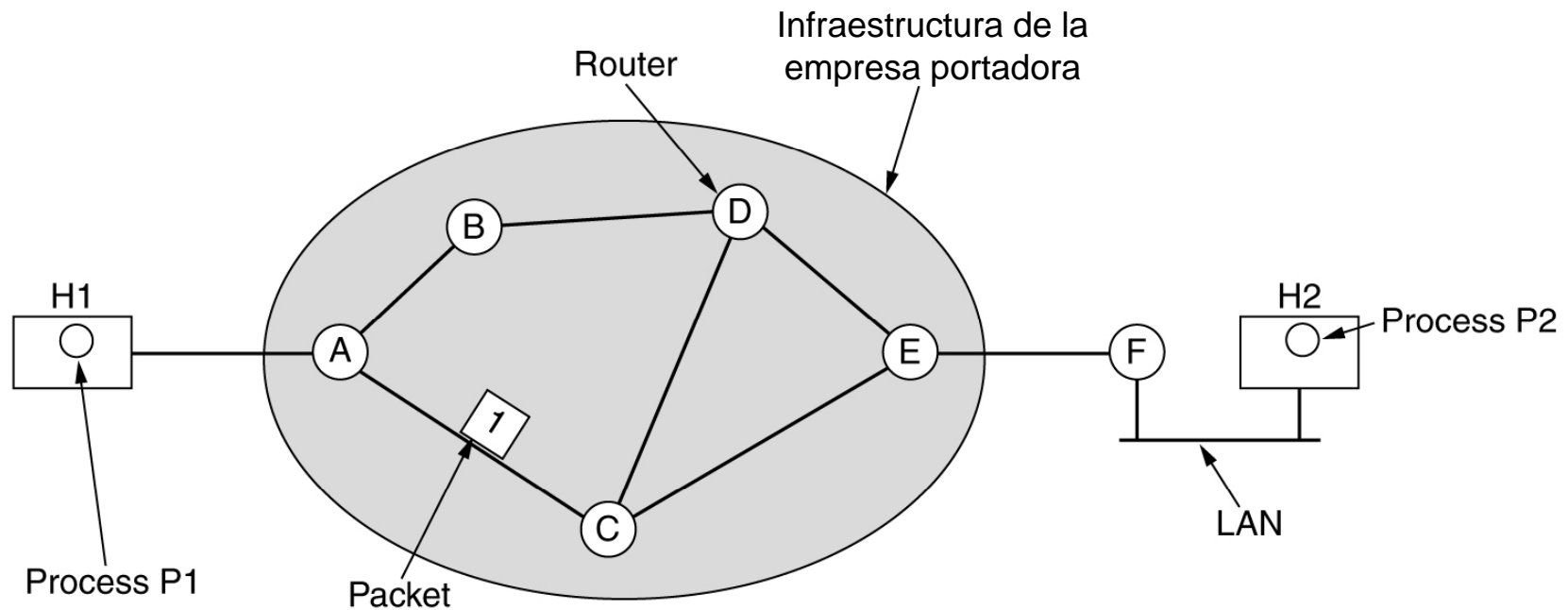


Diseño de la capa de red

- Almacenamiento y reenvío de paquetes
- Servicios proporcionados a la capa de transporte (capa 4)
- Implementación del servicio no orientado a la conexión
- Implementación del servicio orientado a la conexión
- Comparación entre las subredes de circuitos virtuales y las de datagramas

Diseño de la capa de red

Almacenamiento y reenvío de paquetes





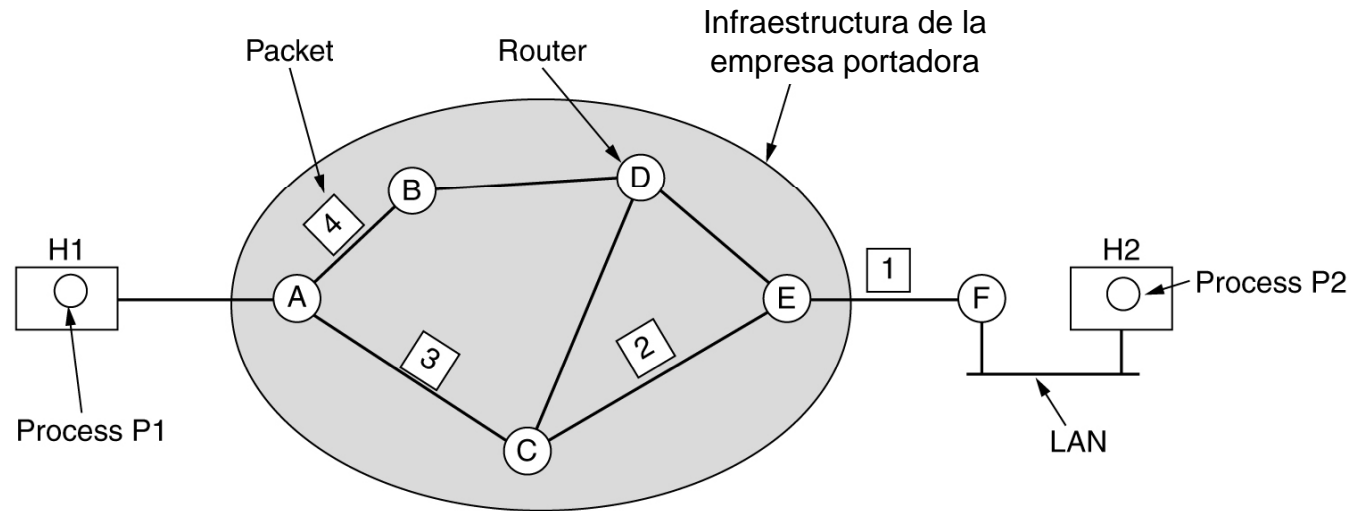
Diseño de la capa de red

Servicios proporcionados a capa de transporte

- La capa de red proporciona servicios a la capa de transporte en la interfaz capa de red/transporte
- Estos servicios deben cumplir los siguientes objetivos
 - Los servicios deben ser independientes de la tecnología del router
 - La capa de transporte debe estar aislada de la cantidad, tipo y topología de los routers existentes
 - Las direcciones de red proporcionadas por la capa de red deben seguir un plan de numeración uniforme y consistente incluso a través de varias LAN y WAN
- Se pueden usar diferentes enfoques para conseguir estos objetivos
 - **Uso de servicios no orientados a la conexión (Internet):** Los routers SÓLO se encargan de mover bits de un extremo a otro.
 - Subred inestable => los hosts deben introducir control de errores y de flujo en la capa de transporte
 - No se reordenan los paquetes
 - Uso de servicios orientados a conexión (Compañías telefónicas – ATM)
 - Mantenimiento de una red de circuitos virtuales

Diseño de la capa de red

Servicio no orientado a la conexión



A's table

	initially	later
A	-	-
B	B	B
C	C	C
D	B	B
E	C	B
F	C	B

Dest. Line

C's table

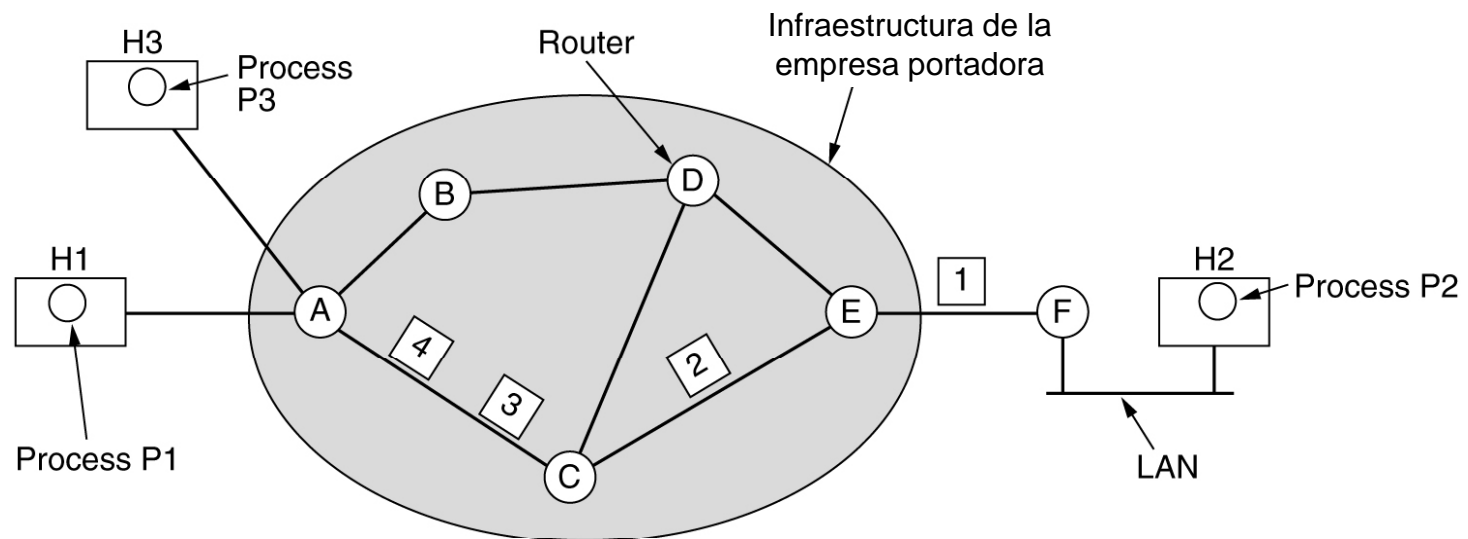
A	A
B	A
C	-
D	D
E	E
F	E

E's table

A	C
B	D
C	C
D	D
E	-
F	F

Diseño de la capa de red

Servicio orientado a la conexión



A's table				C's table				E's table			
H1	1	C	1	A	1	E	1	C	1	F	1
H3	1	C	2	A	2	E	2	C	2	F	2
In											



Diseño de la capa de red

Redes de circuitos virtuales vs. datagramas

Asunto	Red de datagramas	Red de circuitos virtuales (CV)
Configuración del circuito	No necesaria	Requerida
Direccionamiento	Cada paquete contiene la dirección de origen y destino	Cada paquete contiene el identificador del CV
Información de estado	Los routers no mantienen información de estado de las conexiones	Cada CV requiere un identificador en la tabla del router por conexión
Enrutamiento	Cada paquete se enruta de forma independiente	Ruta escogida al establecer la conexión. Todos los paquetes siguen la misma ruta
Efecto de fallos en el router	Ninguno excepto para paquetes perdidos cuando un router estaba inactivo	Se pierden todos los CVs que pasan a través del router
Calidad de servicio (QoS)	Difícil	Fácil si se pueden asignar suficientes recursos por adelantado para cada CV
Control de congestión	Difícil	Fácil si se pueden asignar suficientes recursos por adelantado para cada CV

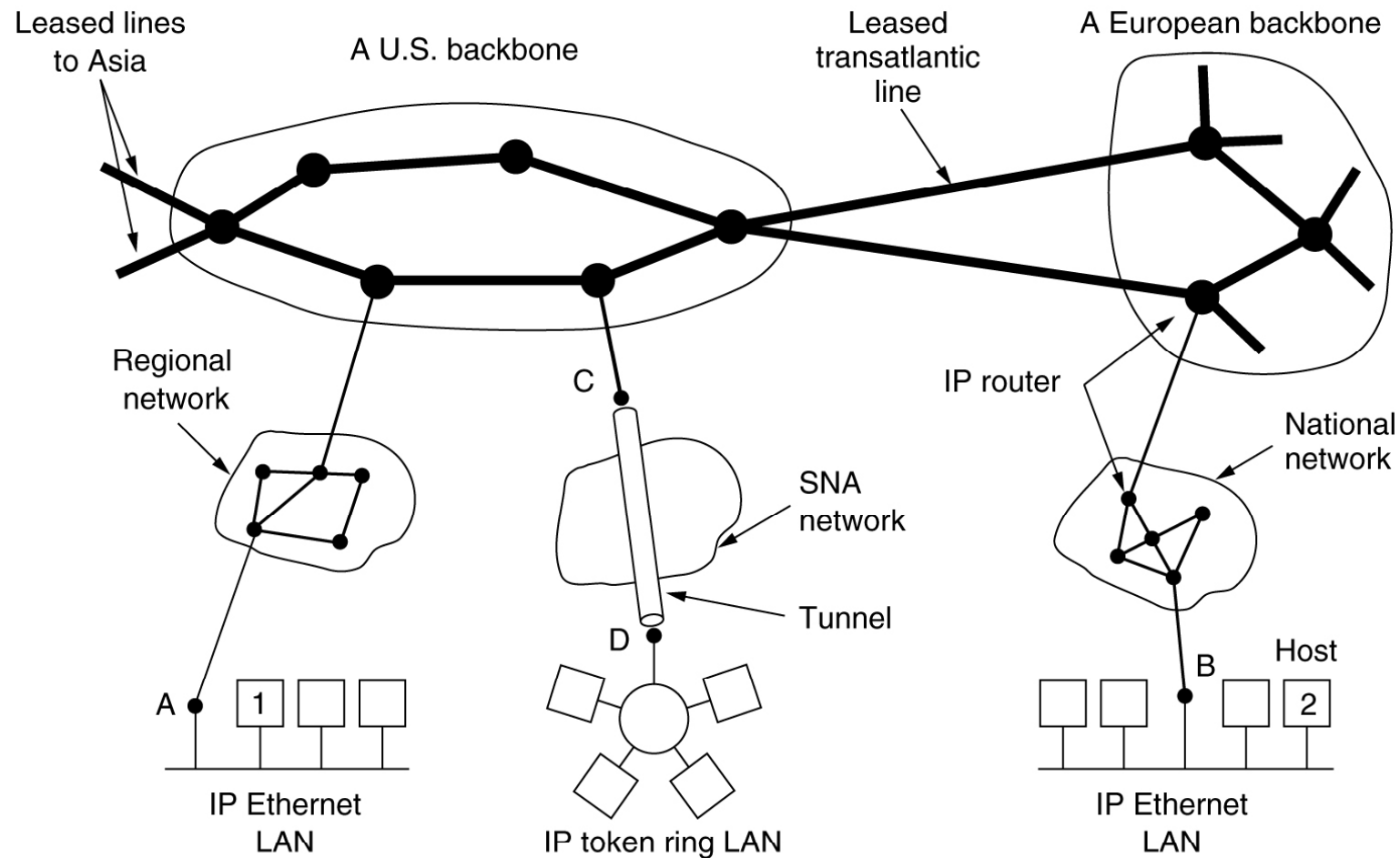


Funciones de la capa de red

- **Conexión de redes:** Conexión de redes que usan diferentes tecnologías
- **Fragmentación/Reensamblado de paquetes:** División y reconstrucción de la información en paquetes de tamaño máximo o fijo
- **Buffering:** Almacenamiento y reenvío de los paquetes
- **Enrutamiento:** Es el proceso de enviar paquetes (PDU de capa 3), es decir de seleccionar la ruta por dónde deben ir los paquetes.
- **Direccionamiento lógico:** Asignación de direcciones independientes del tipo de red física utilizada. Se proporciona, al menos, una dirección por dispositivo. Permiten identificar el origen y destino de un paquete en el proceso de enrutamiento de los paquetes
- **Protocolo de enrutamiento:** Un protocolo que ayuda a los routers a aprender dinámicamente las direcciones de la red para la selección de la ruta por donde van los paquetes

Funciones de la capa de red

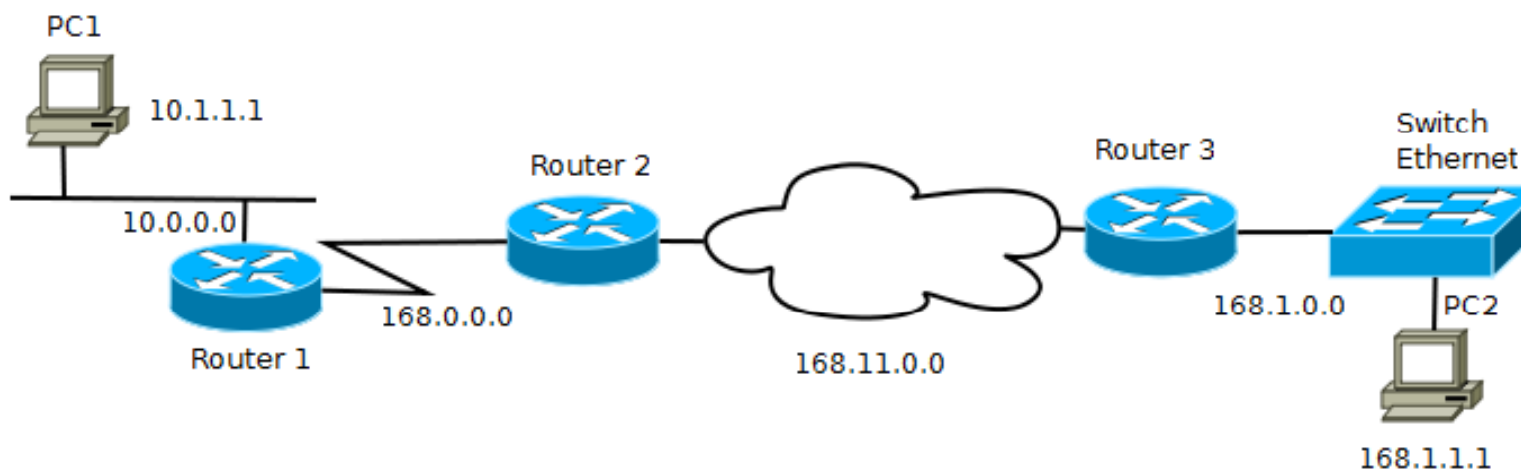
Conexión de redes



Funciones de la capa de red

Conexión de Redes

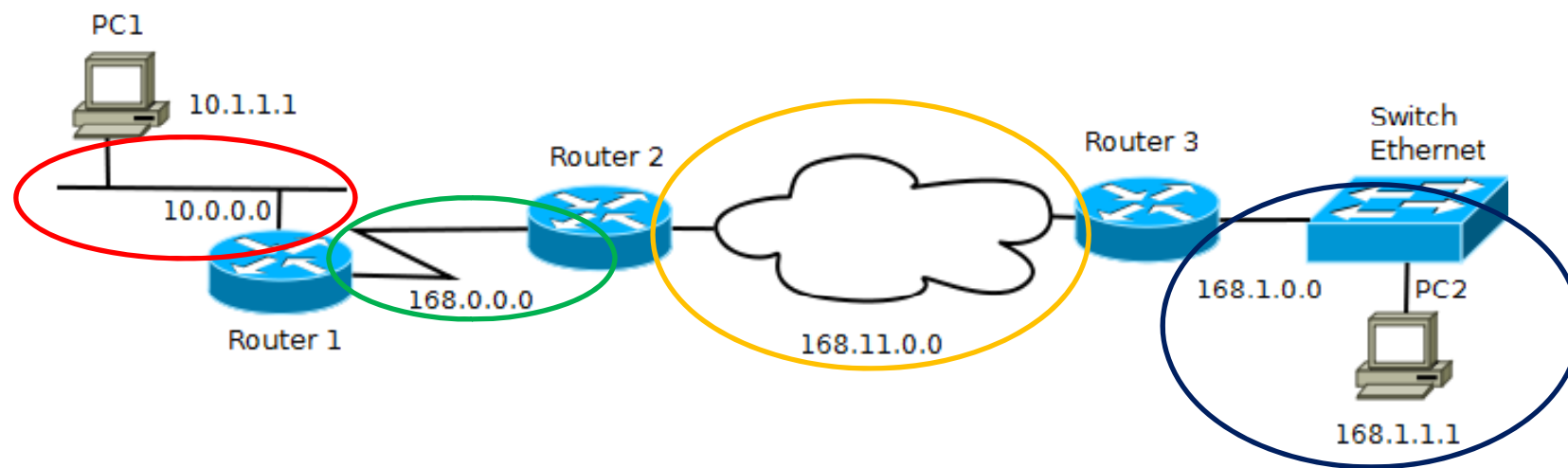
- ¿Cuántas redes hay en el diagrama?



Funciones de la capa de red

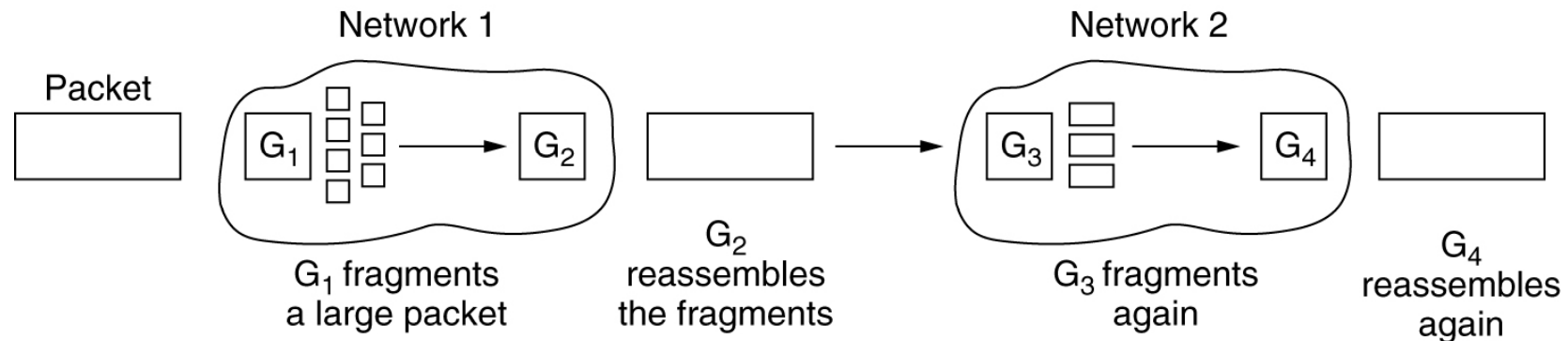
Conexión de Redes

- ¿Cuántas redes hay en el diagrama?

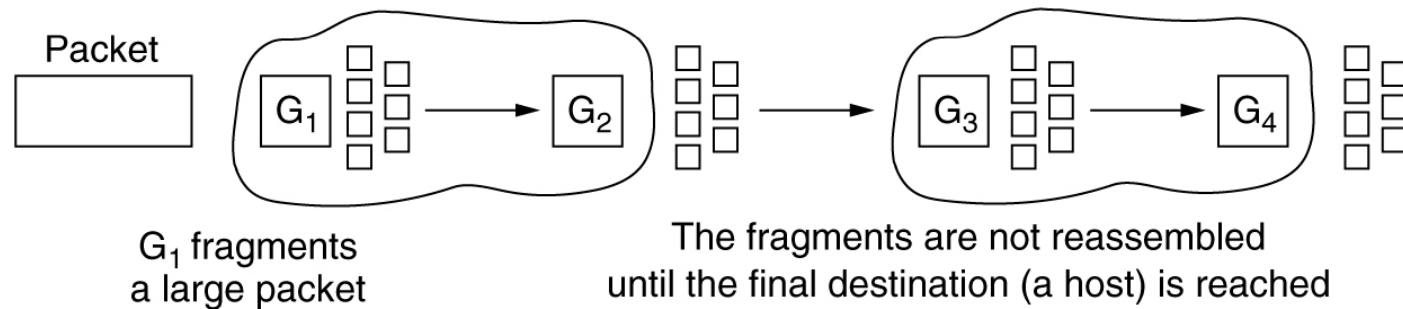


Funciones de la capa de red

Fragmentación/Reensamblado de paquetes



(a)

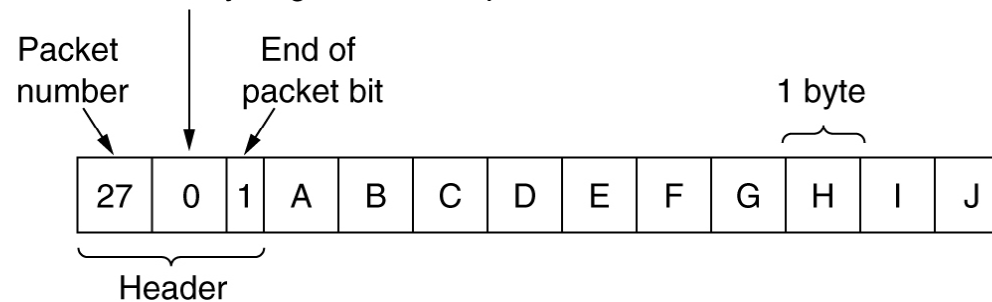


(b)

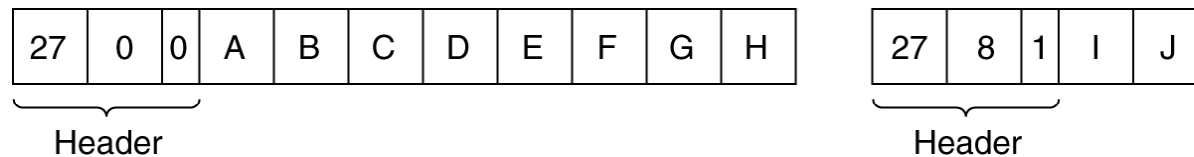
Funciones de la capa de red

Fragmentación/Reensamblado de paquetes

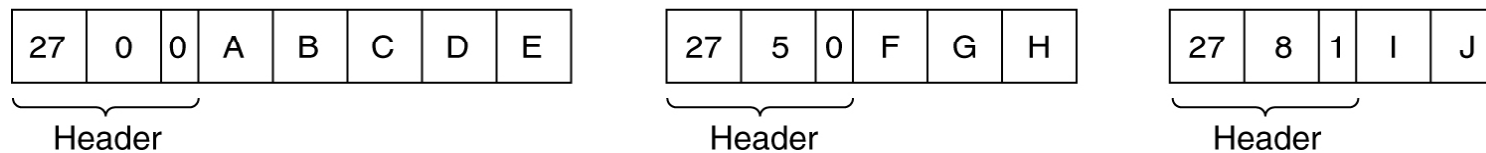
Number of the first elementary fragment in this packet



(a)



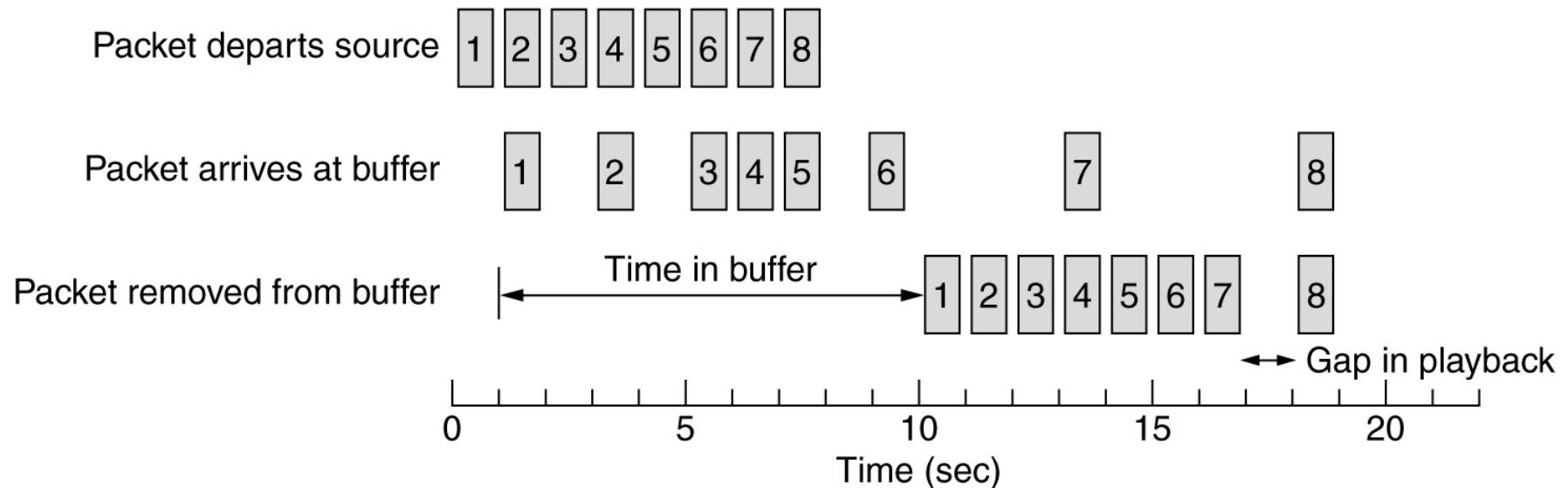
(b)



(c)

Funciones de la capa de red

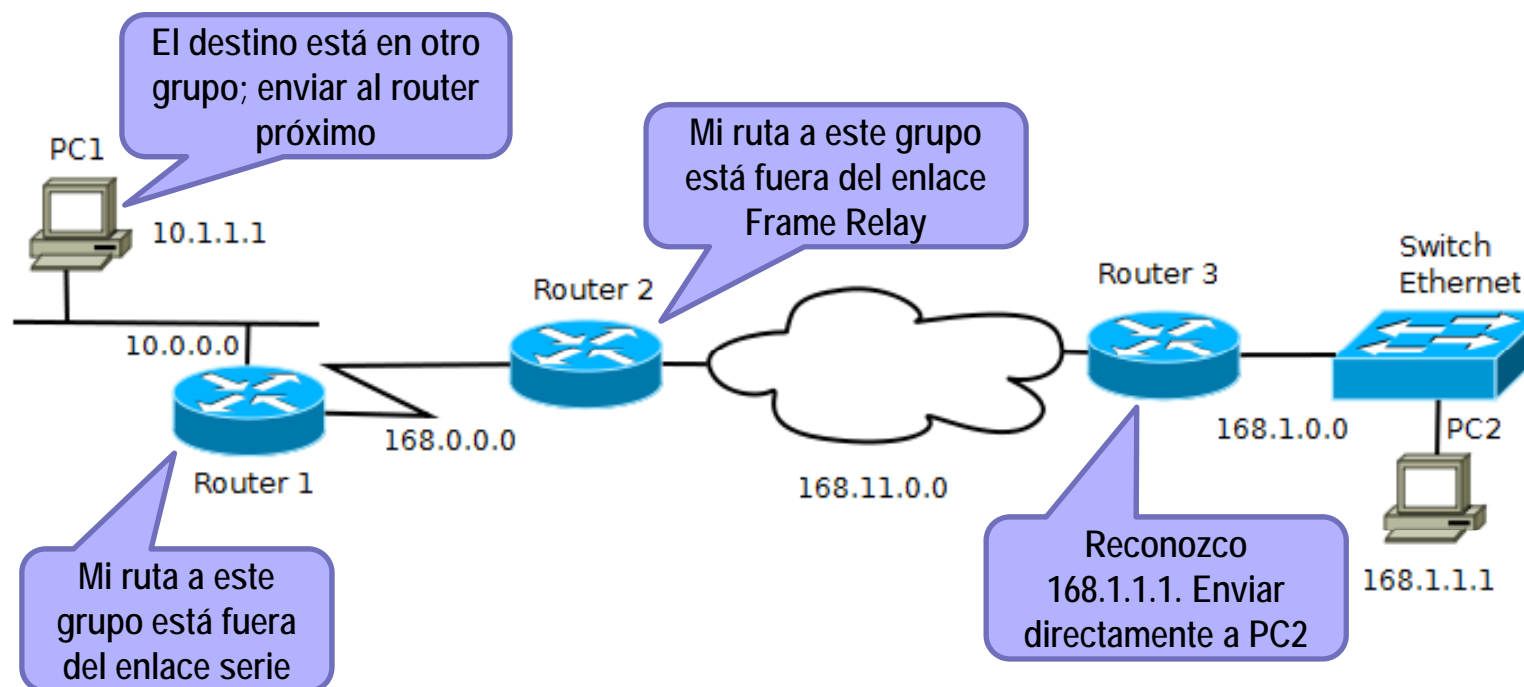
Buffering (Almacenamiento y reenvío)



Funciones de la capa de red

Enrutado – Lógica de enrutado

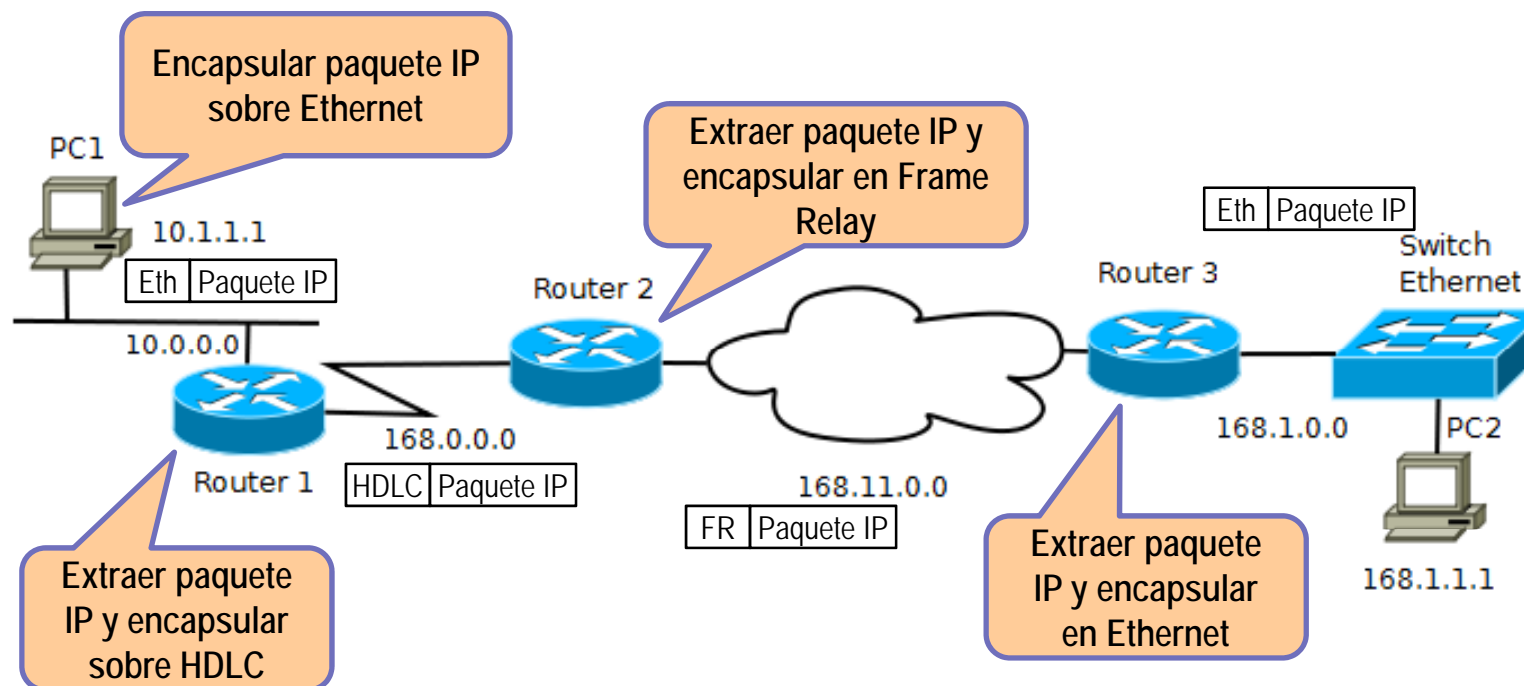
- Lógica de enrutamiento: PC1 enviando a PC2



Funciones de la capa de red

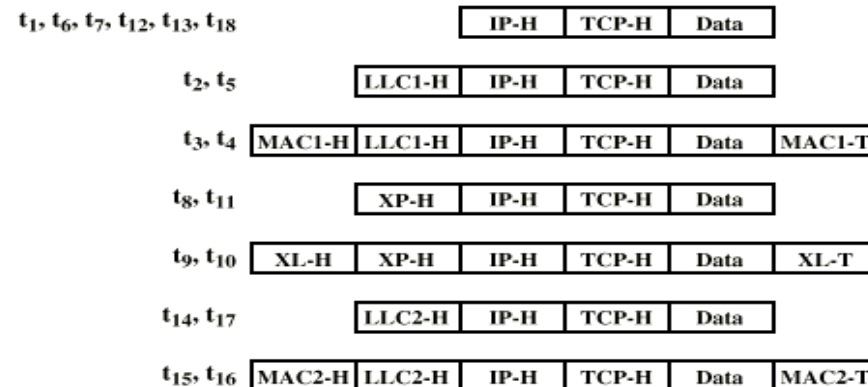
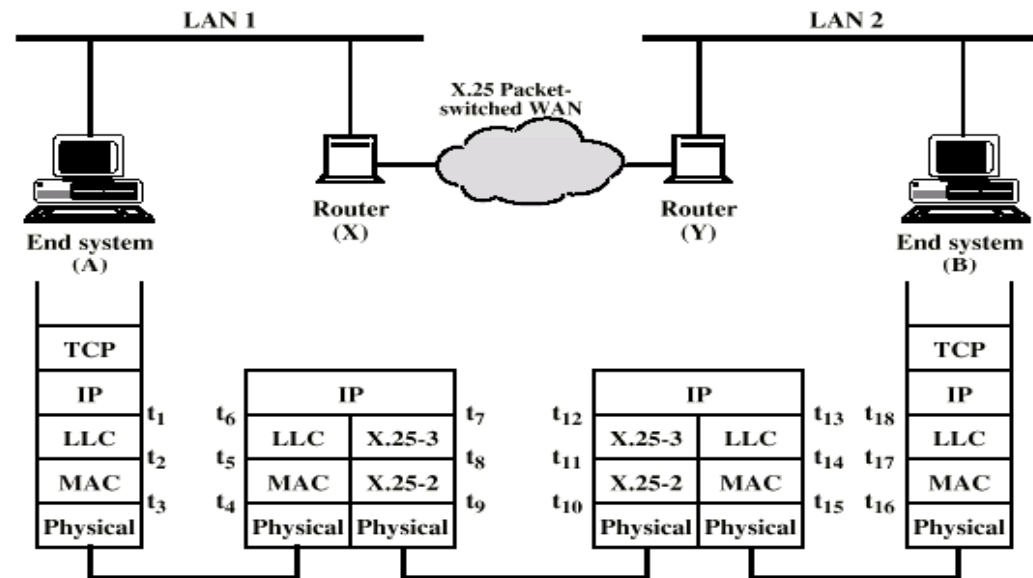
Enrutado – Lógica de enrutado

- Capa de red y encapsulación de capa de enlace de datos



Funciones de la capa de red

Enrutado



TCP-H = TCP header
 IP-H = IP header
 LLCi-H = LLC header
 MACi-H = MAC header
 MACi-T = MAC trailer
 XP-H = X.25 packet header
 XL-H = X.25 link header
 XL-T = X.25 link trailer



La capa de red en Internet

- ❑ Funciones de la capa de Internet
- ❑ El protocolo IP
- ❑ Direcciones IP
- ❑ Cómo se agrupan las direcciones IP (Subnetting)
- ❑ Enrutado en Internet
- ❑ Protocolos de control de Internet
- ❑ Protocolos de enrutamiento
 - ❑ OSPF – The Interior Gateway Routing Protocol
 - ❑ BGP – The Exterior Gateway Routing Protocol
- ❑ IPv6



Funciones de la capa de Internet

- La capa de Internet, equivalente a la capa 3 (capa de red) en OSI, es responsable de las siguientes funciones:
 - **Conexión de redes:** Conexión de redes que usan diferentes tecnologías
 - **Enrutamiento:** Es el proceso de enviar paquetes (PDU de capa 3), es decir de seleccionar la ruta por dónde deben ir los paquetes.
 - **Direccionamiento lógico:** Asignación de direcciones independientes del tipo de red física utilizada. Se proporciona, al menos, una dirección por dispositivo. Permiten identificar el origen y destino de un paquete en el proceso de enrutamiento de los paquetes
 - **Protocolos de enrutamiento:** Proporciona varios protocolos que ayuda a los routers a aprender dinámicamente las direcciones de la red para la selección de la ruta por donde van los paquetes



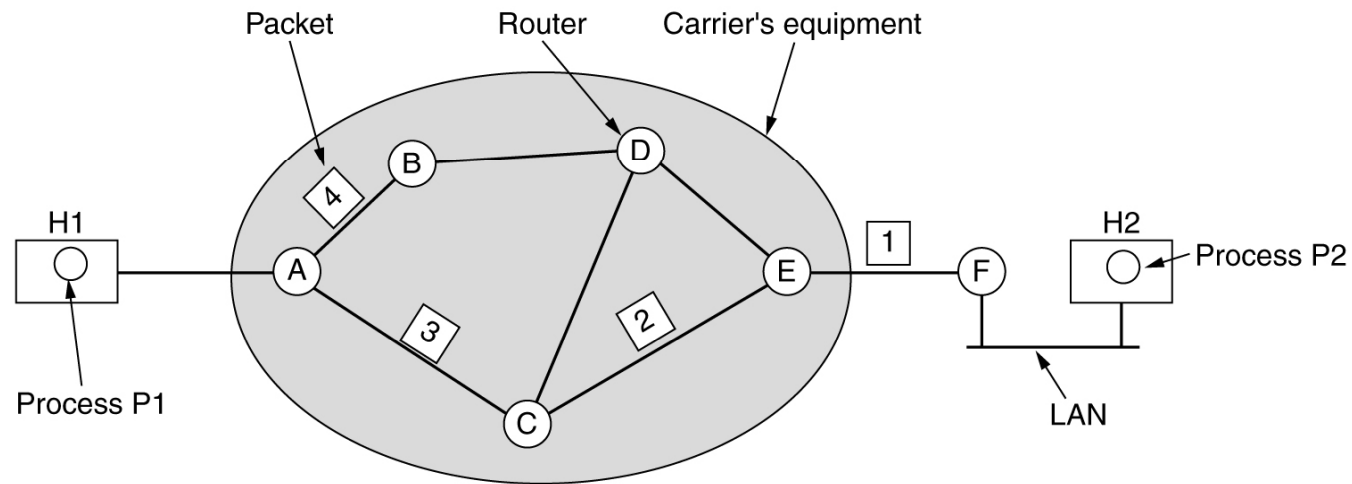
Funciones de la capa de Internet

Principios de diseño de la capa de Internet

1. Asegurar que *funciona*
2. Diseño *simple*
3. Diseño *modular*
4. Resolver los problemas de *heterogeneidad*
5. Entorno *dinámico*: Evitar opciones y parámetros estáticos
6. Diseño *escalable*
7. Buen *rendimiento vs coste*

Funciones de la capa de Internet

Enrutado



A's table

initially	later
A -	A -
B B	B B
C C	C C
D B	D B
E C	E B
F C	F B

Dest. Line

C's table

A A
B A
C -
D D
E E
F E

E's table

A C
B D
C C
D D
E -
F F



Funciones de la capa de Internet

Rol de los routers (1)

- Los **paquetes viajan de origen a destino pasando por los routers**, quienes deciden el encaminamiento más adecuado (siguiente router ó host al que mandar) en función del destino y estado de la red
- Los **routers** guardan las **tablas enrutamiento** (se actualizan dinámicamente).
- La tabla tiene **destinos y próximos saltos** para llegar a ellos. Los destinos son redes y no hosts para limitar el tamaño de las tablas.
- Si el destino está en una red directamente accesible la entrega es directa
- Se divide sufijo en subred física + host (varias subredes físicas con un prefijo de red)
- Destino contiene el prefijo de red y **máscara de dirección (indica bits de destino que corresponden al prefijo de red)**. Luego IP si se salta a router o dir fca si es a host
- El router usa una **máscara** para extraer la parte de red de la dirección. Y compara el resultado con el campo destino (prefijo de red), cuando coinciden manda el datagrama al salto
- Protocolos de actualización de tablas de encaminamiento: RIP (Routing Information Protocol), OSPF (Open Shortest Path First), etc.



Funciones de la capa de Internet

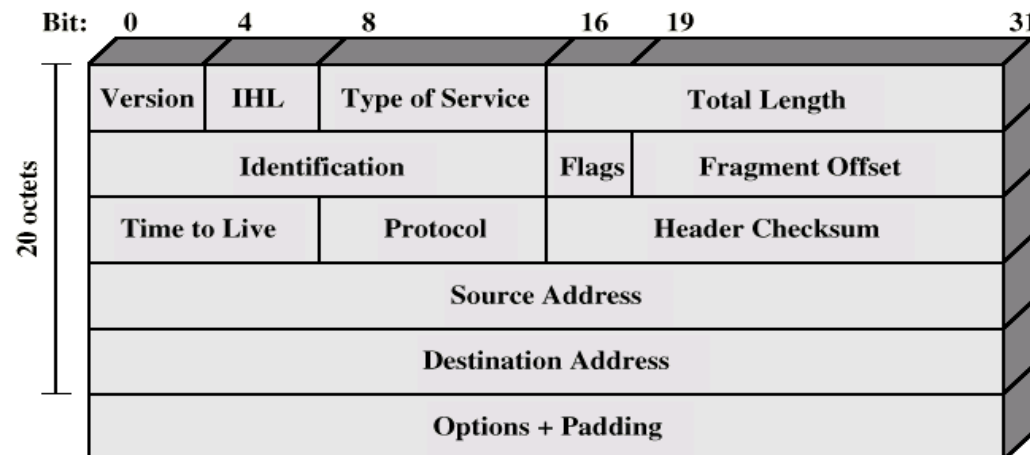
Rol de los routers (2)

- Se divide sufijo en subred física + host (varias subredes físicas con un prefijo de red)
- Destino contiene el prefijo de red y **máscara** de dirección (**indica bits de destino que corresponden al prefijo de red**).
- Luego IP si se salta a otro router o dirección física si se envía a un host
- El router usa una **máscara** para extraer la parte de red de la dirección. Y compara el resultado con el campo destino (prefijo de red), cuando coinciden manda el datagrama al salto
- Los routers usan diversos protocolos para mantener actualizadas las tablas de encaminamiento:
 - RIP (Routing Information Protocol), OSPF (Open Shortest Path First), BGP (Border Gateway, etc.

El protocolo IP

Cabecera IPv4

- **Versión** En IPv4 es 4
- **IHL** (Internet Header Length)
- **TOS** (Type of Service). Prioridad, retardo, fiabilidad,... (QoS)
- **Length** Tamaño total (cabecera más datos) datagrama en bytes
- **Identification** Num. secuencia para reensamblar los que lo tengan igual
- **Flags** DF si se puede fragmentar, MF si es el último fragmento
- **Offset**. Posición relativa datagrama en uno fragmentado
- **TTL** (Time to Live). Se decrementa en routers
- **Checksum** De cabecera
- **Type** Protocolo de nivel superior usado
- **Address**. Dirección IP origen y destino
- **Options**





El protocolo IP

Cabecera IPv4

Opciones del campo options

Option	Description
Security	Specifies how secret the datagram is
Strict source routing	Gives the complete path to be followed
Loose source routing	Gives a list of routers not to be missed
Record route	Makes each router append its IP address
Timestamp	Makes each router append its address and timestamp



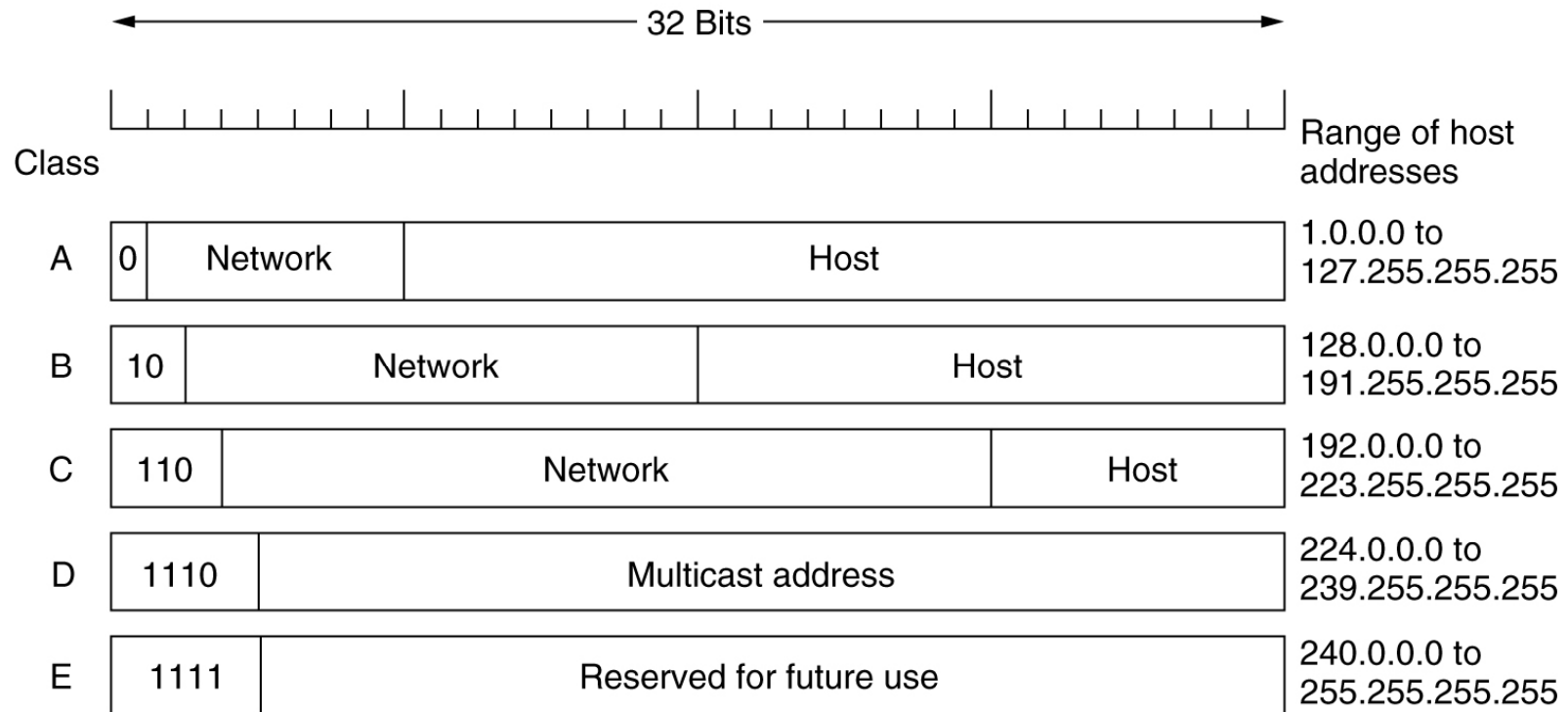
El protocolo IP

Direcciones IPv4

- Las direcciones IPv4 usan 32 bits:
 - **Prefijo:** Indica una red física (Asignado por el NIC, Network Information Centre)
 - **Sufijo:** Identifica un nodo dentro de una red (Asignado por el administrador local)
- Formato: XXX.XXX.XXX.XXX (donde XXX va de 0..255)
- Tipos de direcciones
 - Clases A, B, C, D y E
- Algunas direcciones interesantes:
 - Localhost: 127.0.0.1
 - Direcciones para redes locales: 192.168.XXX.XXX
 - Direcciones multicast (Clase D): Rango 224-239.X.X.X

El protocolo IP

Direcciones IPv4



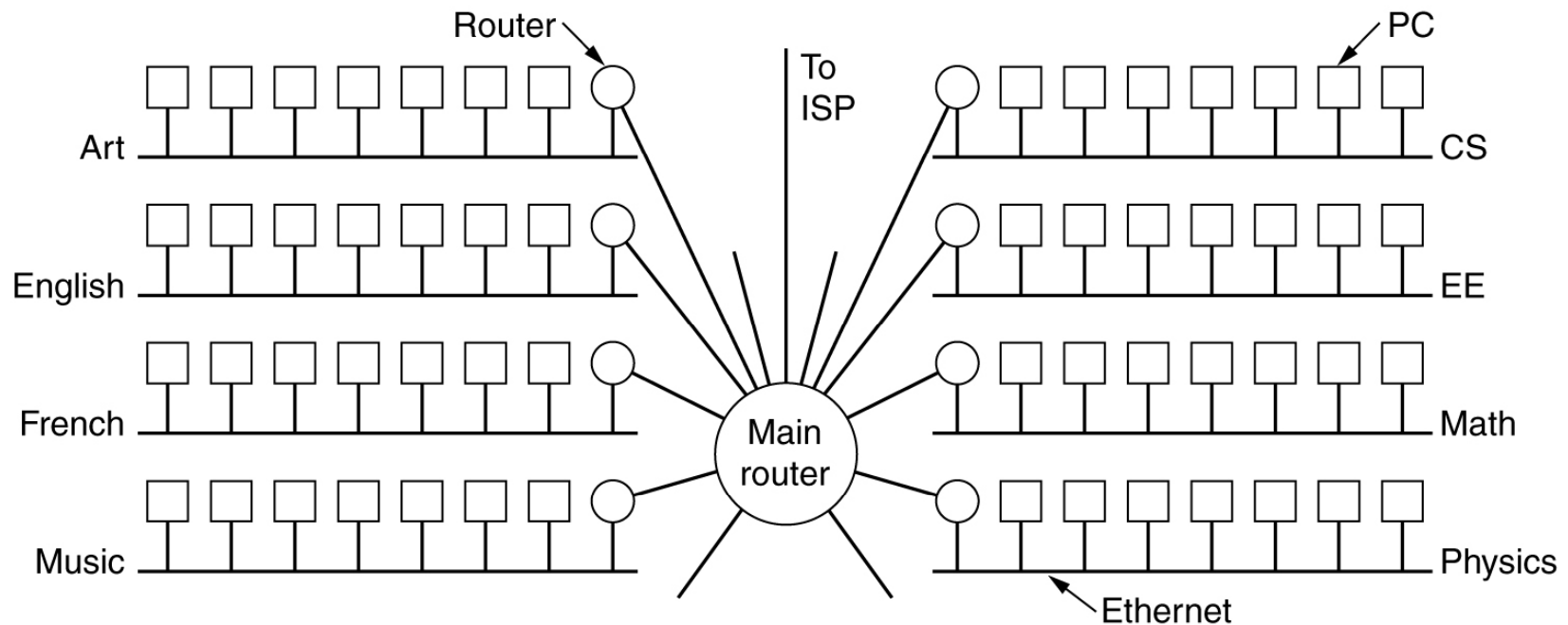
El protocolo IP

Direcciones IPv4 especiales

0 0																																This host								
0 0								...								0 0								Host																A host on this network
1 1																																Broadcast on the local network								
Network																1 1 1 1								...								1 1 1 1								Broadcast on a distant network
127								(Anything)																								Loopback								

Subredes

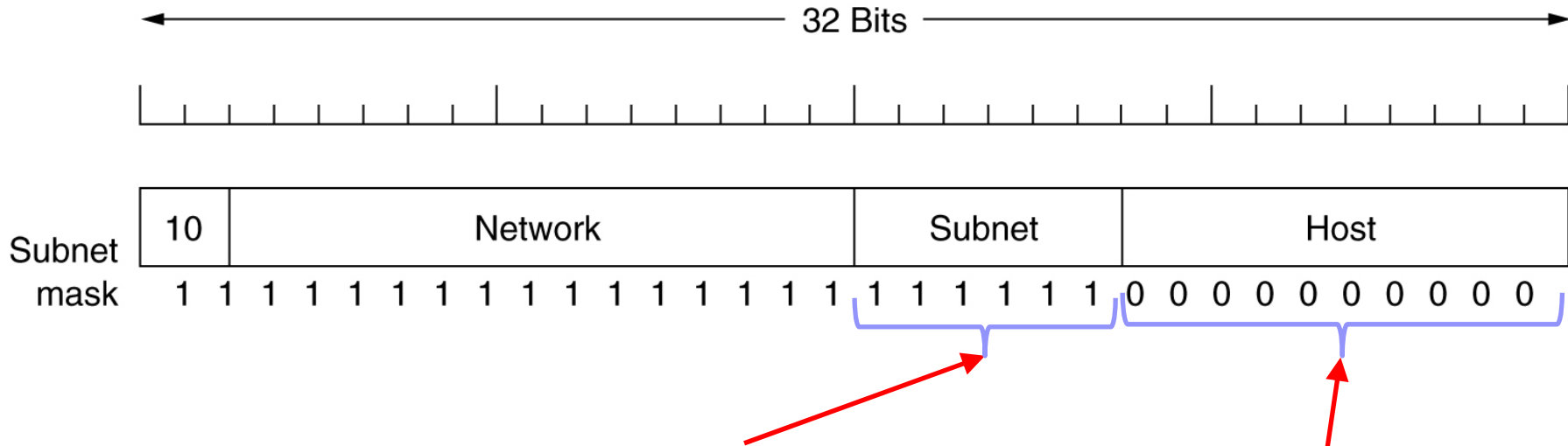
Cómo se agrupan las direcciones IP





Subredes

Subdivisión de las redes IP



Red de clase B dividida en 64 (2^6) subredes con 1024 (2^{10}) hosts cada una



Subredes

CDR – Classless InterDomain Routing

Asignación de un conjunto de direcciones IP

University	First address	Last address	How many	Written as
Cambridge	194.24.0.0	194.24.7.255	2048	194.24.0.0/21
Edinburgh	194.24.8.0	194.24.11.255	1024	194.24.8.0/22
(Available)	194.24.12.0	194.24.15.255	1024	194.24.12/22
Oxford	194.24.16.0	194.24.31.255	4096	194.24.16.0/20



Subredes

CDR – Classless InterDomain Routing

Dirección	Máscara
11000010 00011000 00000000 00000000	11111111 11111111 11111000 00000000
11000010 00011000 00001000 00000000	11111111 11111111 11111100 00000000
11000010 00011000 00001100 00000000	11111111 11111111 11111100 00000000
11000010 00011000 00010000 00000000	11111111 11111111 11110000 00000000

¿Qué hace el router si llega un paquete dirigido a 194.24.17.4?

1. Hace las cuentas en binario
2. Hacer un AND con las máscaras (Cambridge, Edimburgo y Oxford)
3. Si el resultado coincide con alguna de las direcciones base (C, E y O) lo envía a esa dirección



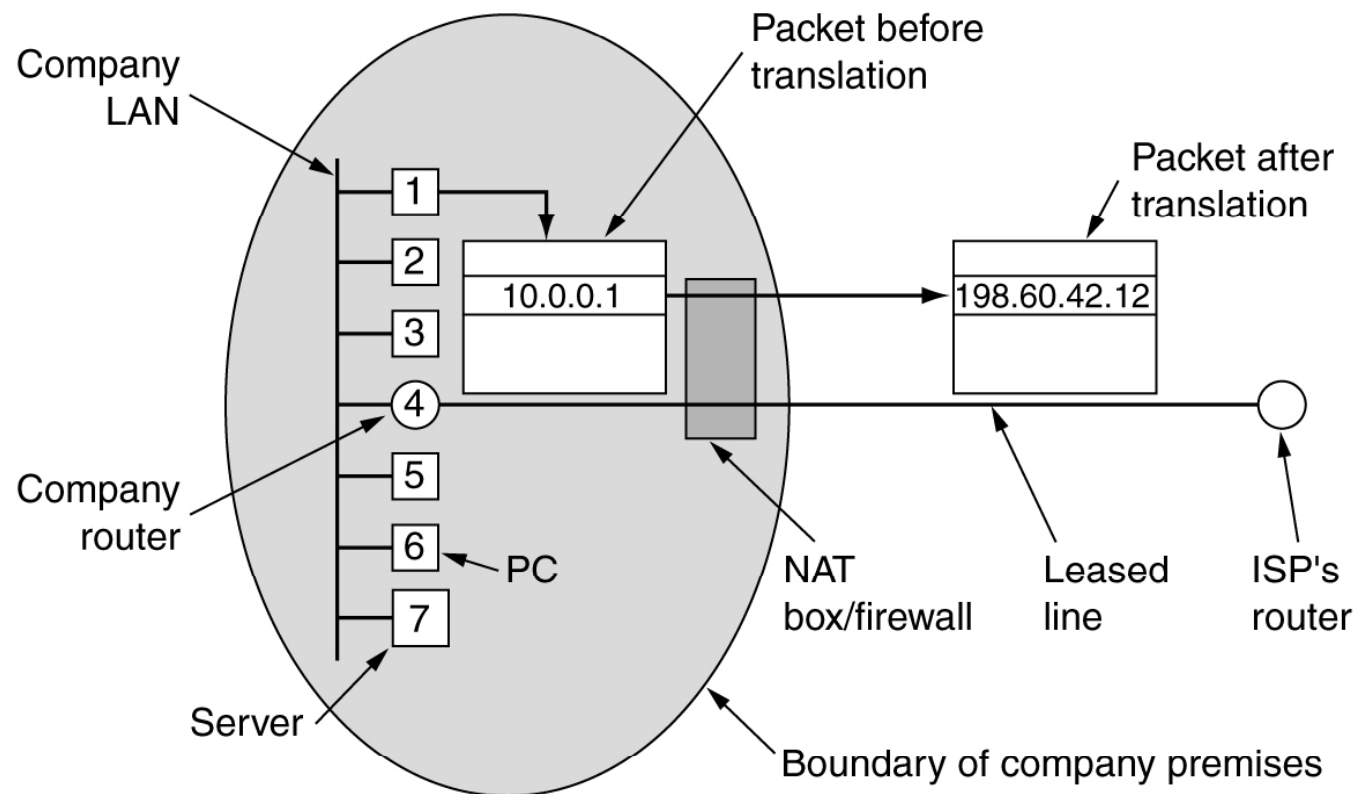
Gestión de direcciones IP

- Las direcciones IP son escasas
- P.e. un ISP (*Internet Service Provider*) podría tener una dirección /16 o de clase B, con 65534 números de host
- **¿Cómo dar servicio a más de 65534 clientes?**
 - **Asignación dinámica:** Cuando un cliente inicia la conexión se asigna dinámicamente una IP a una computadora. Esta dirección se recupera al cerrar la conexión y se reasigna a otro cliente
 - **Protocolo NAT (*Network Address Translation*):** Traducción de dirección de red. Consiste en asignar una dirección IP (o un número pequeño de direcciones) a cada empresa para el tráfico de Internet. Dentro de la compañía cada computadora tiene una dirección interna única (no accesible desde Internet)

Direcciones IP internas

NAT – Network Address Translation

Funcionamiento del protocolo NAT





Protocolos de la capa de Internet

■ Principales protocolos:

- **IP** (*Internet Protocol*): Formación datagramas, fragmentación y reensamblado, tiempo de vida de los paquetes, tipo de protocolo superior, destino/origen, opciones adicionales, definición de un sistema de direccionamiento (Direcciones IP)
- **ARP** (*Address Resolution Protocol*): Transformación direcciones entre nivel 2 (Enlace) y 3 (Internet)
- **DNS** (*Domain Name System*): Sistema de denominación de dominio (DNS,),
- **DHCP** (*Dynamic Host Configuration Protocol*): Protocolo de configuración dinámica del host
- **ICMP** (*Internet Control Message Protocol*): Información sobre problemas de envío de datagramas, gestión de red, tratamiento errores, etc. Es el protocolo usado en la utilidad *Ping*
- **Protocolos de enrutamiento**: Protocolos de enrutado para determinar la mejor ruta que un paquete debe seguir a través de diversos routers.
 - **RIP** (*Routing Information Protocol*), **OSPF** (*Open Shortest Path First*):



Protocolos de Internet

Internet Control Message Protocol (ICMP)

Principales tipos de mensajes ICMP (Protocolo usado por ping)

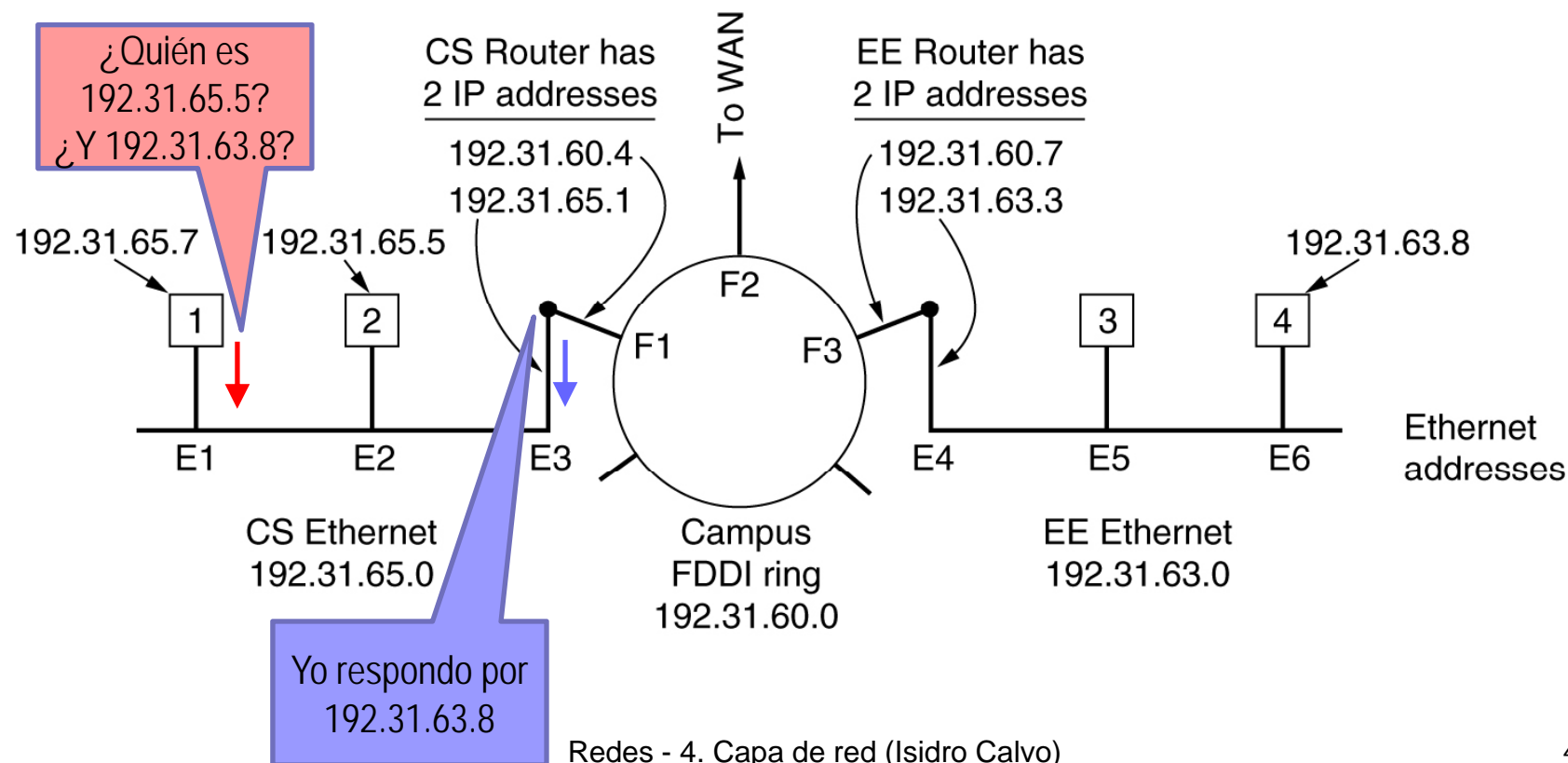
Message type	Description
Destination unreachable	Packet could not be delivered
Time exceeded	Time to live field hit 0
Parameter problem	Invalid header field
Source quench	Choke packet
Redirect	Teach a router about geography
Echo request	Ask a machine if it is alive
Echo reply	Yes, I am alive
Timestamp request	Same as Echo request, but with timestamp
Timestamp reply	Same as Echo reply, but with timestamp

Protocolos de Internet

Address Resolution Protocol (ARP)

¿Cómo se convierten las direcciones IP en direcciones de capa de enlace de datos?

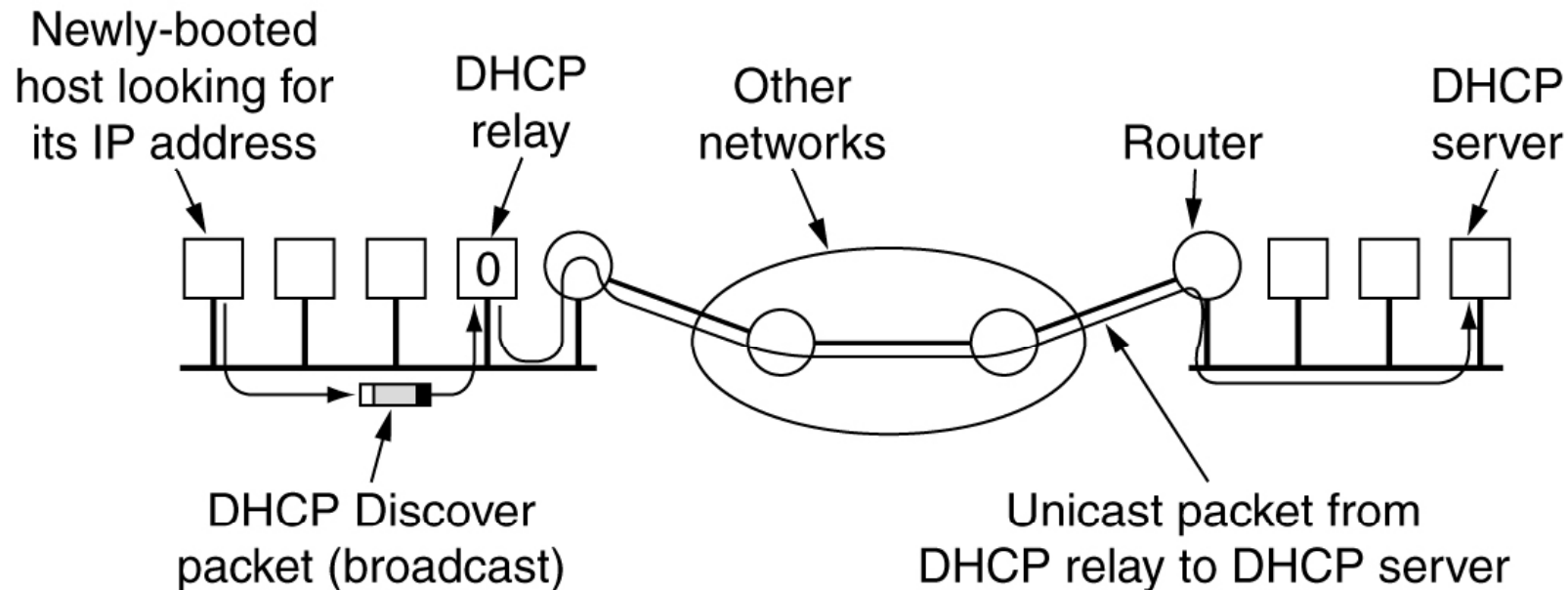
Ej: Tres redes/24 interconectadas: Dos Ethernets y un anillo FDDI



Protocolos de Internet

Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)

Funcionamiento de DHCP





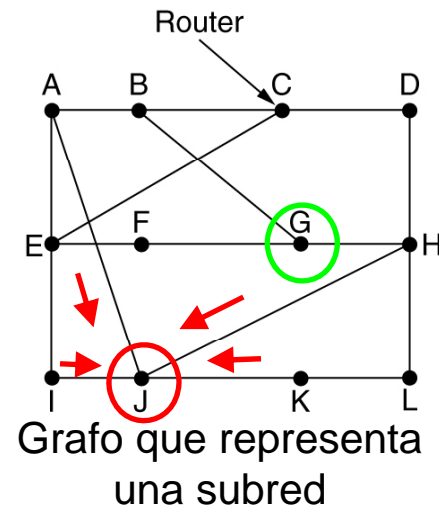
Protocolos de rutado

■ Principales protocolos:

- **RIP** (*Routing Information Protocol*): Enrutamiento por vector de distancia. Cada router mantiene una tabla (*vector*) que da la mejor distancia conocida a cada destino y la línea que debe usarse para llegar allí.
- **OSPF** (*Open Shortest Path First*): es un protocolo jerárquico de pasarela interior o IGP (Interior Gateway Protocol), que usa el algoritmo Dijkstra enlace-estado (LSA - *Link State Algorithm*) para calcular la ruta más corta posible. Usa *cost* como su medida de métrica.
- **BGP** (*Border Gateway Protocol*):

Protocolos de rutado

Routing Information Protocol (RIP)



To	A	I	H	K	New estimated delay from J ↓ Line	
A	0	24	20	21	8	A
B	12	36	31	28	20	A
C	25	18	19	36	28	I
D	40	27	8	24	20	H
E	14	7	30	22	17	I
F	23	20	19	40	30	I
G	18	31	6	31	18	H
H	17	20	0	19	12	H
I	21	0	14	22	10	I
J	9	11	7	10	0	—
K	24	22	22	0	6	K
L	29	33	9	9	15	K

JA delay is 8	JI delay is 10	JH delay is 12	JK delay is 6
---------------	----------------	----------------	---------------

Vectors received from J's four neighbors

New routing table for J

Nueva tabla de rutado para J construida con la información proporcionada por A, I, H y K (Retardos en ms)



Protocolos de rutado

Routing Information Protocol (RIP)

■ Ventajas:

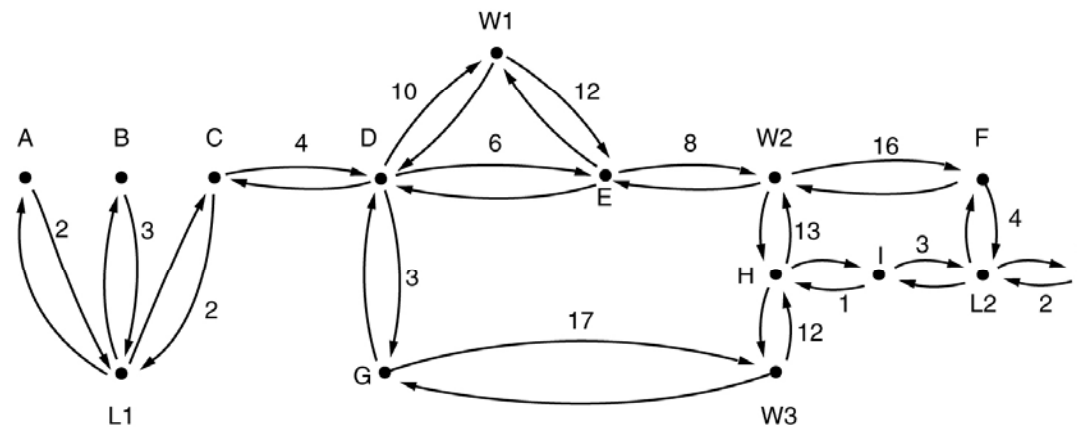
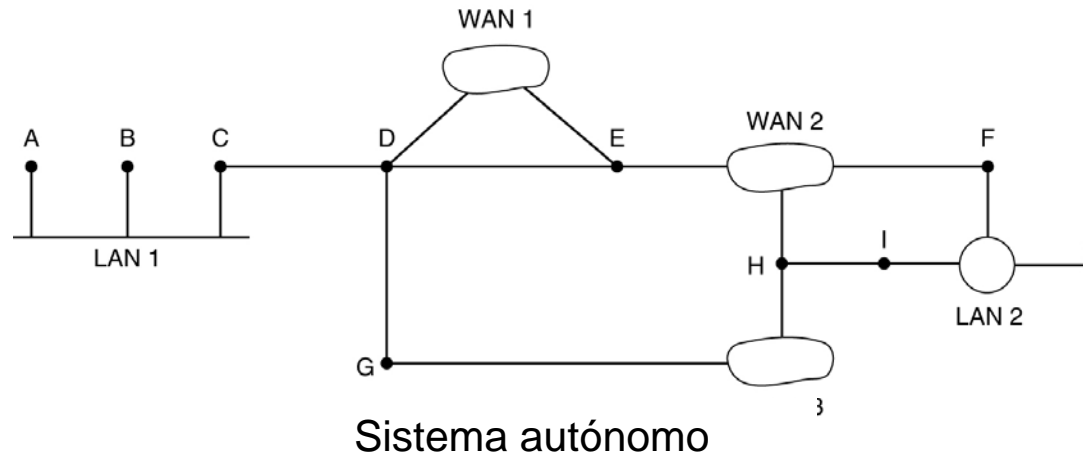
- ☐ RIP es más fácil de configurar (comparativamente a otros protocolos).
- ☐ Es un protocolo abierto (admite versiones derivadas aunque no necesariamente compatibles).
- ☐ Es soportado por la mayoría de los fabricantes.

■ Inconvenientes:

- ☐ Para determinar la mejor métrica, únicamente toma en cuenta el número de saltos, descartando otros criterios (Ancho de Banda, congestión, carga, retardo, fiabilidad, etc.).
- ☐ No está diseñado para resolver cualquier posible problema de encaminamiento. En RFC 1720 se describen diversas limitaciones técnicas

Protocolos de rutado

Open Shortest Gateway First (OSPF)



Grafo que representa al sistema



Protocolos de rutado

Open Shortest Gateway First (OSPF)

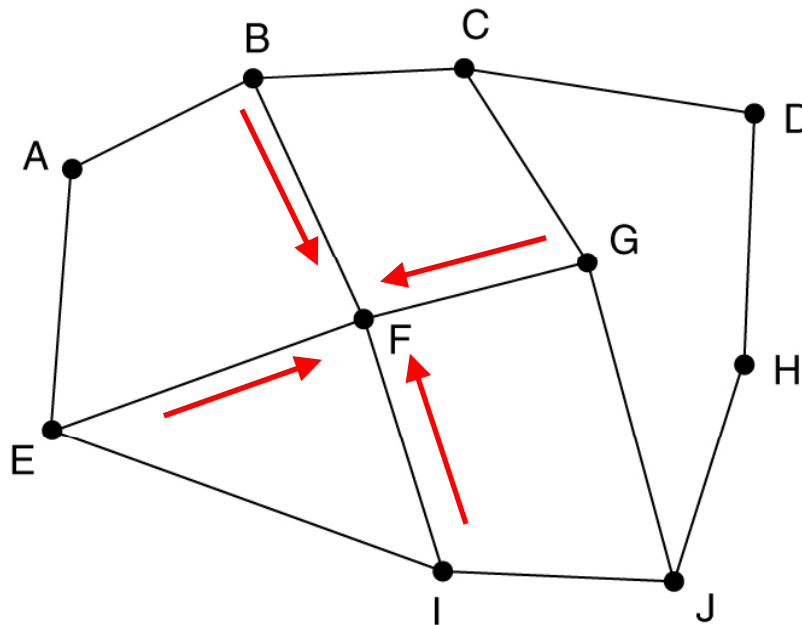
OSPF usa un conjunto de mensajes más sofisticado que RIP para construir el grafo de la red.

Principales mensajes del protocolo OSPF:

Message type	Description
Hello	Used to discover who the neighbors are
Link state update	Provides the sender's costs to its neighbors
Link state ack	Acknowledges link state update
Database description	Announces which updates the sender has
Link state request	Requests information from the partner

Protocolos de rutado

Exterior Gateway Routing Protocol (BGP)



Un conjunto de routers BGP

Information F receives
from its neighbors about D

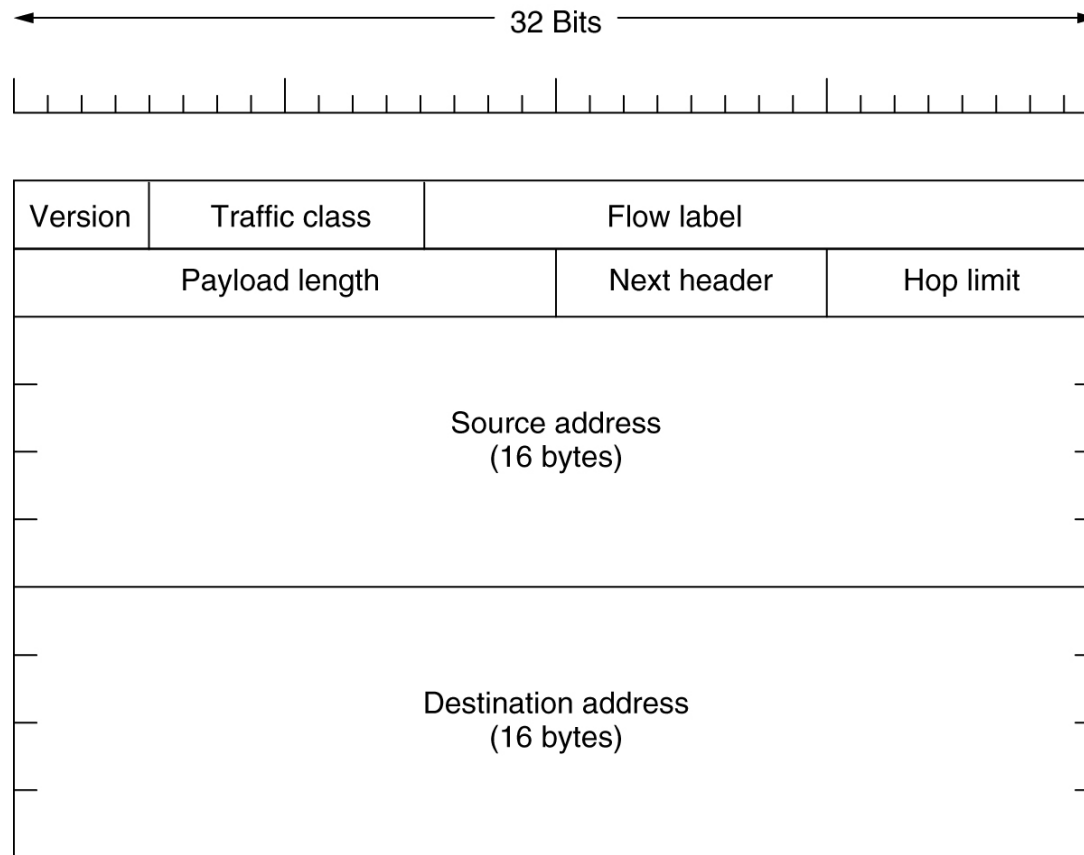
From B: "I use BCD"
From G: "I use GCD"
From I: "I use IFGCD"
From E: "I use EFGCD"

Información enviada al router F.
En este caso un router pregunta a los
routers adyacentes qué trayectoria
usaría para encaminar los paquetes
hasta el router de destino (D)



Cabecera de IPv6

The IPv6 fixed header (required).





Capa de transporte

- ¿Cómo se accede a la capa de red?
- La capa de transporte proporciona una interfaz que permite a los programadores de aplicaciones construir aplicaciones sin tener en cuenta las tecnologías utilizadas en las capas inferiores (Capa 1, capa 2, capa 3) así como el funcionamiento subyacente de los protocolos de comunicación utilizados.
- El componente básico de la capa de transporte son los **sockets**, dado que proporcionan el interfaz básico para acceder a la capa de transporte.



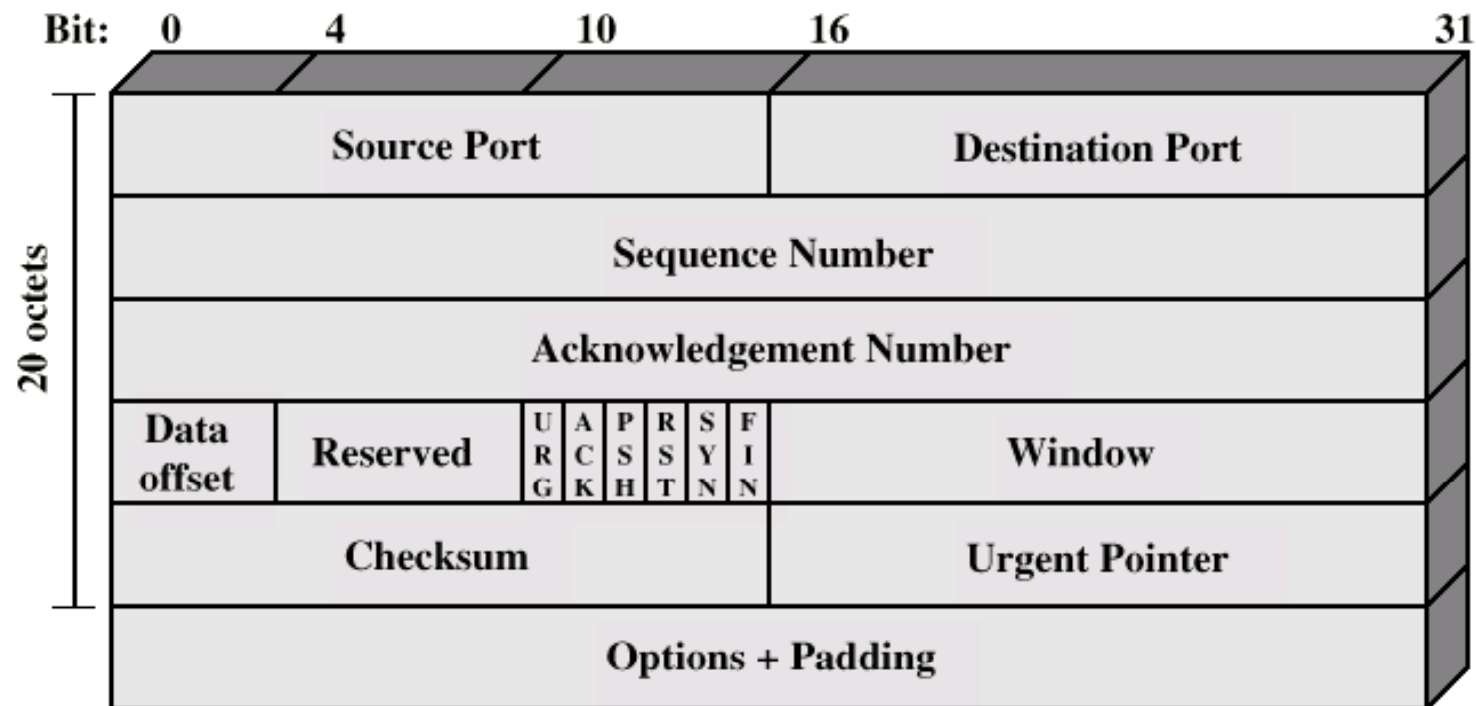
Capa de transporte

Protocolo TCP

- ***TCP - Transmission Control Protocol***
- Protocolo orientado a conexión
 - Comunicación fiable entre pares de procesos
 - Gestión de la conexión (establecimiento, mantenimiento, fin)
 - Transporte datos (full dúplex, control errores y flujo, paquetes ordenados, temporizaciones, control prioridad)
 - Notificación errores
 - Puede usarse en redes fiables y no fiables
- Conexión: Dirección IP + Puerto, diferentes conexiones usan diferentes puertos
- Puerto TCP (16 bits/65536) identifica una conexión en una máquina

Capa de transporte

Cabecera TCP





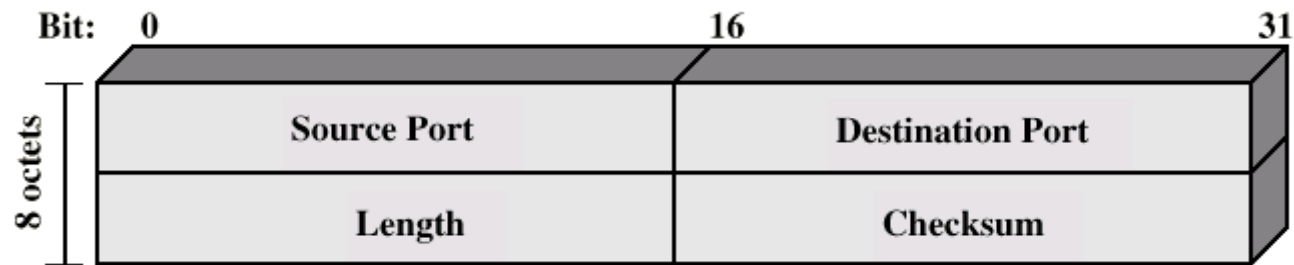
Capa de transporte

Protocolo UDP

- ***UDP - User datagram protocol***
- Protocolo no orientado a conexión
- Usa puertos (*ports*) para identificar las aplicaciones a las que van destinados los datagramas
- Ventajas:
 - ☐ Protocolo más eficiente
 - ☐ Reduce la sobrecarga
- Desventajas:
 - ☐ No fiable
 - ☐ No se garantiza ni la entrega ni se controla la duplicación
- Usos:
 - ☐ En aplicaciones multimedia
 - ☐ Gestión de red

Capa de transporte

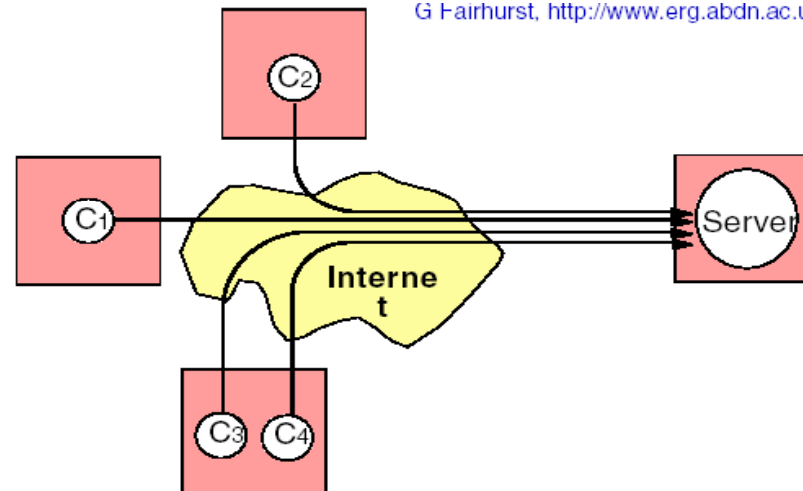
Cabecera UDP



Capa de transporte

Sockets y Datagramas

- Interfaz de aplicación para utilizar los protocolos de comunicación desde aplicaciones de usuario
- Se sitúan sobre la capa de transporte:
 - El programador se desentiende de: canal físico, gestión errores (enlace), enrutamiento (red), formación y gestión de paquetes (transporte)
- **Puerto:** Permite (junto a la dirección IP) diferenciar el tráfico dirigido a diferentes aplicaciones
- Predefinidos (0-1023): P.e. ftp (21/tcp), http (80/tcp), daytime (13/udp),...





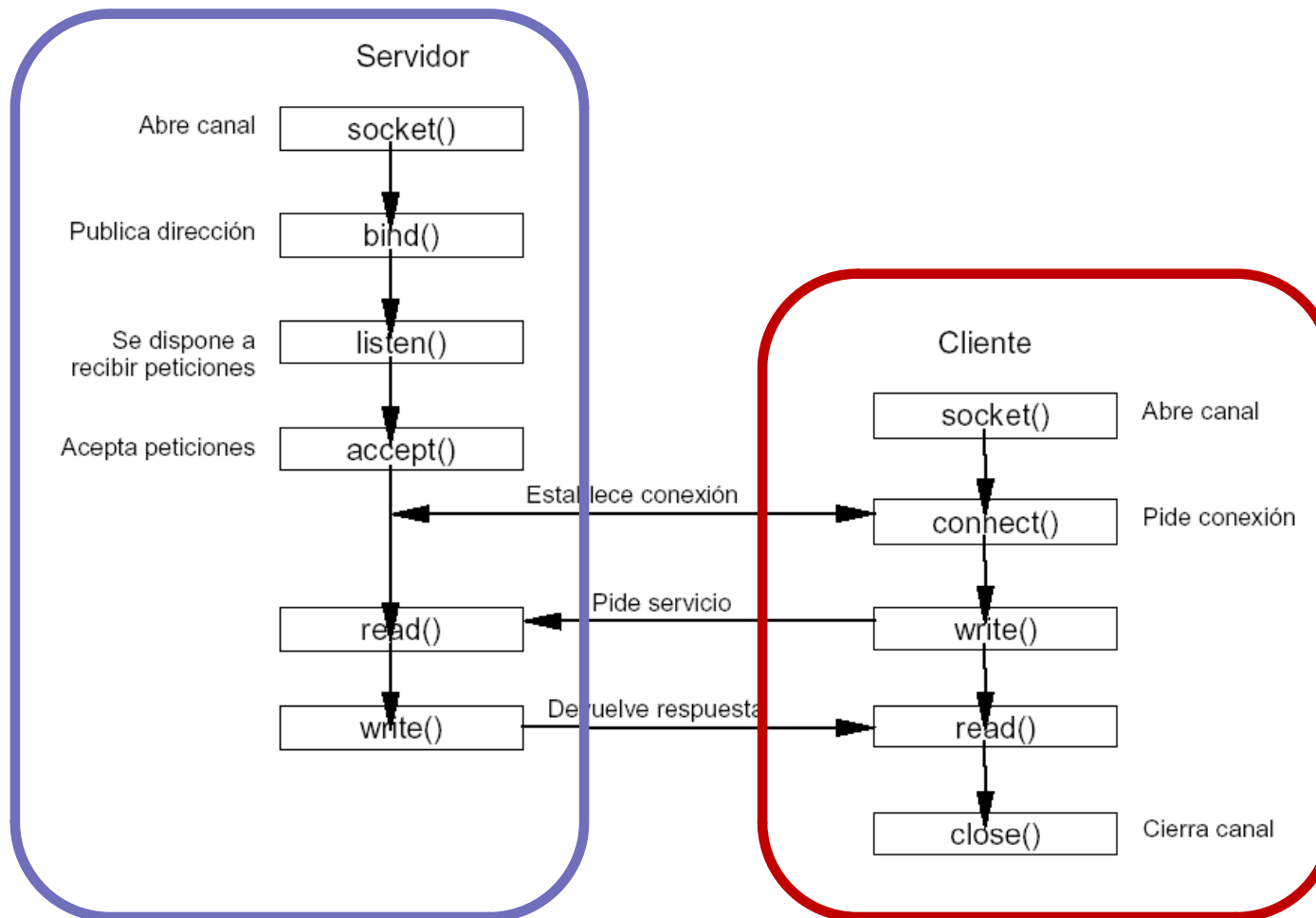
Capa de transporte

Modelo C/S con sockets

CLIENTE	SERVIDOR
Inicia la comunicación	Espera una petición y la sirve
Normalmente, aplicación de propósito general invocada por el usuario	Aplicación particular ejecutada en modo privilegiado por el SO
Tiempo de uso equivalente a una sesión	Ejecución permanente (demonio)
SO sin requisitos de multitarea	SO multitarea para la gestión concurrente de varios clientes a la vez
Pide servicio por un puerto	Publica una oferta de servicio a través de un puerto

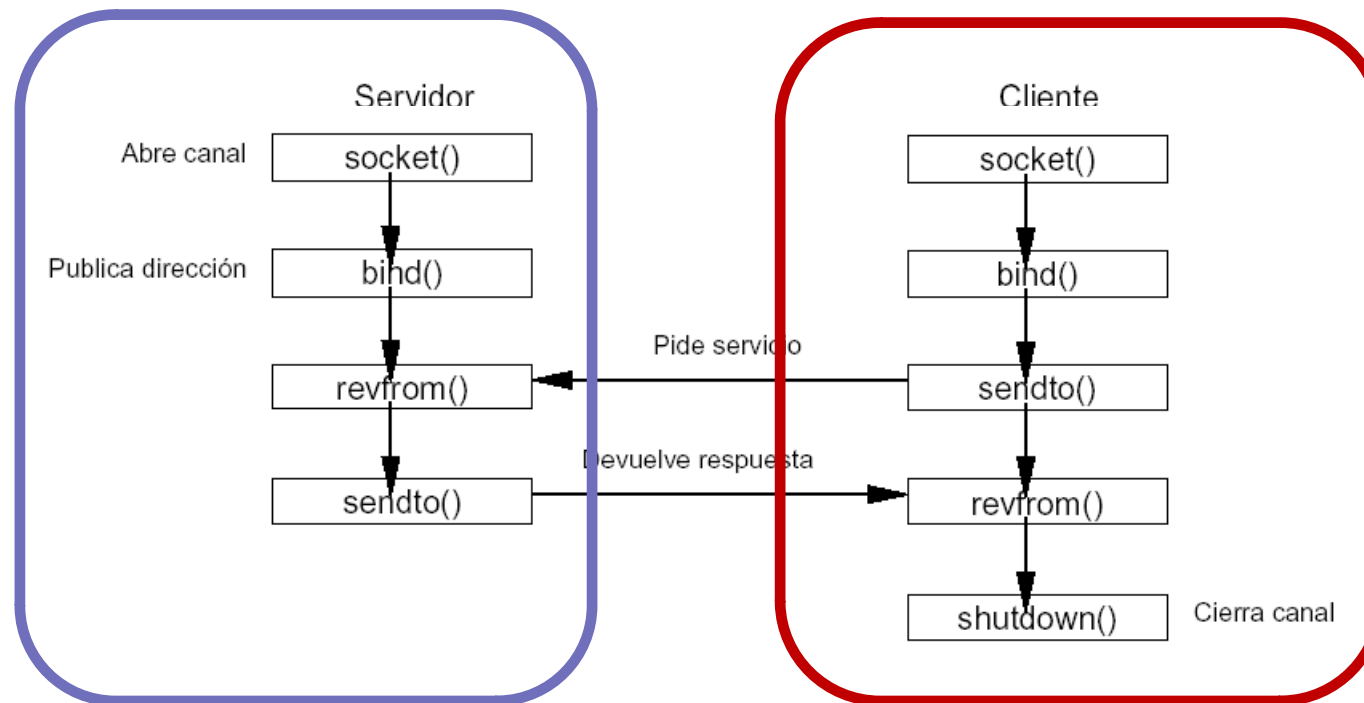
Capa de transporte

Creación de aplicaciones con sockets TCP



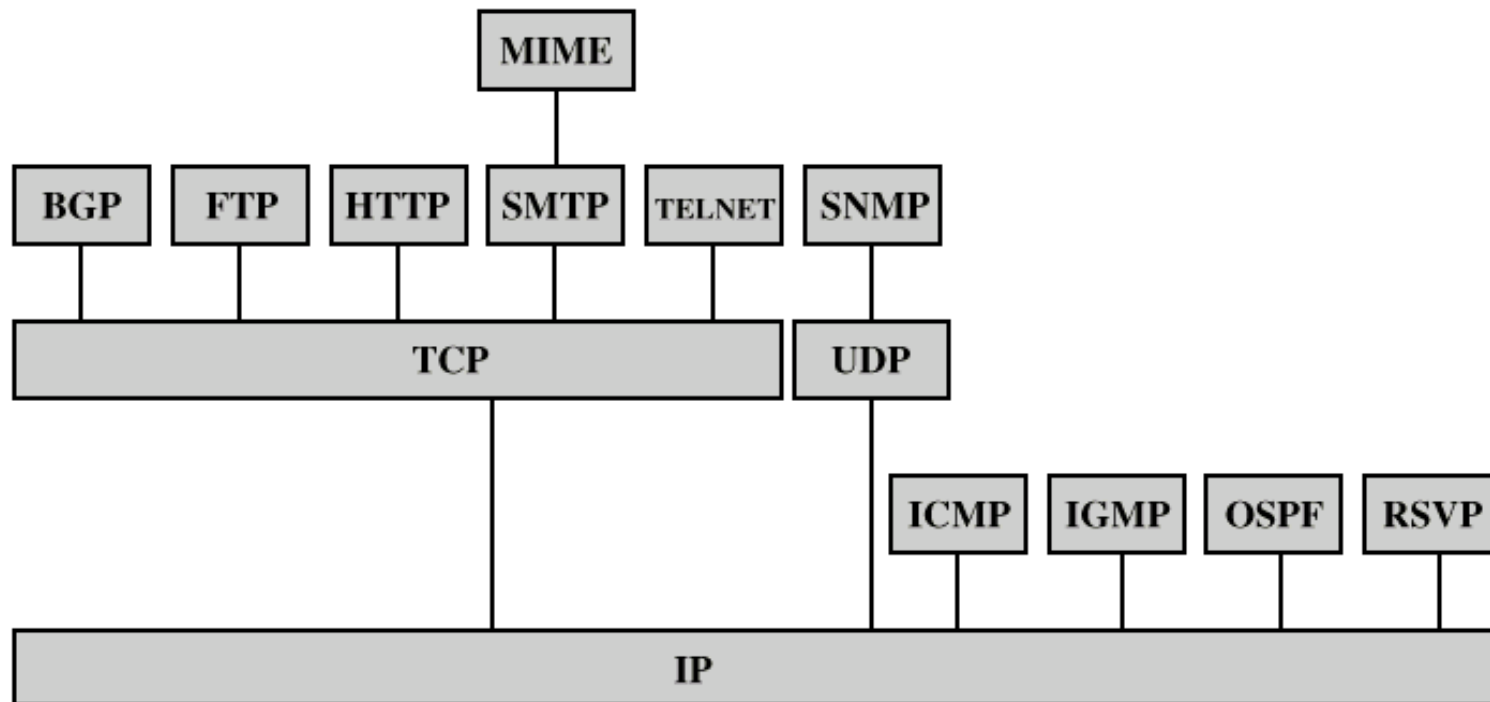
Capa de transporte

Aplicaciones con datagramas UDP



Protocolos TCP/IP

Jerarquía de protocolos de la pila TCP/IP



BGP = Border Gateway Protocol
FTP = File Transfer Protocol
HTTP = Hypertext Transfer Protocol
ICMP = Internet Control Message Protocol
IGMP = Internet Group Management Protocol
IP = Internet Protocol
MIME = Multi-Purpose Internet Mail Extension

OSPF = Open Shortest Path First
RSVP = Resource ReSerVation Protocol
SMTP = Simple Mail Transfer Protocol
SNMP = Simple Network Management Protocol
TCP = Transmission Control Protocol
UDP = User Datagram Protocol