



Capa de Red

- Definición
- Conmutación de paquetes
- Servicio no orientado a la conexión
- Servicio orientado a la conexión
- Algoritmos de enrutamiento
- Enrutamiento para sistemas móviles
- Algoritmos de control de congestión
- Calidad de servicio
- Conectividad
- Capa de red para Internet: IP
- IPv6



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Definición:**
 - Capa encargada de llevar los paquetes desde el origen hasta el destino, atravesando enrutadores intermedios
 - A diferencia de la capa de enlace de datos que únicamente mueve tramas de un extremo del cable a otro
 - Necesita conocer la topología de la subred de comunicación
 - Elige las rutas en función de la carga
 - Soluciona problemas de interconexión entre redes diferentes (distinto origen y destino)



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Conmutación de paquetes:**
 - Servicios proporcionados a la capa de transporte
 - Servicios independientes de la tecnología del enrutador
 - La capa de transporte está aislada de la cantidad, tipo y topología de los enrutadores
 - Las direcciones de red disponibles para la capa de transporte siguen una numeración uniforme
 - La capa de red puede implementarse como un servicio orientado o no a la conexión



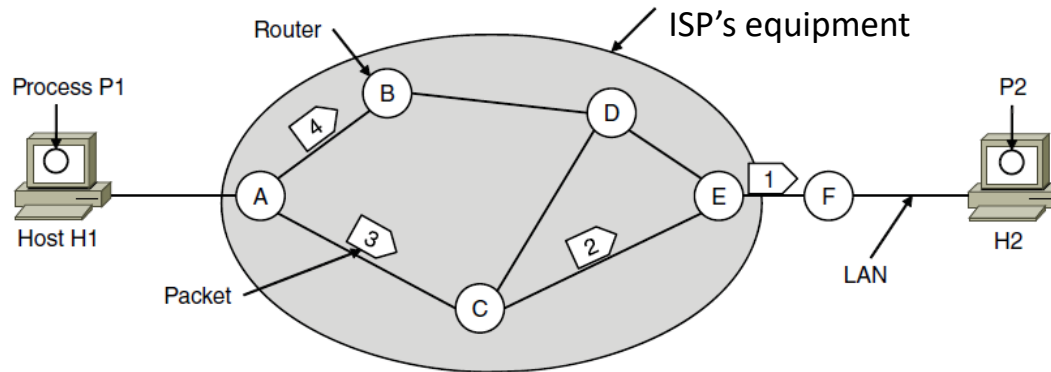
Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Servicio no orientado a la conexión:**
 - Los paquetes se enrutan de manera independiente, y pasan a denominarse datagramas
 - Los enrutadores tienen una tabla interna que le indica a dónde enviar los paquetes con cada destino posible
 - Cada entrada de la tabla es un par que consiste en un destino y la línea de salida que se utilizará para llegar a ese destino
 - Como línea de salida únicamente pueden aparecer líneas conectadas directamente
 - Los algoritmos de enrutamiento son los encargados de gestionar estas tablas y tomar las correspondientes decisiones



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- Servicio no orientado a la conexión:



A's table (initially)

A	
B	B
C	C
D	B
E	C
F	C

Dest. Line

A's table (later)

A	
B	B
C	C
D	B
E	D
F	D

C's Table

A	A
B	A
C	
D	E
E	E
F	E

E's Table

A	C
B	D
C	C
D	D
E	
F	F



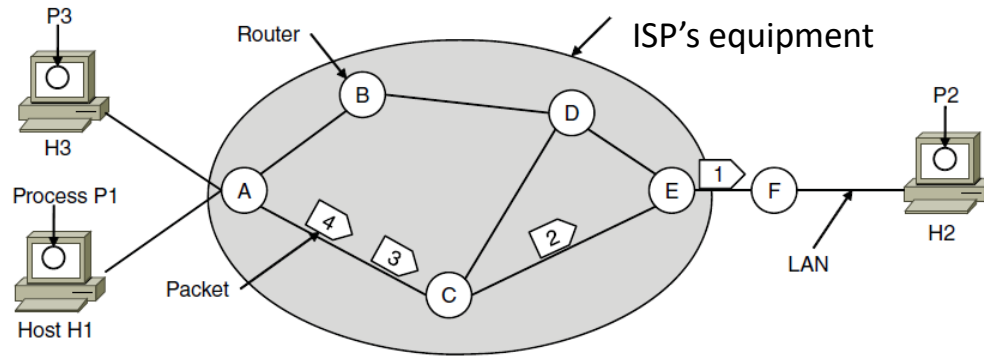
Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Servicio orientado a la conexión:**
 - Se establece una ruta de origen a destino denominada circuito virtual (CV)
 - Evita que para cada envío de paquetes sea necesario elegir una ruta nueva
 - Cuando se establece una conexión se elige una ruta de la máquina origen a la de destino como parte de la configuración de conexión y almacena en tablas dentro de los enrutadores
 - Cuando se libera la conexión termina el circuito virtual
 - Cada paquete incluye un identificador que indica cuál es el circuito virtual al que pertenece



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- Servicio orientado a la conexión:



A's table

H1	1	C	1
H3	1	C	2

In Out

C's Table

A	1	E	1
A	2	E	2

E's Table

C	1	F	1
C	2	F	2



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

Asunto	Datagramas	Circuitos Virtuales
Configuración del circuito	No necesaria	Obligatoria
Direccionamiento	Cada paquete contiene dirección origen y destino	Cada paquete tiene un número de circuito virtual
Información del estado	No contienen información del estado de las conexiones	Cada circuito virtual necesita un espacio en memoria para la tabla del enrutador
Enrutamiento	Cada paquete es independiente	Todos los paquetes siguen el mismo circuito virtual
Caída de un enrutador	Sólo se pierden los paquetes perdidos durante la caída	Finalizan todos los circuitos virtuales que pasaban por el enrutador
QoS y congestión	Difícil	Fácil si se asignan suficientes recursos para cada circuito virtual



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Algoritmos de enrutamiento:**
 - Parte de la capa de red que se encarga de decidir la línea de salida por la que se transmitirá el paquete de la entrada
 - Para datagramas la decisión se toma cada vez que llega un paquete de datos
 - Para circuitos virtuales la decisión se toma cuando al inicio se establece el circuito virtual, después se sigue el enrutamiento de sesión (circuito virtual predeterminado)
 - Algoritmos no adaptativos: basan sus decisiones de enrutamiento en mediciones o estimación del tráfico y la topología actuales. La decisión de qué ruta se usará se toma por adelantado
 - Algoritmos adaptativos: sus decisiones de enrutamiento reflejan los cambios en la topología y en el tráfico (tiene diferentes métricas de optimización)



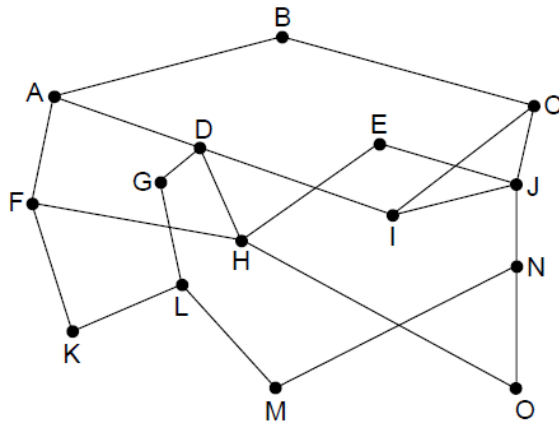
Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Algoritmos de enrutamiento:**
 - Principio de optimización: Si un enrutador J está en la ruta óptima del enrutador I al K , entonces la ruta óptima de J a K también está en la misma ruta
 - Como consecuencia se podrá ver que el grupo de rutas óptimas de todos los orígenes a un destino forman un árbol con raíz en el destino, denominado árbol sumidero
 - El árbol sumidero no es necesariamente único, pueden existir varios árboles con las mismas longitudes, el objetivo es encontrar uno y utilizarlo en los enrutadores
 - Al tratarse de un árbol no contiene ciclos por lo que se asegura que el número de saltos máximo es finito y limitado

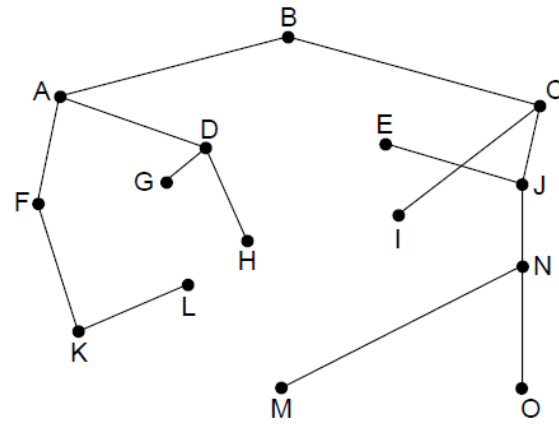


Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- Algoritmos de enrutamiento:
 - Árbol sumidero:



Network



Sink tree of best paths to router B



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Algoritmos de enrutamiento:**
 - Enrutamiento por la ruta más corta:
 - La longitud de la ruta puede medirse con:
 - El número de saltos
 - La distancia geográfica en kilómetros
 - El retardo medio de encolamiento y transmisión del paquete
 - El ancho de banda
 - El tráfico medio
 - Etc.
 - En general se establece una etiqueta de arco que puede calcularse en función de cualquiera de estos factores o una combinación ponderada de ellos



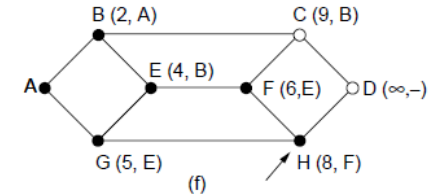
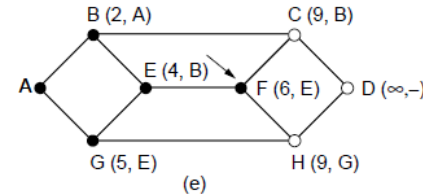
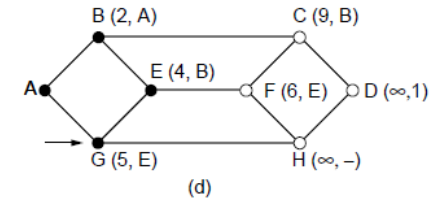
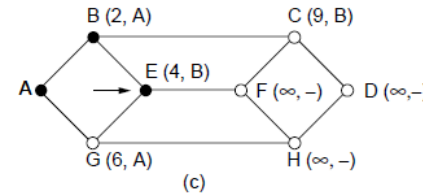
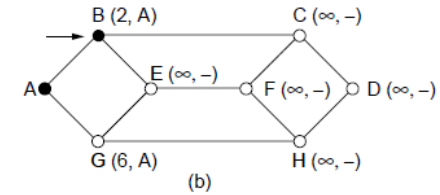
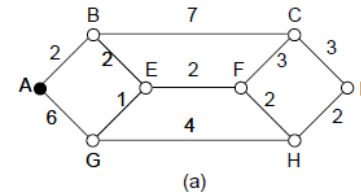
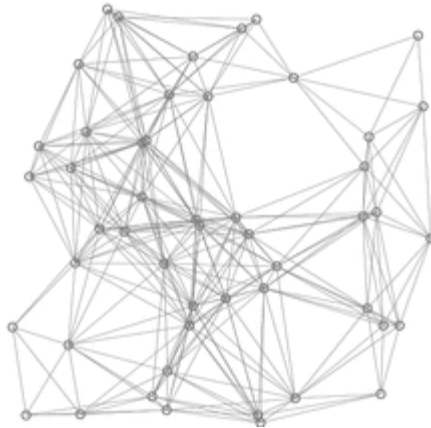
Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Algoritmos de enrutamiento:**
 - Enrutamiento por la ruta más corta:
 - Dijkstra calcula la ruta más corta entre dos nodos de un grafo
 - Inicialmente todos los nodos tienen una etiqueta de infinito porque desconocen las rutas entre nodos
 - Una etiqueta se puede modificar de forma tentativa o permanente
 - Inicialmente todas las etiquetas son tentativas
 - Cuando se descubre la etiqueta con la ruta más corta posible se convierte en una etiqueta permanente y no vuelve a actualizarse



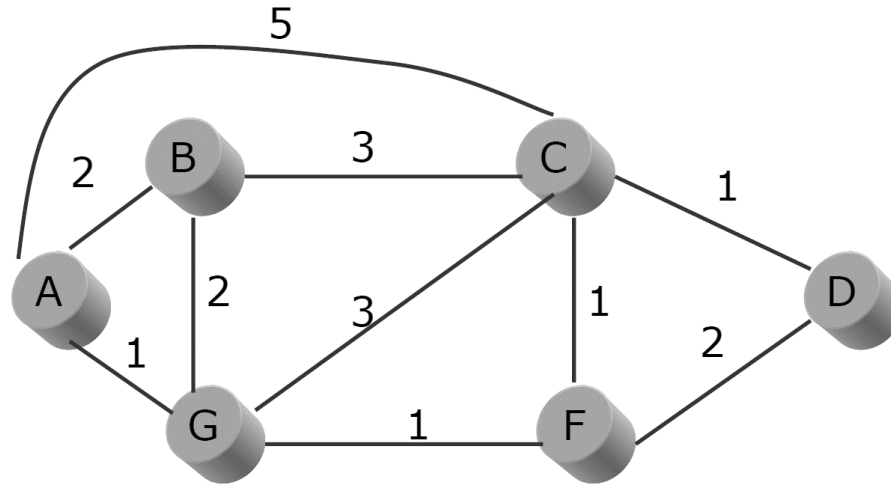
Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- Algoritmos de enrutamiento:
 - Enrutamiento por la ruta más corta:



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- Algoritmos de enrutamiento:
 - Enrutamiento por la ruta más corta:



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Algoritmos de enrutamiento:**
 - Enrutamiento por la ruta más corta:
 - Inundación: cada paquete de entrada se envía por cada línea de salida excepto por la que llegó
 - Genera una cantidad infinita de paquetes duplicados
 - Para evitarlo se incluye un contador con la dimensión de la subred en número de saltos. El contador se decrementa con cada salto hasta alcanzar el cero
 - Una técnica alternativa es llevar un registro del número de paquetes para evitar que un enrutador retransmita un paquete más de dos veces
 - Cada enrutador necesita una lista por cada enrutador origen que indique los número de secuencia originados en ese enrutador



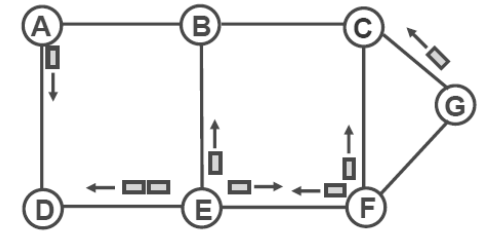
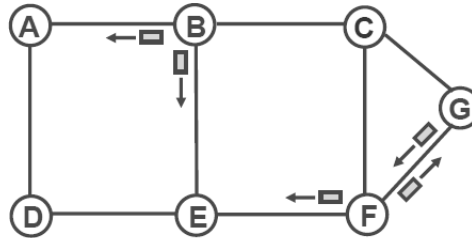
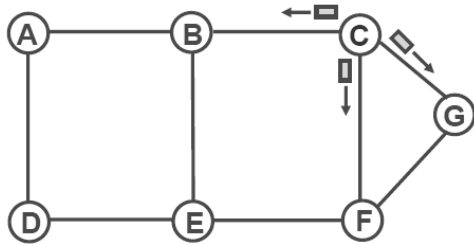
Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Algoritmos de enrutamiento:**
 - Enrutamiento por la ruta más corta:
 - Inundación: cada paquete de entrada se envía por cada línea de salida excepto por la que llegó
 - La inundación genera siempre el retardo más corto
 - Inundación selectiva: los enrutadores no envían cada paquete de entrada por las líneas, sólo por aquellas que van aproximadamente en la dirección correcta
 - La inundación no suele ser práctica en la mayoría de aplicaciones ya que introduce demasiado tráfico, pero tiene algunos usos en entornos militares



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- Algoritmos de enrutamiento:
 - Enrutamiento por la ruta más corta:
 - Inundación



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Algoritmos de enrutamiento:**
 - Enrutamiento por vector de distancia/ Bellman-Ford/ Ford-Fulkerson:
 - Cada enrutador mantiene una tabla/vector que proporciona la mejor distancia conocida a cada destino y la línea que se puede usar para llegar ahí
 - Las tablas se actualizan intercambiando información con los nodos vecinos
 - Cada enrutador mantiene una tabla de enrutamiento indizada por enrutador de subred
 - Las entradas de las tablas contienen dos partes: la línea preferida de salida y la estimación del tiempo o distancia a destino. La métrica para la distancia es cualquier de las anteriores



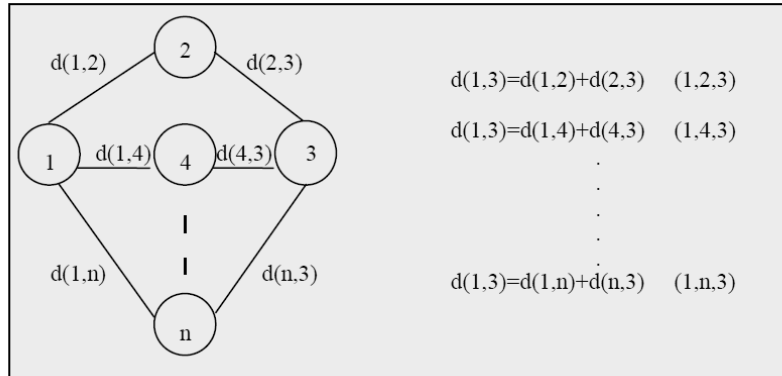
Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Algoritmos de enrutamiento:**
 - Enrutamiento por vector de distancia/ Bellman-Ford/ Ford-Fulkerson:
 - Cada enrutador mantiene una tabla/vector que proporciona la mejor distancia conocida a cada destino y la línea que se puede usar para llegar ahí
 - Se supone que el enrutador conoce la distancia a cada uno de sus vecinos
 - Recibe una lista parecida de cada vecino



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- Algoritmos de enrutamiento:
 - Enrutamiento por vector de distancia/ Bellman-Ford/ Ford-Fulkerson:



$D(1,3) = \text{mínimo de}$

$\{ d(1,4) + D(4,3);$
 $d(1,2) + D(2,3);$
...
 $d(1,n) + D(n,3) \}$

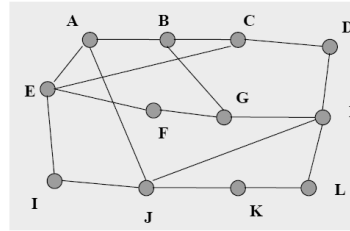


Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- Algoritmos de enrutamiento:
 - Enrutamiento por vector de distancia/ Bellman-Ford/ Ford-Fulkerson:

	A	I	H	K
0	24	20	21	
12	36	31	28	
25	18	19	36	
40	27	8	24	
14	7	30	22	
23	20	19	40	
18	31	6	31	
17	20	0	19	
21	0	14	22	
9	11	7	10	
24	22	22	0	
29	33	9	9	

	A	I	H	K
Retardo JA=8				
Retardo JI=10				
Retardo JH=12				
Retardo JK=6				



$$\begin{aligned}
 D(J,B) &= \min \{d(J,A)+D(A,B); \\
 &\quad d(J,I) + D(I,B); \\
 &\quad d(J,H) + D(H,B); \\
 &\quad d(J,K) + D(K,B)\} \\
 &= \min \{8+12; \quad (A) \\
 &\quad 10+36; \quad (I) \\
 &\quad 12+31; \quad (H) \\
 &\quad 6+28\} = \quad (K) \\
 &= 20 \text{ por A}
 \end{aligned}$$

A	8	A
B	20	A
C	28	I
D	20	H
E	17	I
F	30	I
G	18	H
H	12	H
I	10	I
J	0	-
K	6	K
L	15	K

↑ Destino ↑ Línea de Salida



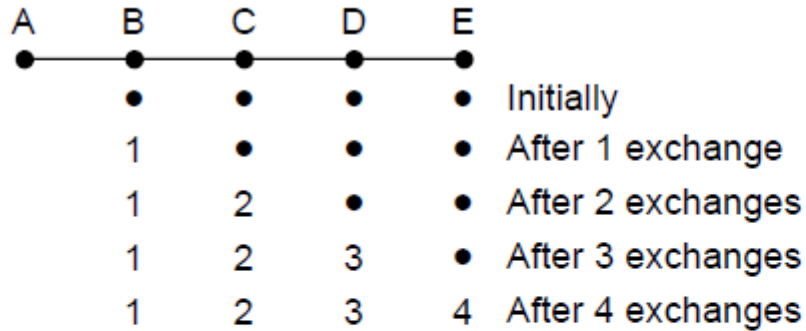
Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Algoritmos de enrutamiento:**
 - Problema de la cuenta hasta infinito
 - El enrutamiento por vector distancia tiene un problema en la práctica, su lentitud ya que para rutas largas la información tardará más en llegar, en especial si se destruye un enlace entre dos nodos
 - La notificación de que un nodo se ha caído podría tardar un tiempo infinito, este problema se denomina cuenta hasta el infinito
 - Se intentó resolver con un límite superior, pero no acaba funcionando correctamente

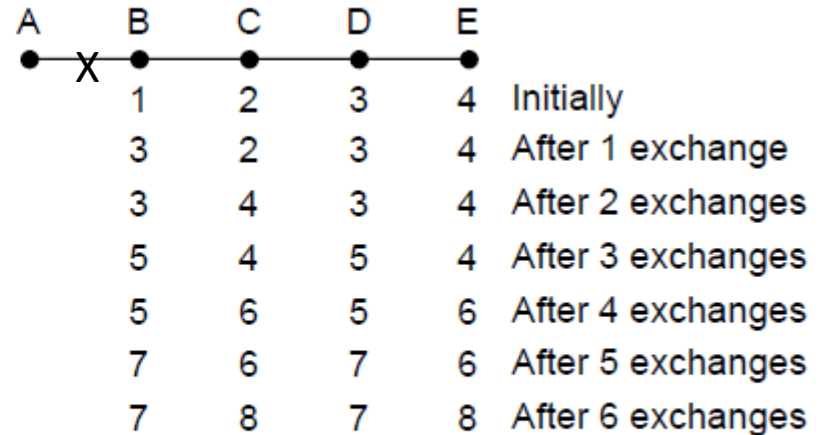


Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- Algoritmos de enrutamiento:
 - Problema de la cuenta hasta infinito



Good news of a path to A spreads quickly



Bad news of no path to A is learned slowly



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Algoritmos de enrutamiento:**
 - Enrutamiento por estado del enlace
 - Cada enrutador debe
 - Descubrir a sus vecinos y conocer sus direcciones de red
 - Medir el retardo o costo para cada uno de sus vecinos (Experimentalmente)
 - Construir un paquete que indique todo lo que acaba de aprender
 - Enviar este paquete a todos los demás enrutadores
 - Calcular la ruta más corta a todos los demás enrutadores
 - Se utiliza el algoritmo Dijkstra para encontrar la ruta más corta a los demás enrutadores



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Algoritmos de enrutamiento:**
 - Enrutamiento por estado del enlace
 - Descubrir a sus vecinos y conocer sus direcciones de red
 - Se lanza un paquete HELLO a cada línea conectada
 - Se espera a que llegue una respuesta indicando qué nodo es (nombres globalmente únicos)
 - Si existe otra LAN conectada, dicha LAN se considera como otro nodo, se define un nodo artificial



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Algoritmos de enrutamiento:**
 - Enrutamiento por estado del enlace
 - Medir el retardo o costo para cada uno de sus vecinos (Experimentalmente)
 - Se calcula el retardo mediante un paquete especial ECHO
 - Midiendo el tiempo de ida y vuelta del paquete se puede aproximar el tiempo de propagación (se pueden promediar varias mediciones)
 - Es una aproximación que asume que el retardo es simétrico
 - Es recomendable que el paquete ECHO no introduzca sobrecargas en el sistema, aunque esto hará que no se disponga de una medida fiable del tráfico real de las líneas, evitará problemas de saturación



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Algoritmos de enrutamiento:**
 - Enrutamiento por estado del enlace
 - Construir un paquete que indique todo lo que acaba de aprender
 - Incluye la identidad del emisor
 - Número de secuencia
 - Edad del paquete
 - Listado de vecinos y retardos
 - Los paquetes se construirán de manera periódica, es decir, a intervalos regulares o cuando ocurran eventos significativos como caída de nodos o reactivación de otros



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Algoritmos de enrutamiento:**
 - Enrutamiento por estado del enlace
 - Enviar este paquete a todos los demás enrutadores
 - La parte más compleja del algoritmo es la distribución fiable de los paquetes
 - Los enrutadores que reciban los paquetes cambiarán sus rutas
 - Distintos enrutadores podrían estar usando diferentes versiones de la topología
 - Se podrían generar inconsistencias, ciclos, máquinas no alcanzables, etc.
 - Los enrutadores llevan el registro de todos los pares (origen, destino) que ven
 - Cuando llega un paquete se verifica si es nuevo. En caso afirmativo, se reenvía a través de todas las líneas.



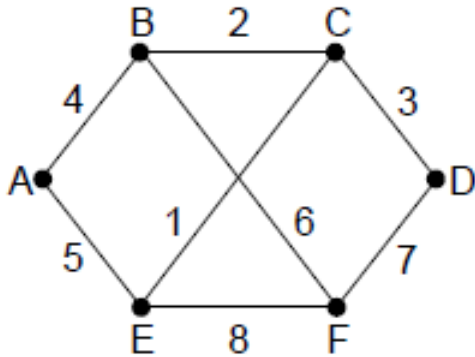
Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Algoritmos de enrutamiento:**
 - Enrutamiento por estado del enlace
 - Enviar este paquete a todos los demás enrutadores
 - Si se duplica se descarta
 - Si llega un paquete con un número de secuencia menor que el mayor visto se rechaza como obsoleto debido a que el enrutador tiene datos más recientes



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- Algoritmos de enrutamiento:
 - Enrutamiento por estado del enlace



	Link	State	Packets		
A	B	C	D	E	F
Seq.	Seq.	Seq.	Seq.	Seq.	Seq.
Age	Age	Age	Age	Age	Age
B 4	A 4	B 2	C 3	A 5	B 6
E 5	C 2	D 3	F 7	C 1	D 7
	F 6	E 1		F 8	E 8



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- Algoritmos de enrutamiento:
 - Enrutamiento por estado del enlace
 - Cálculo de la ruta más corta a todos los demás enrutadores
 - Se ejecuta el algoritmo de Dijkstra para calcular la ruta más corta a todos los destinos posibles
 - Para una subred con n enrutadores y k nodos vecinos la memoria será proporcional a kn
 - Si los enrutadores no están bien dimensionados, la falta de memoria puede genera problemas en los algoritmos de enrutamiento



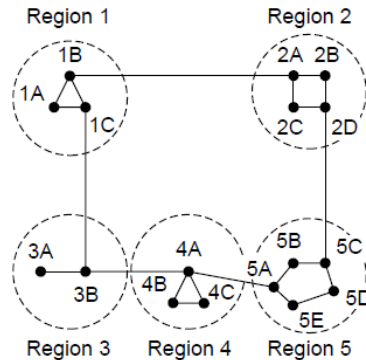
Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Algoritmos de enrutamiento:**
 - Enrutamiento jerárquico
 - Con redes de mayor tamaño el espacio en memoria, el tiempo de procesado y el ancho de banda para gestionar los paquetes es mucho mayor
 - Para dichas redes se definen regiones, donde cada enrutador conoce los detalles para enrutar los paquetes destino dentro de su propia región, por desconoce el resto de regiones
 - Dentro de cada región se pueden aplicar subregiones y de esta manera conseguir redes multinivel con una determinada jerarquía
 - El principal problema de este sistema es que en ocasiones no se utilizarán las rutas óptimas por desconocimiento del resto de regiones



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- Algoritmos de enrutamiento:
 - Enrutamiento jerárquico



Full table for 1A

Dest.	Line	Hops
1A	-	-
1B	1B	1
1C	1C	1
2A	1B	2
2B	1B	3
2C	1B	3
2D	1B	4
3A	1C	3
3B	1C	2
4A	1C	3
4B	1C	4
4C	1C	4
5A	1C	4
5B	1C	5
5C	1B	5
5D	1C	6
5E	1C	5

Hierarchical table for 1A

Dest.	Line	Hops
1A	-	-
1B	1B	1
1C	1C	1
2	1B	2
3	1C	2
4	1C	3
5	1C	4



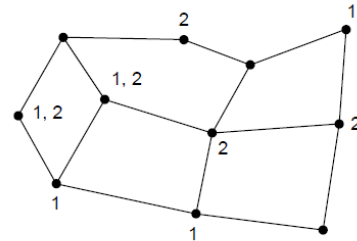
Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Algoritmos de enrutamiento:**
 - Enrutamiento por difusión
 - Difusión por inundación (visto anteriormente)
 - Difusión por enrutamiento multidestino:
 - Cada paquete contiene una lista de destinos deseados
 - Se calculan las líneas de salida necesarias para alcanzar el destino
 - Se realizan tantas copias del paquete como líneas de salida sea necesario utilizar
 - Difusión por árbol de expansión:
 - Cada enrutador sabe cuáles son sus líneas del árbol de expansión (información no siempre disponible en el router)
 - Difunde el paquete por todas las líneas excepto por aquella que llegó

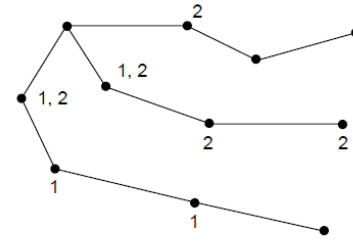


Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

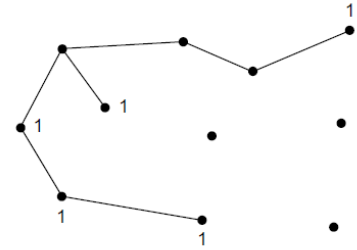
- Algoritmos de enrutamiento:
 - Enrutamiento por difusión



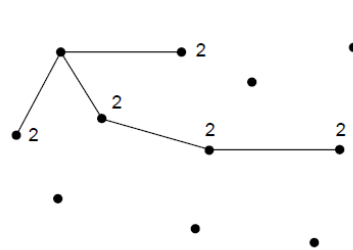
(a) Red



(b) Difusión por árbol de expansión



(c)



(d)

Difusión por enrutamiento multidestino a grupo 1 (c) y a grupo 2 (d)



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Algoritmos de enrutamiento:**
 - Enrutamiento por difusión
 - Difusión por ruta invertida (cuando no se dispone de la información del árbol de expansión)
 - Si el paquete llegó por la línea que se considera óptima para enviar paquetes al nodo origen, se acepta el paquete y se reenvía por el resto de líneas
 - Si el paquete llegó por una línea diferente a la óptima se descarta, asumiendo que es un paquete duplicado



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Algoritmos de enrutamiento:**
 - Enrutamiento por multidifusión: para envío a grupos muy bien definidos
 - Es necesaria la administración de grupos
 - Crear y destruir grupos
 - Cuando un nodo se une al grupo informa al resto de nodos
 - Los enrutadores deben aprender a qué grupos pertenece cada uno de los nodos, pudiendo calcular así un árbol de expansión
 - Una vez calculado el árbol de expansión se utiliza el mismo método que para enrutamiento por difusión
 - Para redes grandes el algoritmo no es eficiente y se sustituye por el algoritmo de árboles de núcleo, en el que existe un nodo núcleo al que se envían todos los paquetes para su posterior difusión
 - El árbol núcleo es el cuello de botella



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Enrutamiento para sistemas móviles:**
 - Tipos de nodos:
 - Host estacionarios: nunca se mueven
 - Host móviles:
 - Host migratorios: estacionarios que se mueven
 - Host ambulantes: realizan el procesado en movimiento
 - Las regiones se dividen en áreas que se asimilan como LANs
 - Agente foráneo: registra a los host móviles
 - Agente base: registra a los host estacionarios



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Enrutamiento para sistemas móviles:**
 - Algoritmo:
 - Cada agente foráneo difunde un paquete con su dirección
 - Si el host móvil recibe el paquete contesta y se registra
 - Si el host móvil no recibe el paquete pregunta mediante difusión por los agente foráneos del área
 - El host móvil se registra con su identificador, información de la capa de enlace de datos e información de seguridad
 - El agente foráneo contacta con el agente base del host registrado y le comunica que está en un área nueva
 - El agente base comprueba la información del agente foráneo y envía la confirmación
 - El agente foráneo actualiza sus tablas e informa al host móvil de su correcto registro



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Enrutamiento para sistemas móviles:**
 - ¿Qué ocurre si los enrutadores/agentes también se mueven?
 - Escenarios:
 - Flota de barcos
 - Conflictos bélicos
 - Unidades de emergencia en desastres naturales
 - Diseño de otro tipo de redes ad hoc



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Enrutamiento para sistemas móviles:**
 - Impacto en las capas superiores:
 - Cuando se pierde información, las capas superiores no pueden distinguir si es por tener un mal canal (sistemas móviles) o es por problemas de congestión, lo que requeriría aplicar algoritmos para gestionar la congestión
 - Los sistemas móviles requieren asegurar la calidad del canal mediante sistemas de detección y corrección de errores más sofisticados que los sistemas cableados
 - Debido al ancho de banda limitado, es conveniente informar a la capa de aplicación para que los documentos a descargar tengan otros formatos de compresión diferentes adaptándose a las características de los sistemas móviles, con el fin de no saturar la red



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Enrutamiento para sistemas peer to peer:**
 - Sistemas totalmente distribuidos sin control ni jerarquía
 - Cada nodo tiene una dirección IP que puede generar un código de m bits mediante una función de *hash* (p.e. SHA)
 - Este código es aparentemente aleatorio y se utiliza como identificador de nodo
 - Al nombre del contenido que se desea compartir en la red también se le aplica una función de *hash* para genera una clave
 - La dirección y la clave del contenido, encriptadas se distribuye por los nodos del sistema de manera aleatoria
 - Si un nodo busca un contenido, aplica la función *hash* al nombre y busca la clave
 - Para buscar la dirección IP, cada nodo almacena una cantidad de direcciones de nodos cercanos para reducir la complejidad de la búsqueda



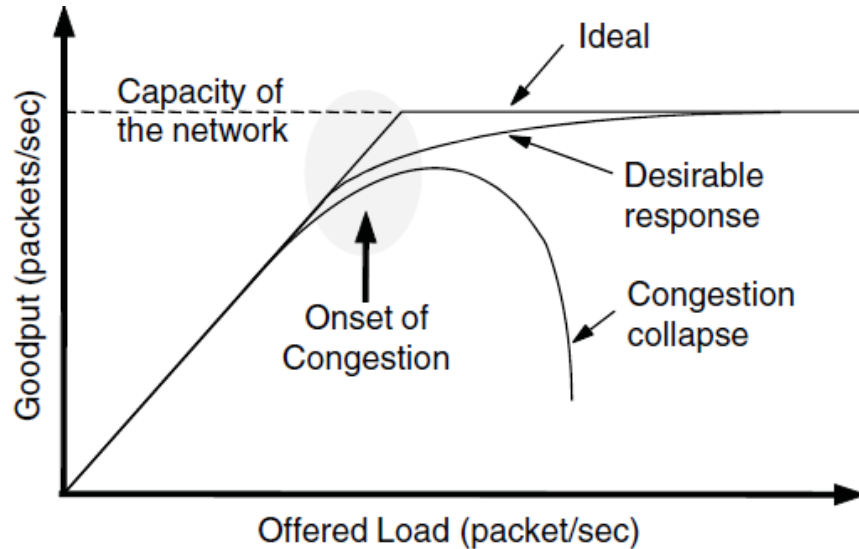
Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Algoritmos de control de congestión:**
 - Congestión: degradación del rendimiento de la red
 - Motivos para la congestión:
 - Varias líneas de entrada quieren enviar los paquetes por la misma salida
 - Los procesadores son muy lentos y tardan demasiado en gestionar las tablas de enrutamiento
 - El ancho de banda limitado
 - Es importante con confundir la congestión con el control de flujo
 - El control de flujo controla el tráfico punto a punto, es decir, entre dos nodos
 - La congestión gestiona un problema global, en el que intervienen múltiples nodos



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- Algoritmos de control de congestión:
 - Congestión



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- Algoritmos de control de congestión:
 - Principio generales
 - Ciclo abierto: diseñar la red para asegurar que no habrá congestión
 - Se decide cuando se acepta, descarta o calendarizan los puntos de la red con independencia del estado actual de la red
 - Ciclo cerrado: se fundamenta en el concepto de realimentación
 - Monitorización del sistema para detectar cuándo y dónde se congestiona
 - Porcentaje de paquetes descartados
 - Longitud de colas
 - Promedio de retransmisiones
 - Etc.
 - Envío de la información a los puntos que puedan resolverlos
 - Ajuste de la operación para corregir el sistema



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- Algoritmos de control de congestión:
 - Políticas de prevención (ciclo abierto)
 - Enlace de datos: retransmisiones (timeout muy corto), confirmación de recepción (un ack por mensaje y no varios ack combinados), control de flujo
 - Red: datagrama o circuito virtual (algunos algoritmos de congestión sólo funcionan para circuitos virtuales), gestión de colas de entrada y salida, algoritmos de enrutamiento, tiempo de vida de los paquetes



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Algoritmos de control de congestión:**
 - Control de congestión (ciclo cerrado)
 - Control de admisión:
 - Si se detecta una congestión no se establecen más circuitos virtuales hasta que desaparezca el problema
 - Si se detecta una congestión se establecen nuevos circuitos virtuales pero se enrutan por otras líneas
 - Bit de advertencia:
 - El enrutador activa un bit especial en el encabezado del paquete
 - Cuando los nodos detectan ese bit reducen la tasa de transmisión
 - Cuando disminuye la congestión los enrutadores dejan de activar el bit especial
 - Cuando todos están desactivados es que la congestión ha desaparecido



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- Algoritmos de control de congestión:
 - Control de congestión (ciclo cerrado)
 - Paquetes reguladores (método no sutil):
 - Envía un paquete regulador al nodo origen que genera la congestión con el bit de advertencia activo
 - El nodo deberá reducir en un porcentaje determinado el tráfico que genera por un tiempo fijo
 - Pasado dicho tiempo el nodo deberá escuchar la red para comprobar si recibe algún otro paquete regulador
 - En función de la congestión el paquete regulador puede ser:
 - Suave
 - Severo
 - Ultimátum



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Algoritmos de control de congestión:**
 - Control de congestión (ciclo cerrado)
 - Paquetes reguladores salto a salto (para redes geográficamente extensas):
 - Ejerce su efecto con cada salto que da, por lo que puede reducir la congestión antes de que el paquete llegue al origen
 - Desprendimiento de carga: cuando los enrutadores se inundan con paquetes que no pueden manejar, simplemente los tiran
 - Los paquetes descartados pueden ser aleatorios o no
 - Normalmente se descartan los más jóvenes, para evitar el mayor número de retransmisiones
 - La detección de la inundación se gestiona con un flag en los búfers de los enrutadores



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- Algoritmos de control de congestión:
 - Control de fluctuación:
 - Fluctuación: variación en el retardo de los paquetes
 - Para aplicaciones en tiempo real como audio y vídeo que la fluctuación sea constante es crítico
 - Si el paquete está adelantado se retiene en el enrutador
 - Si el paquete está retrasado se le da prioridad para sacarlo del búfer del enrutador
 - Para calcular la fluctuación los retardos se actualizan en los paquetes con cada enrutador que atraviesan



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Calidad de servicio:**
 - Parámetros de la calidad de servicio:
 - Fiabilidad
 - Alta: correo, transferencia de archivos, acceso web, sesión remota
 - Baja: audio y vídeo bajo demanda, telefonía, videoconferencia
 - Retardo
 - Alta: telefonía, videoconferencia
 - Baja: correo, transferencia de archivos, acceso web, sesión remota, audio y vídeo bajo demanda
 - Fluctuación
 - Alta: audio y vídeo bajo demanda, telefonía, videoconferencia
 - Baja: correo electrónico, transferencia de archivos, acceso web
 - Ancho de banda



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Calidad de servicio:**
 - Técnicas para un buen QoS
 - Sobreaprovisionamiento: CPU, espacio en búfer y ancho de banda
 - Almacenamiento en búfer del receptor: para mejorar la fluctuación y adelantar con el búfer paquetes retrasados y retrasar adelantados
 - Modelado del tráfico: consiste en regular la tasa promedio de la transmisión de datos desde el servidor.
 - Existe un acuerdo de nivel de servicio entre el cliente y el servidor para no congestionar la red. El servidor enviará paquetes con una frecuencia aceptada por ambos
 - Algoritmo de cubeta con goteo: sistema de colas con un servidor único y un tiempo de servicio constante. La cubeta sirve para regular el flujo de paquetes recibidos, de manera que independiente de la tasa de recepción, la transmisión tendrá la misma tasa constante



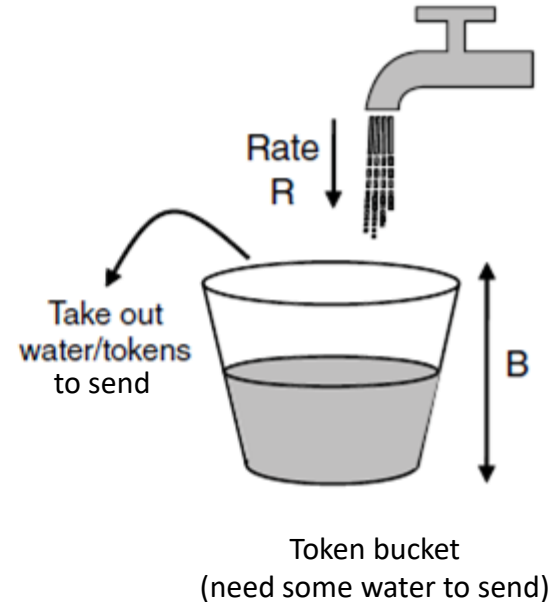
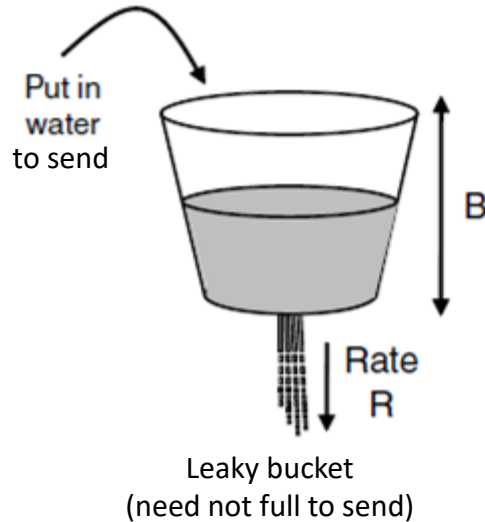
Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Calidad de servicio:**
 - Técnicas para un buen QoS
 - Reserva de recursos:
 - Ancho de banda: evitar sobrecargar las líneas de salida
 - Espacio de búfer: para determinados flujos de paquetes con el objetivo de no compartir espacio en memoria con otras líneas y así no exponerse a que dichos paquetes puedan ser descartados
 - Ciclos de CPU: tiempo de procesamiento necesario para gestionar los paquetes recibidos
 - Control de admisión: se deben fijar los parámetros de especificación de flujo (tamaño máximo de paquete, tamaño mínimo de paquete, tasa máxima de transmisión, tasa de cubeta, etc.)
 - Dichos parámetros no están estandarizados y deben poder ajustarse de manera automática



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Calidad de servicio:**
 - Técnicas para un buen QoS
 - Control de admisión



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Calidad de servicio:**
 - Técnicas para un buen QoS
 - Enrutamiento proporcional: se divide el tráfico en fracciones proporcionales a la capacidad de los enlaces de salida
 - Calendarización de paquetes: los enrutadores tienen colas separadas para cada línea de salida con el fin de asegurar un encolamiento justo y que un determinado flujo no acapare mucha capacidad
 - Si una línea acaba saturándose se busca la siguiente línea libre para poder transmitir el resto de paquetes
 - Si no se desea dar la misma prioridad a todos los nodos se puede ponderar el encolamiento en función del ancho de banda o del número de flujos de entrada existentes



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Conectividad:**
 - Diversidad en las redes:
 - Tipo de modulación
 - Formato de trama
 - Protocolos de enlace de datos
 - Diferente control de flujo
 - Diferente control de errores
 - Medios de transmisión
 - Orientadas a conexión o no
 - Con soporte a multidifusión o no
 - Algoritmos de congestión
 - Etc.



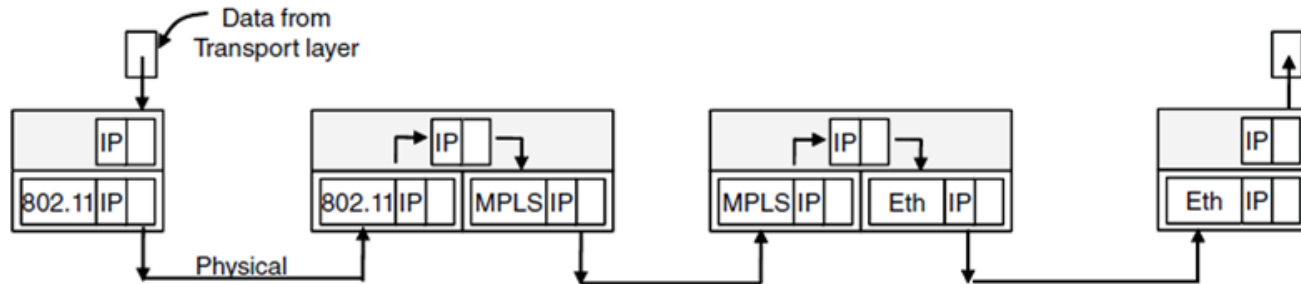
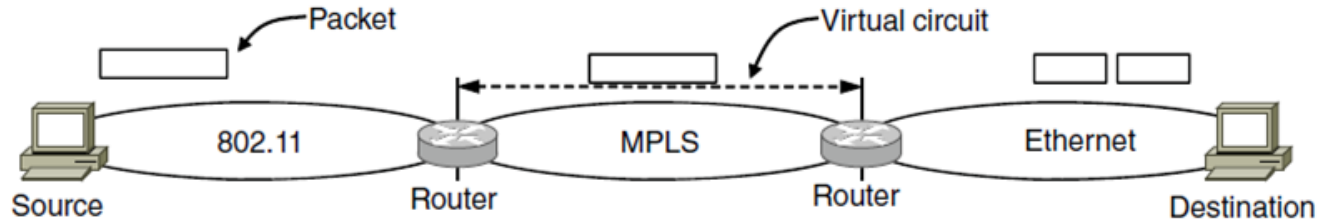
Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Conectividad:**
 - Conexión de redes
 - Capa física: concentradores (entre redes iguales)
 - Capa de enlace de datos: puentes y conmutadores (traducción menor entre protocolos muy parecidos)
 - Capa de red: enrutadores multiprotocolo
 - La diferencia entre conmutadores y enrutadores es que el enrutador extrae la trama y la dirección del paquete para decidir a donde enviarlo (necesita conocer el protocolo de red) y el conmutador sólo necesita interpretar la dirección MAC (no necesitan conocer el protocolo de red)



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Conectividad:**
 - Conexión de redes



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Conectividad:**
 - Circuitos virtuales concatenados:
 - Se establece una conexión con un nodo de una red distante
 - La subred detecta que es un destino remoto y construye el circuito virtual al enrutador más cercano a la red de destino
 - Finalmente construye un circuito virtuales hasta la puerta de enlace externa
 - Cada puerta de enlace retransmite los paquetes de entrada realizando las conversiones entre formatos que sean necesarias
 - Cada puerta de enlace mantiene tablas que indican los circuitos virtuales que las atraviesan
 - Garantiza secuenciación
 - Presenta problemas cuando el destino se basa en datagramas



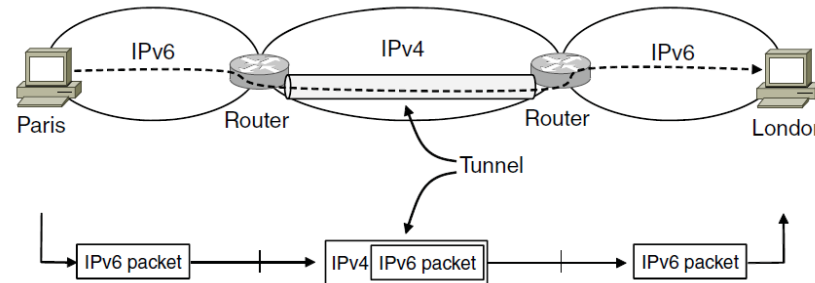
Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Conectividad:**
 - No orientada a la conexión:
 - Se puede rutar el datagrama por caminos diferentes
 - Cada red tiene su propio protocolo
 - No se puede retransmitir un paquete de una red a otra de manera directa
 - Los direccionamientos de red son totalmente diferentes
 - Intentar diseñar un paquete interred universal para que todos los enrutadores lo reconozcan (protocolo IP)



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Conectividad:**
 - Entunelamiento:
 - Cuando el nodo origen y destino están en el mismo tipo de red, pero existen nodos intermedios de otras redes
 - En el primer nodo que sea diferente el enrutador se retira el paquete de la red origen y se inserta dentro de un paquete de la red intermedia para que la recorra hasta el último nodo de la red intermedia donde se extrae la carga útil y se vuelve a encapsular en el protocolo original



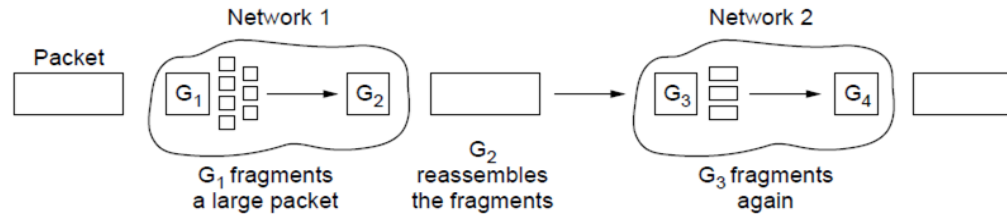
Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Conectividad:**
 - Fragmentación de paquetes: por hardware, sistema operativo, estándares o protocolos, control de congestión, etc.
 - Transparente: se reensambla y ordena en cada puerta de enlace intermedia
 - No transparente: se reensambla y ordena en la puerta de enlace final

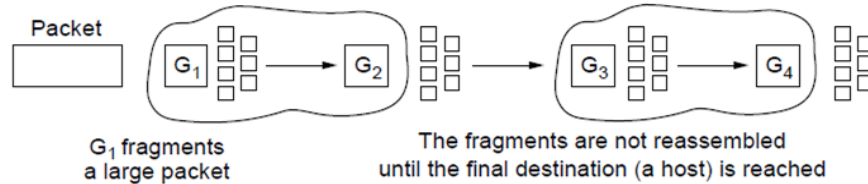


Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Conectividad:**
 - Fragmentación de paquetes
 - Transparente

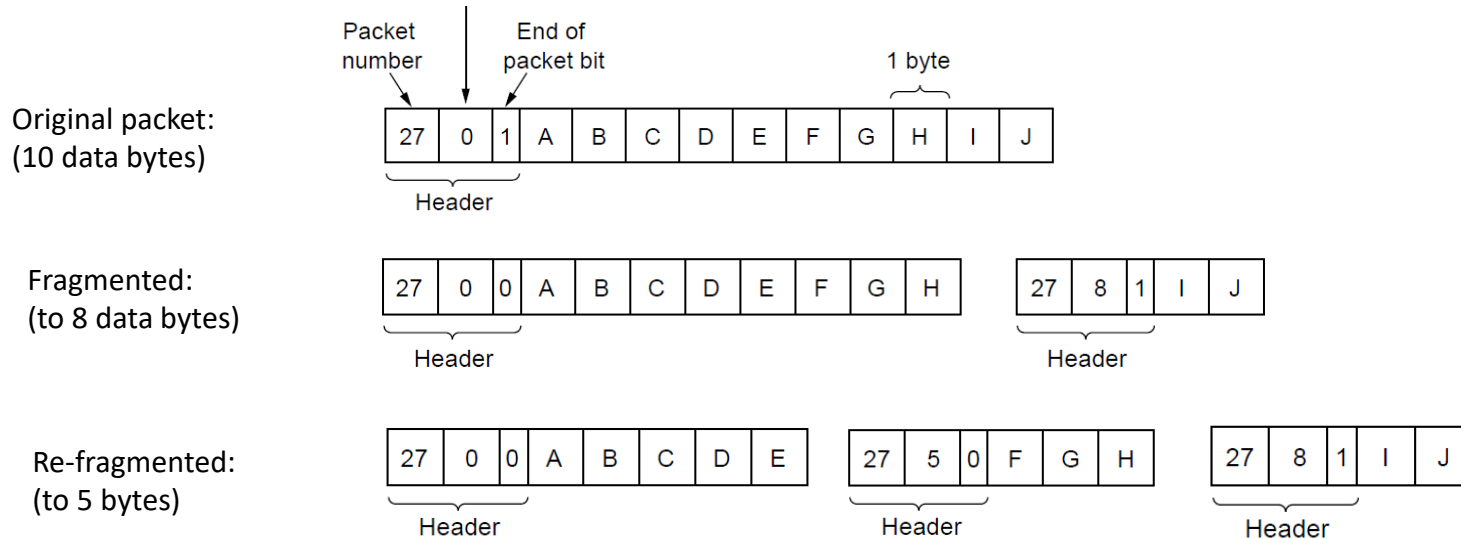


- No transparente



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Conectividad:**
 - Fragmentación de paquetes



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Capa de red para Internet: IP:**
 - Datagrama IP (Protocolo de Internet):
 - Encabezado (20 bytes + una longitud variable). Originalmente es big endian, requiere conversión little endian en otros sistemas
 - Versión del protocolo IP
 - IHL indica la longitud del encabezado, entre 5 y 60 bytes
 - Tipo de servicio: utilizado para fiabilidad y velocidad de los paquetes
 - Longitud total: datos y encabezado
 - Identificación: para determinar a qué datagrama pertenece el fragmento recibido
 - DF: No fragmentar (porque algún nodo no sea capaz de recomponerlo)
 - MF: Más fragmentos
 - Desplazamiento del fragmento: para indicar a qué parte del datagrama pertenece el fragmento



Introducción a las redes de ordenadores:

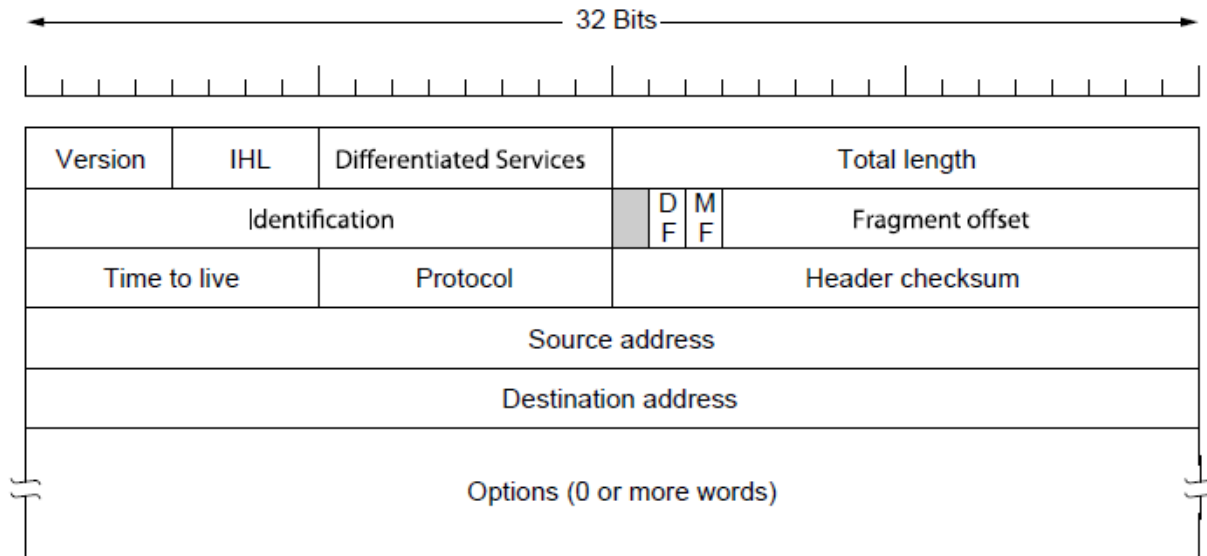
Capa de Red

- **Capa de red para Internet: IP:**
 - Datagrama IP (Protocolo de Internet):
 - Tiempo de vida: evita que el datagrama esté vagando eternamente por la red. Indica el tiempo en segundos
 - Protocolo: especifica el protocolo utilizado en capas superiores (p.e. TCP o UDP)
 - Suma de verificación del encabezado: sólo se comprueba el encabezado ya que es lo necesario para poder enrutar el datagrama. Es importante destacar que esta suma se debe recalcularse con cada salto entre nodos ya que al menos un campo del encabezado variará o se actualizará
 - Dirección origen
 - Dirección destino
 - Opciones: campo que permite extensibilidad. p.e. seguridad, ruta, clk...



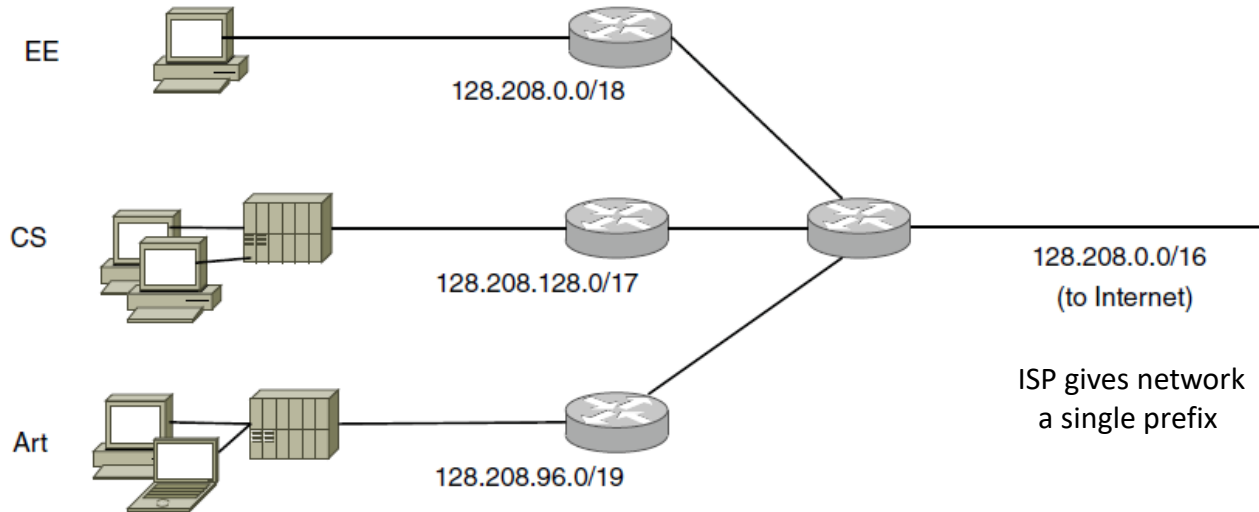
Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- Capa de red para Internet: IP:
 - Datagrama IP (Protocolo de Internet)



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- Capa de red para Internet: IP:



Network divides it into subnets internally



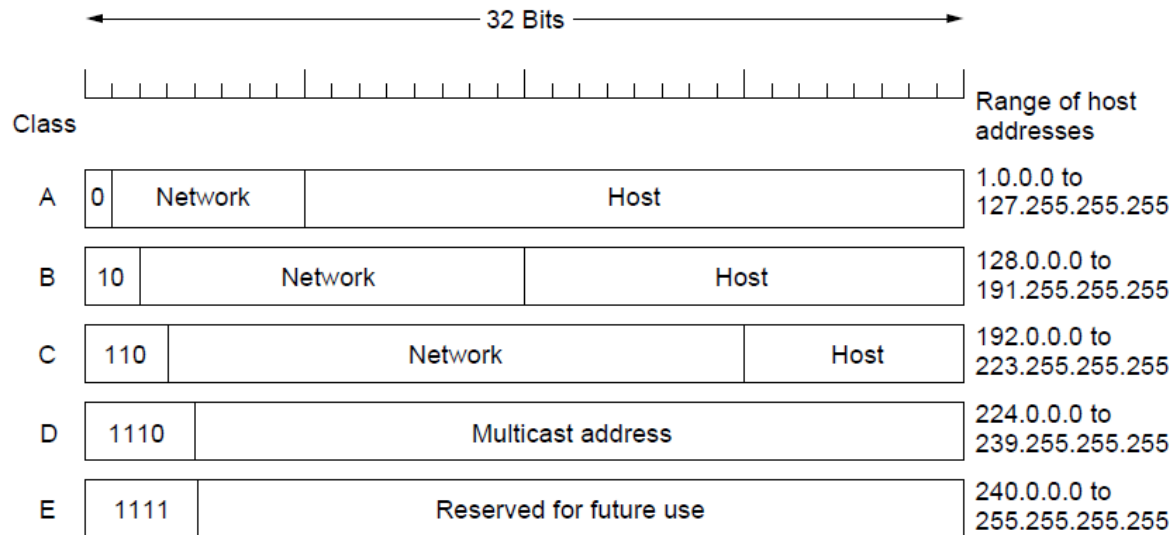
Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Capa de red para Internet: IP:**
 - Direcciones IP: se refiere a una interfaz no a un host. Por este motivo un único host puede tener múltiples direcciones
 - Aunque existen cinco tipos/clases de direccionamiento en la práctica ya no se utilizan
 - Soportan multidifusión
 - Se definen en notación decimal con puntos, están formadas por 32 bits
 - La dirección 0.0.0.0 se utiliza cuando arranca un host
 - Las direcciones IP con 0 como número de red se refieren a la red actual
 - Las direcciones con todo 1s permiten la difusión en la LAN
 - Las direcciones de la forma 127.xx.yy.zz se reservan para pruebas



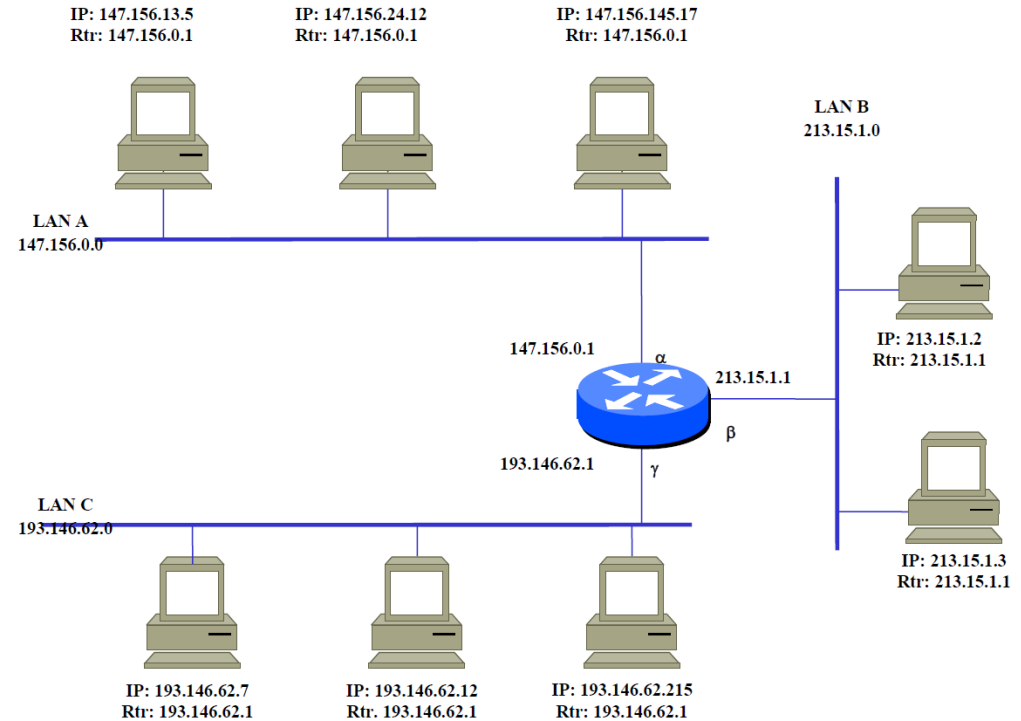
Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- Capa de red para Internet: IP:
 - Direcciones IP



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Capa de red para Internet: IP:**
 - Direcciones IP



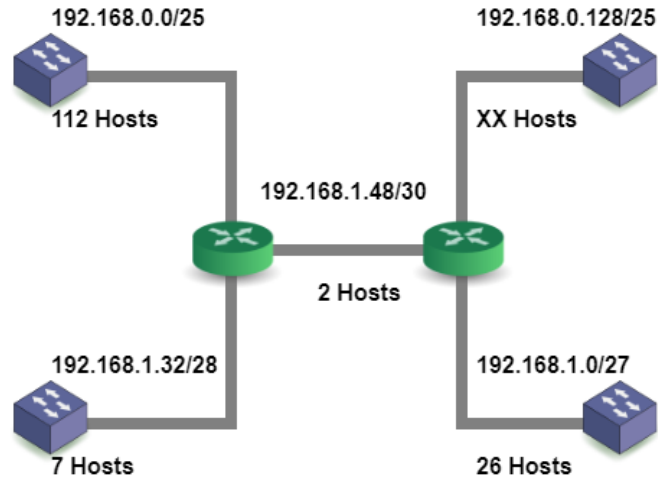
Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Capa de red para Internet: IP:**
 - Direcciones IP
 - ¿Cuál es dirección de broadcast de la red 172.29.152.0 255.255.248.0?
 - ¿Cuál es dirección de broadcast de la red 172.18.26.0/23?
 - ¿Cuál es la última dirección válida de la subred 172.30.67.192 255.255.255.192?
 - ¿Cuál es dirección de broadcast de la red 192.168.44.128 255.255.255.128?
 - ¿Cuál es la última dirección válida de la subred donde está el nodo 172.22.53.199 255.255.252.0?
 - ¿Cuántos equipos puedes incluir en la subred 172.26.0.0 255.255.255.192?
 - ¿Cuál es la última dirección válida de la subred a la que pertenece 172.25.94.175/20?
 - ¿A qué subred pertenece el siguiente nodo 172.18.171.190/23?



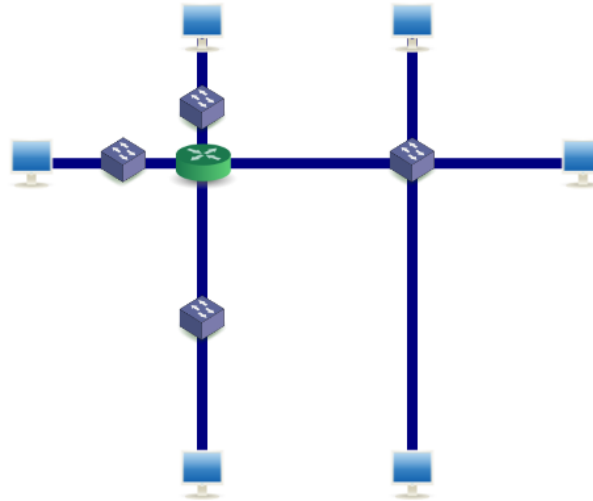
Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Capa de red para Internet: IP:**
 - Direcciones IP
 - ¿Cuántos host pueden utilizarse en XX?



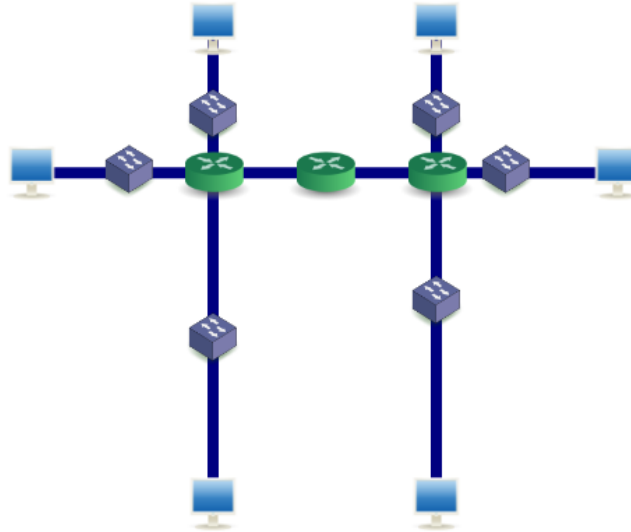
Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Capa de red para Internet: IP:**
 - Direcciones IP
 - ¿Cuántas subredes son necesarias en el siguiente diagrama?



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Capa de red para Internet: IP:**
 - Direcciones IP
 - ¿Cuántas subredes son necesarias en el siguiente diagrama?



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Capa de red para Internet: IP:**
 - Subredes: La red principal está formada por una red dorsal con un enrutador principal al que se conectan el resto de enrutadores de cada una de las subredes
 - Para implementar subredes es necesario una máscara de subred que indica la división entre el número de red y subred y el host
 - Fuera de la red, la subred no es visible por lo que la asignación de una subred nueva no requiere notificación en bases de datos externas
 - Los enrutadores almacenan las direcciones de redes distantes y los host locales, reduciendo el tamaño de las tablas de enrutamiento



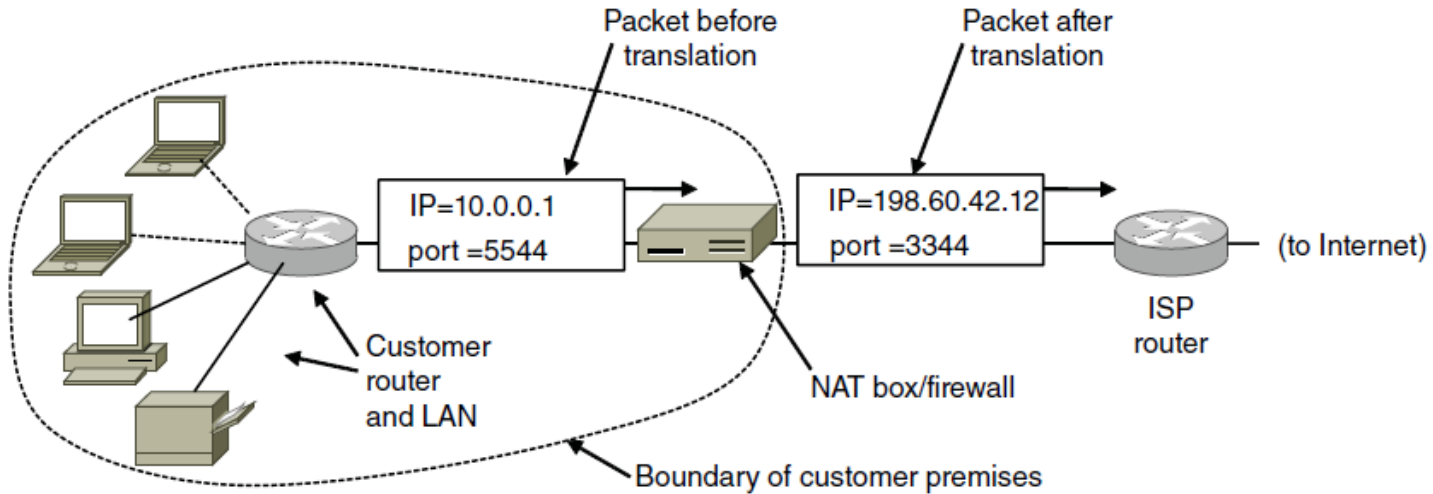
Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Capa de red para Internet: IP:**
 - NAT (Traducción de dirección de red): asigna una sola dirección IP a cada compañía para el tráfico de Internet y dentro de la compañía cada nodo tiene una dirección única utilizada para enrutar tráfico interno. Cuando el tráfico sale al exterior se presenta una traducción de la dirección
 - Para posibilitarlo se reservaron una serie de direcciones que sólo puede aparecer en internet
 - Normalmente el NAT se integra con el Firewall ya que gestiona el tráfico de salida de la compañía
 - Existe un protocolo, Universal Plug and Play (UPnP) que permite a los nodos encontrar y configurar el NAT más cercano de manera automática
 - Tanto el nodo como el NAT deben ser compatibles con el protocolo UPnP
 - El protocolo funciona tanto sobre TCP como sobre UDP



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- Capa de red para Internet: IP:
 - NAT



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Capa de red para Internet: IP:**
 - Protocolos de control en Internet
 - ICMP (Protocolo de mensajes de control en Internet): comunicación entre nodos y router para intercambiar información de la capa de red
 - Los mensajes se apoyan sobre datagramas IP, TCP o UDP
 - Este protocolo se utiliza como base de algunas aplicaciones como ping, traceroute, etc.



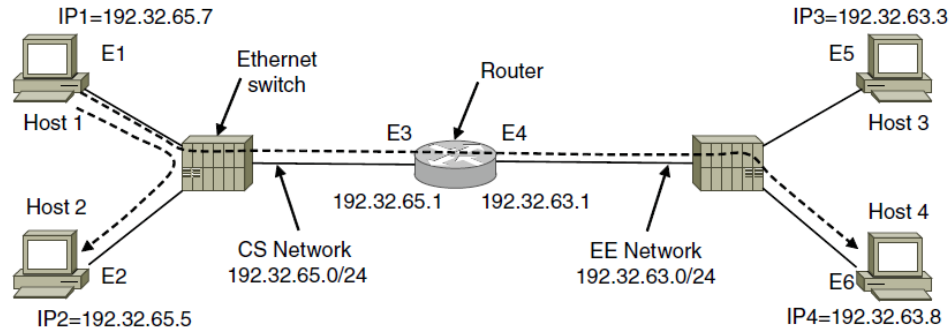
Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Capa de red para Internet: IP:**
 - Protocolos de control en Internet
 - ICMP (Protocolo de mensajes de control en Internet):
 - Destination unreachable
 - Time exceeded
 - Source quench
 - Redirect
 - Echo
 - Timestamp request/reply
 - ARP (Protocolo de resolución de direcciones): correspondencia Ethernet a IP, dada la dirección IP
 - Mediante difusión pregunta la dirección Ethernet del nodo a partir de su IP
 - Guarda el resultado para siguientes consultas



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Capa de red para Internet: IP:**
 - Protocolos de control en Internet
 - ARP (Protocolo de resolución de direcciones)

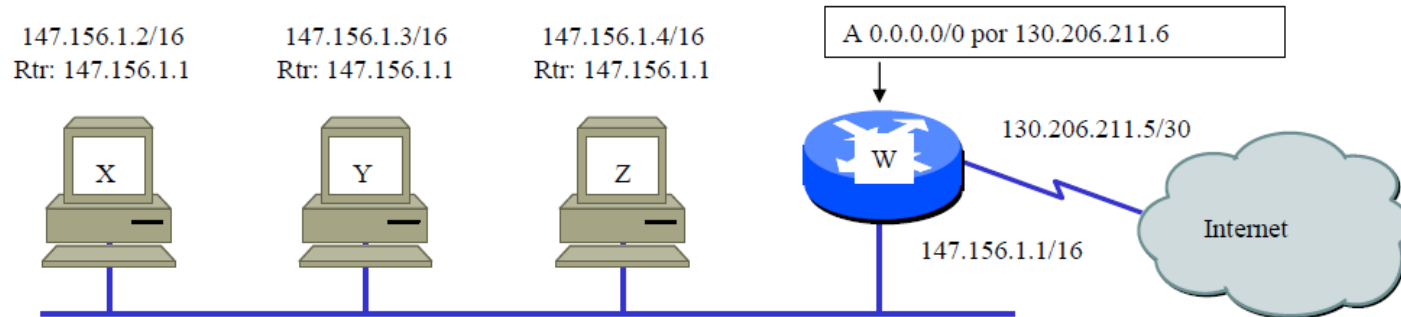


Frame	Source IP	Source Eth.	Destination IP	Destination Eth.
Host 1 to 2, on CS net	IP1	E1	IP2	E2
Host 1 to 4, on CS net	IP1	E1	IP4	E3
Host 1 to 4, on EE net	IP1	E4	IP4	E6



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Capa de red para Internet: IP:**
 - Protocolos de control en Internet
 - ARP (Protocolo de resolución de direcciones)



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Capa de red para Internet: IP:**
 - Protocolos de control en Internet
 - ARP (Protocolo de resolución de direcciones):
 - El enrutador puede configurarse para responder a las solicitudes ARP de la red, proxy ARP
 - El nodo detecta que el tráfico destino es una red remota y envía todos los paquetes a un nodo por defecto
 - RARP (Protocolo de resolución de dirección de retorno): pregunta una dirección IP a partir de una dirección de Ethernet
 - BOOTP: similar a RARP, pero no requiere un servidor centralizado, el problema es que requiere una configuración manual de tablas IP-Ethernet. Un administrador es el que debe dar de alta a cada uno de los nodos. Lo cual puede generar problemas



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Capa de red para Internet: IP:**
 - Protocolos de control en Internet
 - DHCP (Protocolo de configuración de Host dinámico): asigna la dirección IP de manera automática o manual. Reemplaza en la mayoría de sistemas a RARP y BOOTP
 - Dispone de un servidor que asigna direcciones IP a los nodos que las requieren
 - El servidor no necesita estar en la misma LAN
 - Difunde un paquete DHCP discover
 - Un agente DHCP recibe el paquete y lo redirige al servidor DHCP, del cual sólo se conoce la dirección IP
 - Las direcciones se arrendan, si antes que expire el arrendamiento el nodo no renueva, pierde la dirección IP. Con el fin de evitar que se bloqueen las direcciones IP



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Capa de red para Internet: IP:**
 - Protocolos de enrutamiento de puerta de enlace interior
 - Red multiacceso: Es la que puede tener múltiples enrutadores que se pueden comunicar directamente con los demás nodos
 - OSPF (primero la ruta más corta):
 - Dispone de la colección de redes, enrutadores y líneas de grafo (con costo en distancia, retardo, etc.)
 - Calcula la ruta más corta con base a los pesos de los arcos
 - Los pesos en cada dirección deben ser variables diferentes
 - Los nodos multiacceso se representan con dos puntos: uno para la red y otro para el enrutador
 - Una vez elaborado el grafo se busca el camino más corto
 - OSPF divide la red en áreas para simplificar la búsqueda
 - Cada sistema dispone de un área denominada red dorsal



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Capa de red para Internet: IP:**
 - Protocolos de enrutamiento de puerta de enlace interior
 - OSPF (primero la ruta más corta):
 - Una red dorsal se considera cualquier enrutador que conecta dos o más áreas
 - Cada área dispone de su propia base de datos
 - La red dorsal dispone de las bases de datos de todas las áreas que une
 - Existen tres tipos de enrutadores:
 - Internos: dentro de un área
 - De red dorsal
 - Fronterizos: se comunican sólo con otros enrutadores de sistemas autónomos



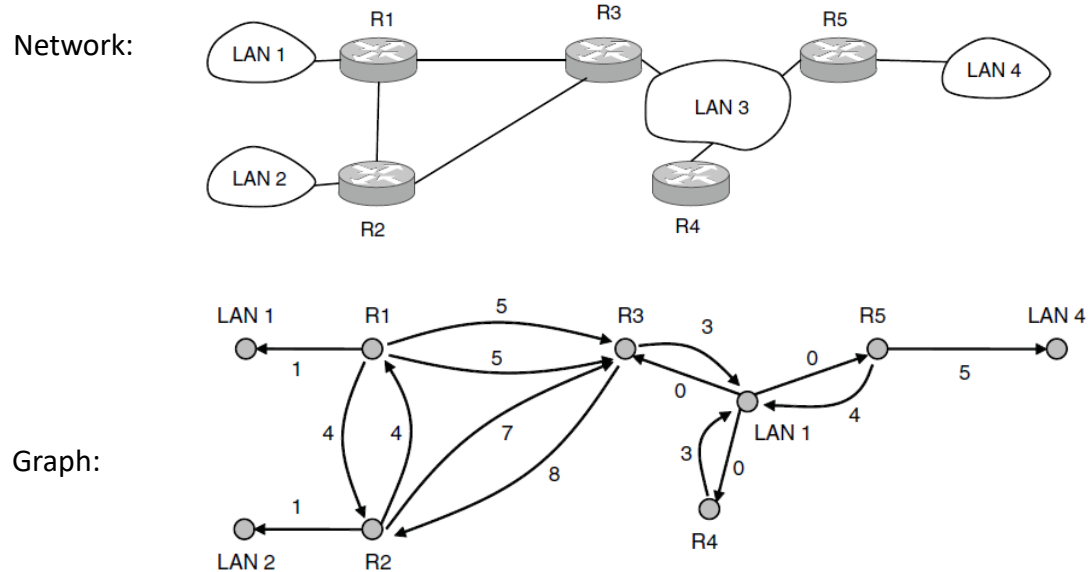
Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Capa de red para Internet: IP:**
 - Protocolos de enrutamiento de puerta de enlace interior
 - OSPF (primero la ruta más corta):
 - Los paquetes que se intercambian realizan las siguientes funciones:
 - Hello: descubre los nodos vecinos
 - Link state update: proporciona los costes de las líneas a sus vecinos
 - Link state ack
 - Database description: anuncia las actualizaciones que tiene disponibles
 - Link state request: solicita información del socio
 - Existen otros protocolos como el RIP (Routing Information Protocol), pero se ejecutan en la capa de aplicación sobre el kernel del SO



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Capa de red para Internet: IP:**
 - Protocolos de enrutamiento de puerta de enlace interior
 - OSPF



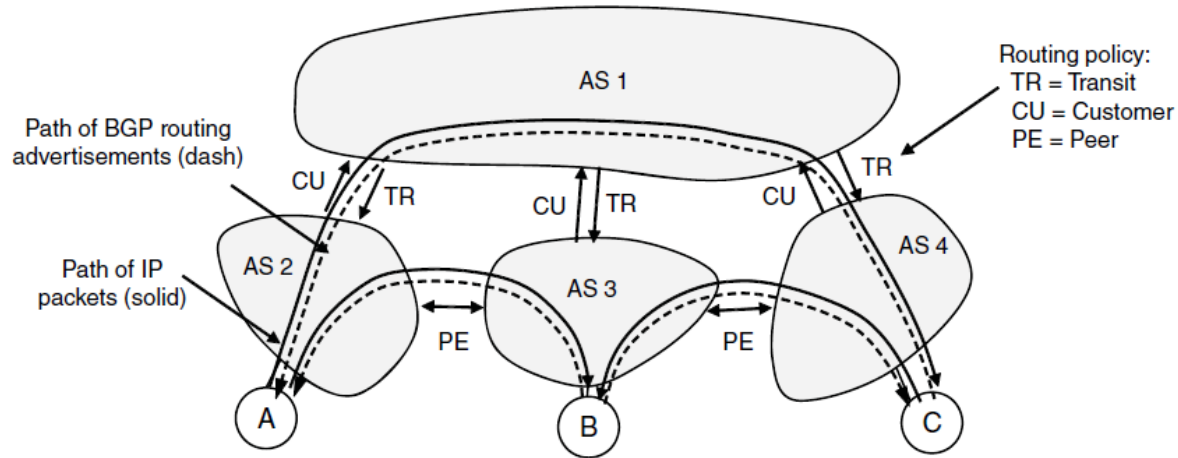
Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Capa de red para Internet: IP:**
 - Protocolos de enrutamiento de puerta de enlace exterior
 - BGP (Border Gateway Protocol) :
 - Define políticas en las que se decide si está dispuesto a enrutar tráfico de tránsito para otras redes vecinas o no (puede que existan otras compañías que paguen por ese servicio, que los niveles de seguridad sean muy estrictos, motivos políticos, etc.)
 - Tipos de redes en función de las políticas:
 - Redes stub: sólo permiten una conexión, por lo que no se puede transportar tráfico de otras redes
 - Redes multiconectadas: se puede transportar tráfico de otras redes salvo que se rechace mediante las políticas
 - Redes de tránsito: dedicadas a tráficos de terceros por pagos o con algunas restricciones



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **Capa de red para Internet: IP:**
 - Protocolos de enrutamiento de puerta de enlace exterior
 - BGP (Border Gateway Protocol)



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- **IPv6:**
 - Aumenta el tamaño de las direcciones bytes
 - Se simplifica el encabezado, sólo 7 campos y no 13
 - Se permiten campos opcionales, permitiendo reducir el tiempo de procesado
 - Aumenta la seguridad para autenticación y privacidad
 - Se dota de importancia al QoS
 - Encabezado:
 - Versión
 - Clase de tráfico: tiempo real o no
 - Etiqueta de flujo: para establecer una pseudoconexión que permita garantizar un determinado retardo y ancho de banda
 - Longitud de la carga útil
 - Encabezado siguiente: indica si es necesario un encabezado de extensión



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- IPv6:
 - Encabezado:
 - Límite de saltos
 - Dirección origen y dirección destino
 - Tipos de encabezados de extensión:
 - Integrar opciones de salto
 - Añadir información adicional sobre el destino
 - Indicar una ruta total o parcial a seguir
 - Verificar la identidad del emisor
 - Encriptar la información
 - ...
 - Es importante observar que se elimina la suma de comprobación



Introducción a las redes de ordenadores: Capa de Red

- IPv6:

