### 5. LA CAPA DE RED

Al final del capítulo se tomará la prueba 2 sobre los capítulos 4 y 5

### Contenido

- 5.1 Aspectos de diseño de la capa de red
- 5.2 Algoritmos de enrutamiento
- 5.3 Algoritmos de control de congestión
- 5.4 Calidad de servicio QoS
- 5.5 Interconexión de redes
- 5.6 La capa de red de Internet



- La Capa 2 solo lleva tramas del un extremo al otro extremo del enlace P2P
- La Capa 3 lleva paquetes del origen al destino, aún si están en redes diferentes (extremo a extremo)
- Esto podría requerir atravesar varios enrutadores
- La capa 3 debe conocer: la topología y el tráfico en la subred
  - La topología permite conocer las distintas rutas para alcanzar el destino
  - Conocer el tráfico permite no sobrecargar unas rutas y subutilizar otras

### 5.1 Aspectos de diseño de la capa de red

### 5.1.1 Conmutación de paquetes, almacenamiento y reenvío

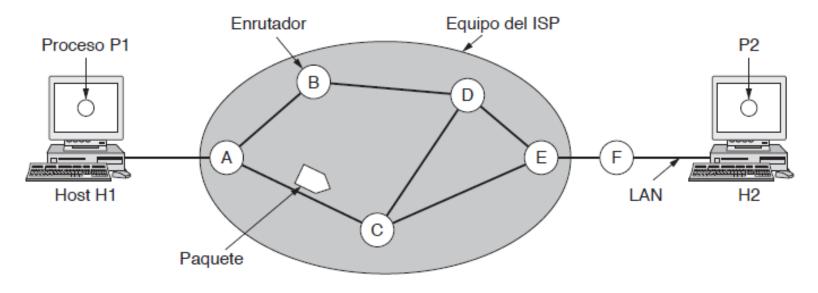


Figura 5-1. El entorno de los protocolos de la capa de red.



- H1 se conecta punto a punto a A de la empresa portadora, con un modem
- La LAN, se conecta a una red portadora a través del ruteador F y una línea alquilada
- F es similar a los routers de la portadora
- En un ruteador de la subred, el paquete se almacena un momento hasta que llegue por completo, se compruebe errores y haya línea de salida disponible
- El paquete se reenvía al siguiente enrutador hasta alcanzar el destino



- La capa de red da un esquema de direccionamiento uniforme a LANs y WANs
- Los servicios que da la capa 3 son:
- Servicio orientado a la conexión, y
- Servicio sin conexión



- Los paquetes se colocan en la subred y se enrutan de manera independiente
- Los paquetes se llaman datagramas
- Un mensaje a enviar podría ser dividido en varios paquetes
- Cada enrutador tiene una tabla de enrutamiento a cada destino final
- La información de una tabla de enrutamiento puede variar dinámicamente
- El algoritmo que maneja las tablas se llama algoritmo de enrutamiento



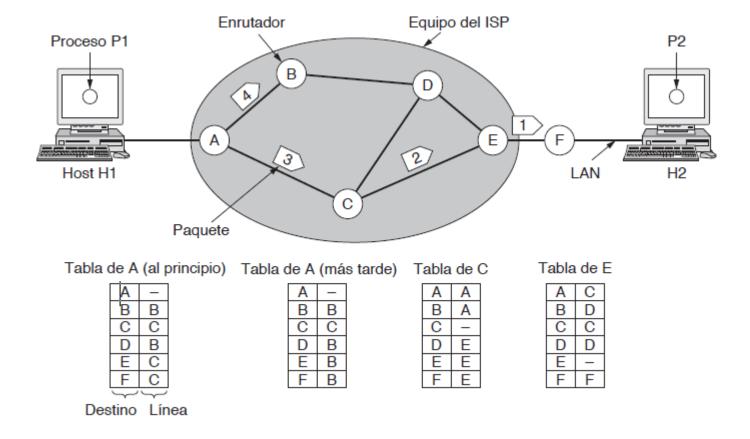


Figura 5-2. Enrutamiento dentro de una red de datagramas.



- Antes de enviar paquetes se fija un camino entre ruteadores finales
- Este se llama circuito virtual, como si fuera un circuito físico exclusivo
- El propósito es no tener que buscar una ruta para cada paquete a enviar

Circuito	Recursos físicos de la subred
Físico	Dedicados, ej: llamada telefónica convencional
Virtual	Compartidos con otros circuitos de otros usuario

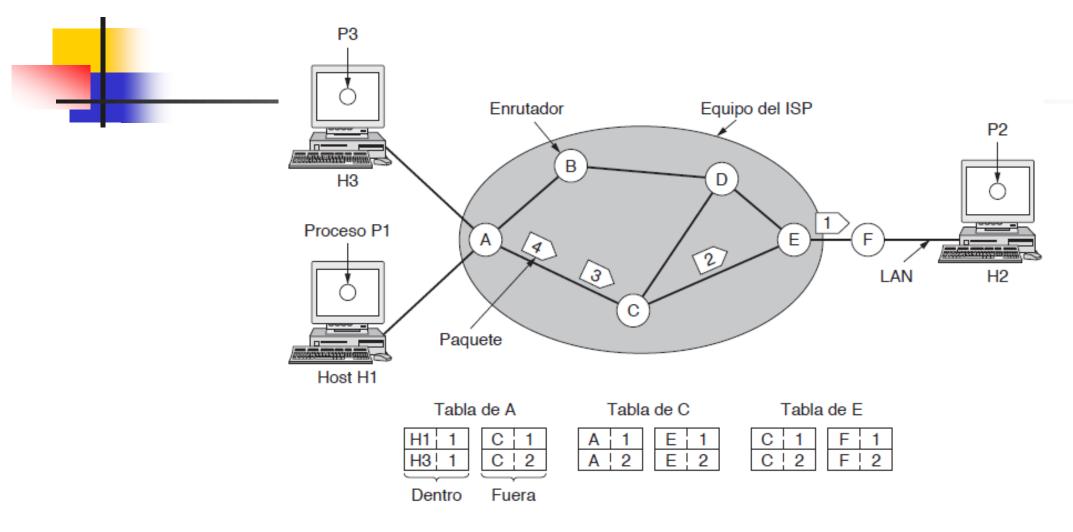


Figura 5-3. Enrutamiento dentro de una red de circuitos virtuales.



- Tabla del router A:
- La primera fila indica que el CV 1 viene de H1, se envía a C con el número CV 1
- La segunda fila indica que el CV 1 viene H3, se envía a C con el número CV 2
- Todo el tráfico fluye por la misma ruta o conexión
- Cada paquete lleva un ID que indica a cuál circuito virtual pertenece

## 5.1.5 Comparación entre las subredes de circuitos virtuales y datagramas

Asunto	Red de datagramas	Red de circuitos virtuales
Configuración del circuito.	No necesaria.	Requerida.
Direccionamiento.	Cada paquete contiene la dirección de origen y de destino completas.	Cada paquete contiene un número de CV corto.
Información de estado.	Los enrutadores no contienen información de estado sobre las conexiones.	Cada CV requiere espacio de tabla del enrutador por cada conexión.
Enrutamiento.	Cada paquete se enruta de manera independiente.	La ruta se elije cuando se establece el CV; todos los paquetes siguen esa ruta.
Efecto de fallas del enrutador.	Ninguno, excepto para paquetes perdidos durante una caída.	Terminan todos los CVs que pasaron por el enrutador defectuoso.
Calidad del servicio.	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.

### 5.2 Algoritmos de enrutamiento



- Algoritmo de enrutamiento: Construye las rutas y actualiza las tablas de enrutamiento de cada ruteador (RIP)
- Reenvíar: es la acción de buscar en la tabla de enrutamiento la línea de salida para una paquete (IP)
- Con datagramas, la decisión de enrutamiento se toma para cada paquete
- Con CVs, esta decisión se toma una vez al establecer el CV

#### Propiedades de un algoritmo de enrutamiento

- 1. Exactitud. El algoritmo permite alcanzar el destino deseado y no otro
- 2. Sencillez. El algoritmo trabaja usando el mínimo de recursos y en forma rápida
- Robustez. El algoritmo es capaz de soportar fallas de hosts, ruteadores y líneas de comunicación
- 4. Estabilidad. Determina las rutas para todas las posibles topologías
- 5. Equidad. Se debe permitir enviar a todos los hosts conectados a la red
- 6. Optimización. Usar al máximo de capacidad de transmisión

### Clases principales de algoritmos de enrutamiento

- No adaptativos o estáticos. Las tablas de enrutamiento se determinan *a priori*. Estas no se adaptan a variaciones de tráfico y topología de la red
- 2. Adaptativos. Las tablas varían dinámicamente según variaciones de topología y tráfico
  - Esta información se toma de los ruteadores vecinos o de todos ellos

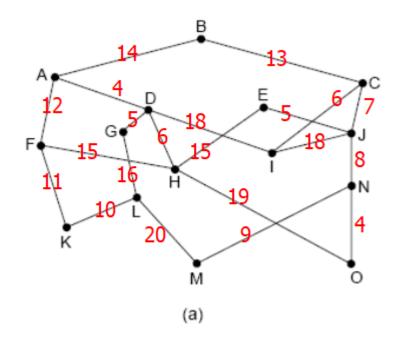
# 4

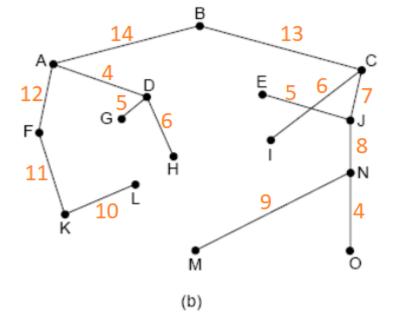
### 5.2.1 Principio de optimización

- Si el router J está en la ruta óptima de los routers I al K, entonces la ruta óptima de Ja K también está en la misma ruta
- Las mejores rutas desde un origen a todos los destinos forman un árbol sumidero con raíz el origen



### Árbol generador. Algoritmo PRIM Árbol de peso mínimo







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

### 5.2.2 Enrutamiento por la ruta más corta

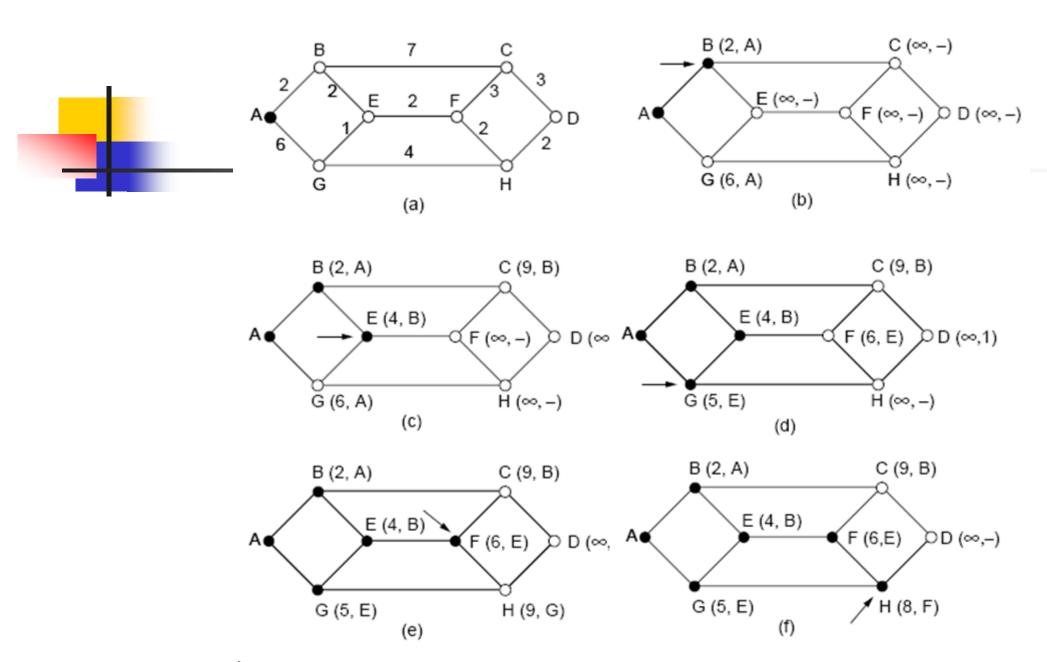
- Se arma un grafo de la subred
  - Cada nodo es un router
  - Cada línea es una línea de comunicación
- La mejor ruta entre dos routers es la distancia más corta que indica el grafo
  - Menor número de saltos
  - Menor distancia geográfica en km
- Aparte de la distancia hay otras métricas: retardo, ancho de banda, tráfico medio, costo de comunicación. El algoritmo podría combinar estos criterios

### Algoritmo de la ruta más corta de Dijkstra

- Diseñado por el holandés Edsger Wybe Dijkstra en 1959
- El algoritmo calcula las distancias y los caminos más cortos desde un nodo a todos los demás nodos de un grafo
- Cada nodo se rotula con su distancia más corta al origen, y el nombre del nodo anterior
- Al inicio, cada etiqueta puede ser sólo tentativa
- La ponderación en cada enlace es, por ejemplo, distancia



1930 - 2002

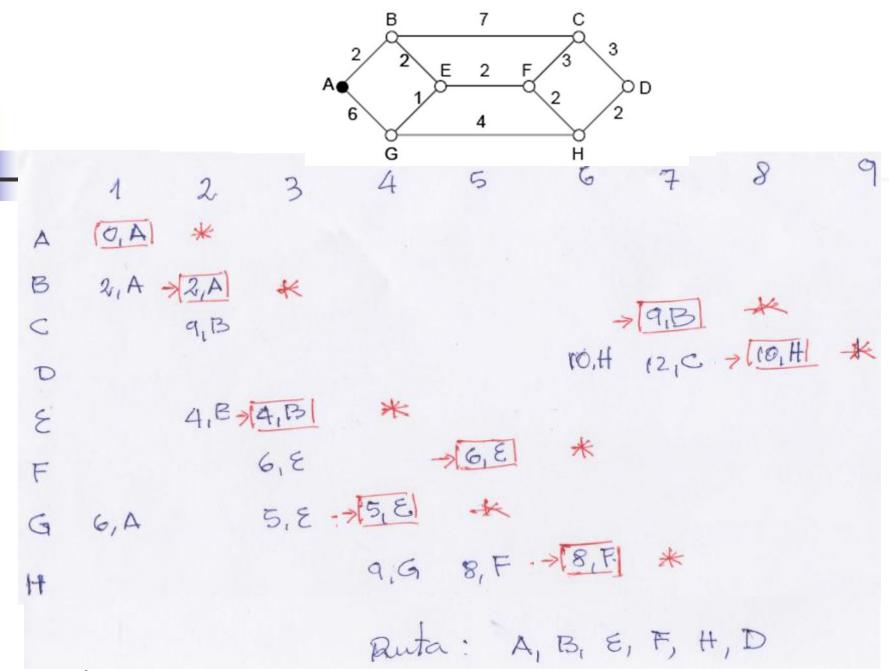


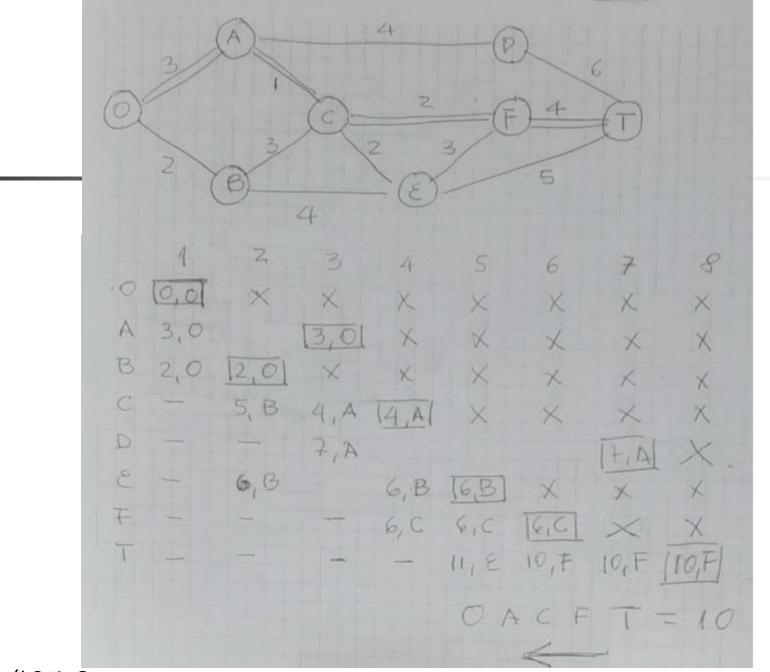
Ing. Raúl Ortiz Gaona

23



- Para un nodo definitivo (negro) analizamos las distancias de los adyacentes
- Escogemos el nodo adyacente con menor distancia. A este lo llamamos definitivo (negro)
- El proceso se repite hasta llegar al nodo destino





### 5.2.3 Inundación

- Cada paquete que llega se envía por todas las líneas, excepto por la que llegó
- La inundación genera grandes cantidades de paquetes duplicados
- Para limitarlo se pone un contador de saltos en el encabezado de cada paquete
- El contador se inicializa con un cierto valor máximo
- El contador se disminuye con cada salto
- El paquete se descarta si el contador llega a cero



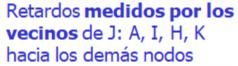
- Una variación de la inundación es la inundación selectiva
- Los enrutadores no envían cada paquete por todas las líneas, sino solo por las salidas que se supone apuntan en la dirección correcta
- Los algoritmos estáticos no toman en cuenta la carga actual de la red
- Algoritmos de enrutamiento dinámicos:
  - Enrutamiento por vector de distancia
  - Enrutamiento por estado del enlace

### 5.2.4 Enrutamiento por vector de distancia

- Se inició el desarrollo en 1957
- Cada router tiene un vector con la mejor distancia a cada destino y la línea de salida para llegar ahí
- La tabla se actualiza intercambiando información con los vecinos
- RIP utiliza el algoritmo de vector distancia
- Vector de distancia fue el algoritmo original de enrutamiento de ARPANET
- Se lo utilizó hasta 1979
- Hoy en las redes dorsales de Internet se usa OSPF, que usa el algoritmo estado del enlace

#### Algoritmo de vector distancia





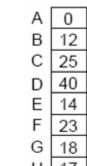


24

40

31

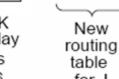
10



29

delay

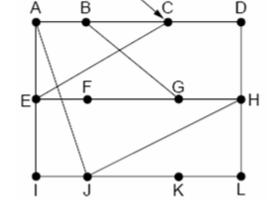




New

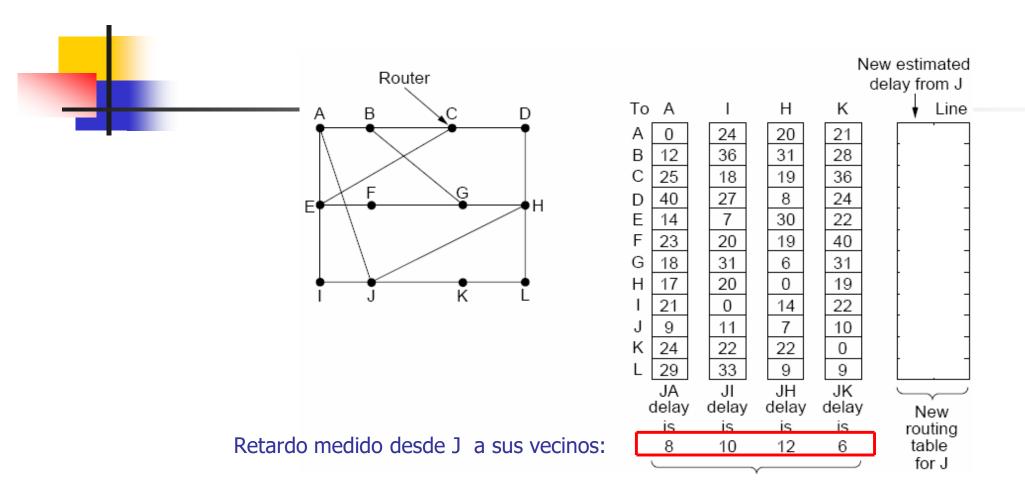
table

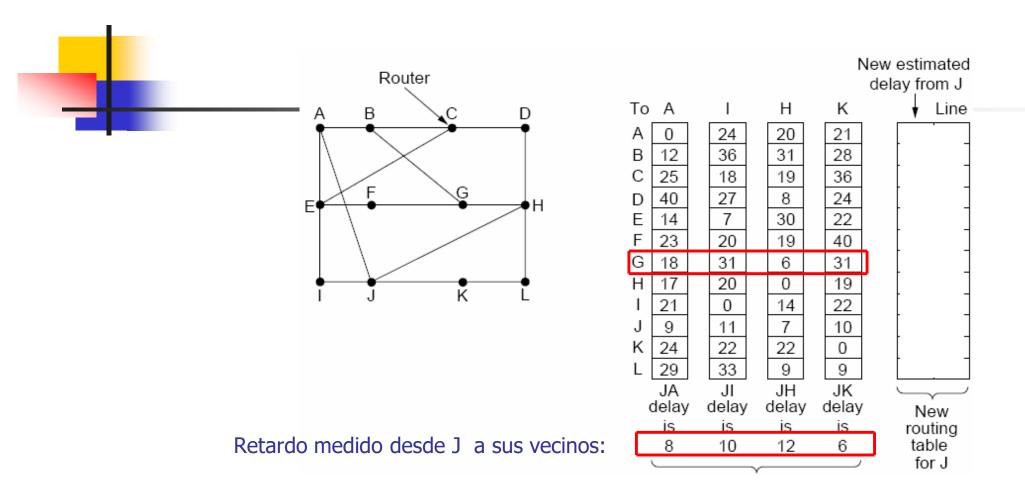
for J

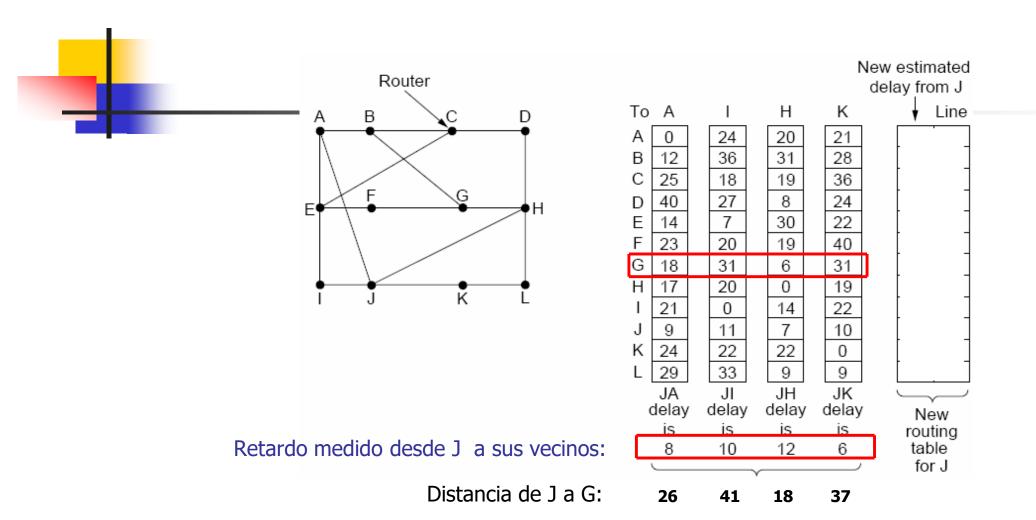


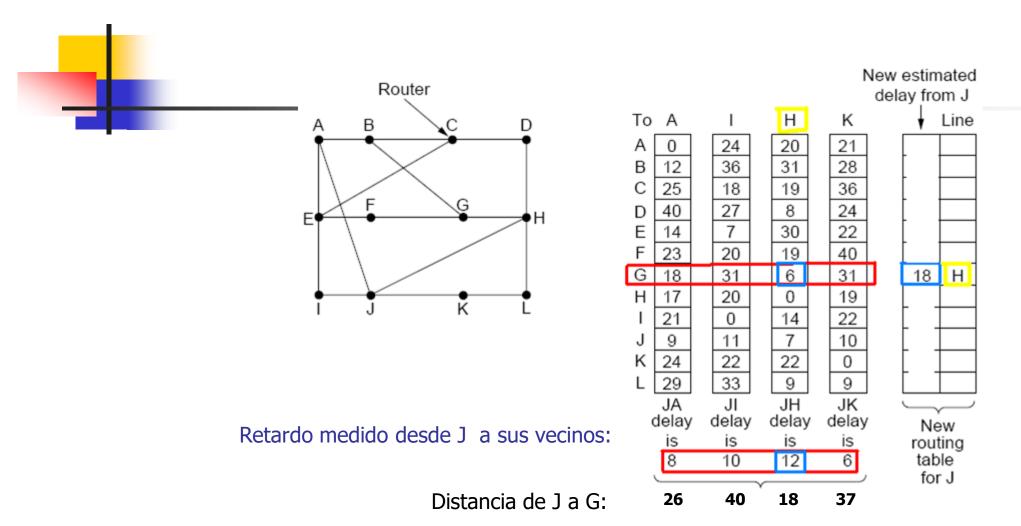
Router

Retardo medido desde J a sus vecinos:

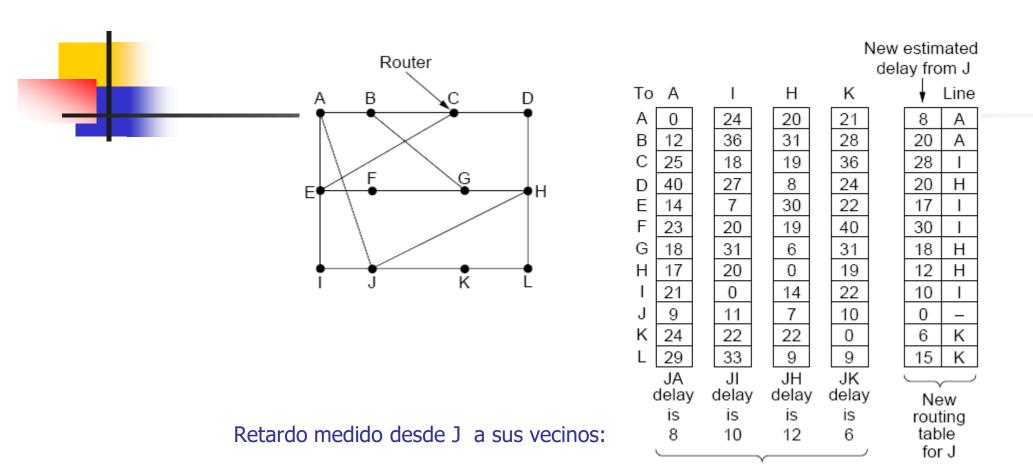








Calcular las distancias y la ruta desde J a los destinos A, B, C y D





- La métrica usada es el número de paquetes en cola a lo largo de la ruta
- Inconveniente del enrutamiento por vector de distancia:
  - Lentitud
  - No toma en cuenta el ancho de banda de los enlaces

### 5.2.5 Enrutamiento por estado del enlace

- Es utilizado en Internet, que utiliza la arquitectura TCP/IP
- Pasos en los que se basa este enrutamiento
  - Descubrir las direcciones de sus vecinos
  - 2. Medir el retardo a cada uno de sus vecinos
  - 3. Construir un paquete con esta información
  - 4. Compartir este paquete con todos los demás enrutadores
  - 5. Calcular la ruta más corta a cada router Dijkstra

Ing. Raúl Ortiz Gaona

37

### 1. Conocer a sus vecinos

- Se envía un paquete HELLO por cada línea a sus enrutadores vecinos
- Cada vecino responde con su dirección para indicar quien es

### 2. Medir el retardo a cada vecino

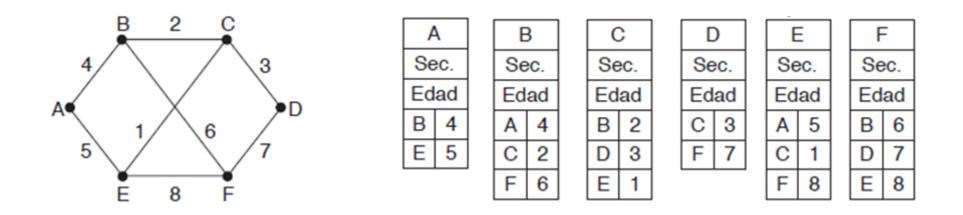
- Se envía un mensaje echo request, (ping) y esperando un mensaje echo replay del protocolo ICMP Internet Control Message Protocol
- Ping está disponible en varios sistemas operativos: IOS CISCO, WINDOWS

# 3. Cons

### 3. Construcción de los paquetes de estado del enlace

- El paquete contiene:
  - Dirección del emisor
  - 2. Número de secuencia
  - 3. Edad
- Estos son generados periódicamente, o cuando ocurre una caída/reactivación de línea o vecino
- RIP lo hace cada 30 segundos

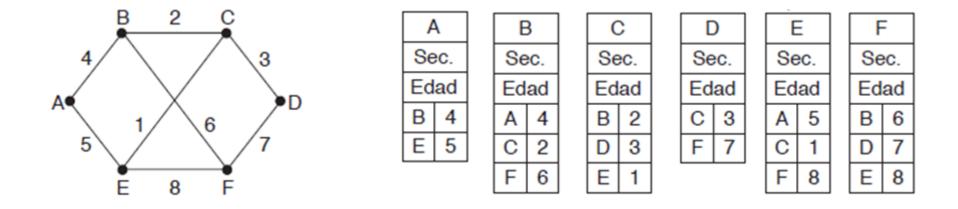
### Paquetes de estado de enlace construidos por cada enrutador



Estos paquetes se envían a todos los enrutadores de la red



Construya la topología de la red con base en los mensajes recibidos desde todos los ruteadores



### 4. Distribución de paquetes de estado del enlace

- Con estos paquetes los ruteadores construyen la topología de la red
- El paquete se distribuye por inundación
- Los routers podrían estar usando versiones diferentes de la topología
- Cada paquete tiene el ruteador origen y un número secuencial
- Si es duplicado se descarta

## Problemas de los paquetes de estado de enlace

### Problema 1

- Cuando el número de secuencia vuelve a cero
- Solución: usar un número de secuencia de 32 bits
- Con un paquete por segundo, el tiempo para volver a empezar será de 136 años

### Problema 2

■ Si falla el router el secuencial vuelve a 0, el paquete con este número será rechazado

#### Problema 3

 Si se daña un bit y en vez de 000000000000100 se tiene 100000000000100 el paquete con secuencial 5 será rechazado por obsoleto

### 5. Cálculo de las nuevas rutas

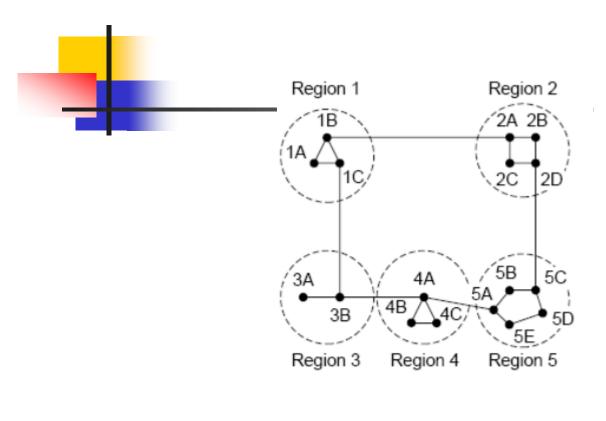
- Cuando el router tiene todos los paquetes de estado del enlace, construye el grafo
- Se usa Dijkstra para construir la ruta más corta a todos los destinos
- Este algoritmo funciona bien en la práctica
- Muy usado en redes actuales
- OSPF, protocolo de las redes dorsales de Internet, usa el enrutamiento estado del enlace

## Resumen

- Enrutamiento estático: Algoritmo de la ruta más corta de Dijkstra; Inundación
- Enrutamiento dinámico: Vector distancia; Estado del enlace
- Más allá del enrutamiento estático o dinámico, veremos a continuación otros tipos de enrutamiento
  - Jerárquico
  - Por difusión
  - Host migratorio
  - Redes Ad-hoc

### 5.2.6 Enrutamiento jerárquico

- En redes grandes un router no puede tener información a todos los destinos
- Se usa enrutamiento jerárquico, similar a la red telefónica
- Redes grandes se organizan en regiones, closters, zonas, grupos, etc.
- El enrutamiento jerárquico reduce el tamaño de las tablas de enrutamiento
- Un enrutador conoce la topología de su región
- Un enrutador no conoce la topología de otras regiones



(a)

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
ЗА	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
	(b)	

Hierarchical table for 1A

est.	Line	Hops
1A	_	_
1B	1B	1
1C	1C	1
2	1B	2
3	1C	2
4	1C	3
5	1C	4

(c)

### 5.2.7 Enrutamiento por difusión

- A veces, los hosts necesitan enviar mensajes a varios o a todos los hosts
- Este envío simultáneo se llama difusión
- Hay varios métodos
- El origen envía un paquete distinto a cada uno los destinos
  - Desperdicia ancho de banda
  - Requiere que el origen tenga una listas de los destinos
- Otro método es la inundación
  - Genera demasiados paquetes
  - Desperdicia ancho de banda



# Enrutamiento por difusión: Método del enrutamiento multidestino

- Cada paquete contiene una lista con los destinos deseados
- El enrutador revisa los destinos y determina las líneas de salida que necesita
- El enrutador genera una copia del paquete para cada línea de salida

### 5.2.9 Enrutamiento para hosts migratorios y ambulantes

- Para enviar un paquete a un portátil, la red primero tiene que localizarlo
- Tipos de hosts
  - Estacionarios (PCs) se conectan a una red cableada
  - Migratorios (laptops), se mueven de un lugar fijo a otro. Se conectan a una red cableada o inalámbrica
  - Ambulantes (smart phone, lector de tarjetas de crédito, dispositivo para control de inventarios) trabajan en movimiento. Se conectan inalámbricamente
- Los hosts migratorios tienen localidad base y dirección base que no cambian



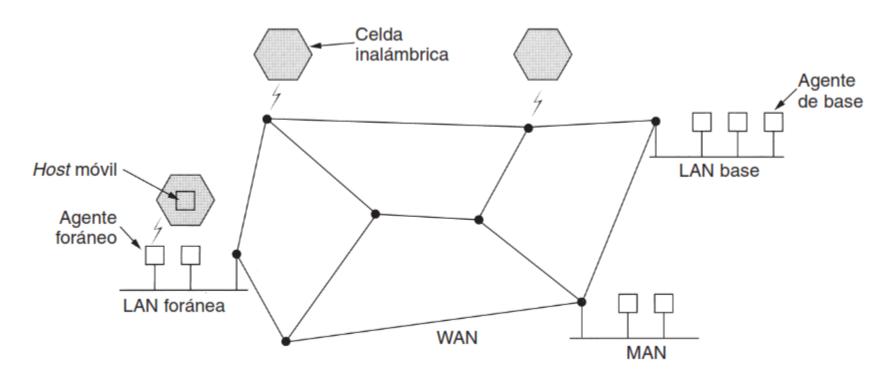


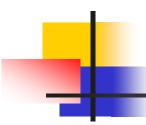
Figura 5-18. WAN a la que están conectadas LANs, MANs y celdas inalámbricas.



- Una red se divide en áreas
- Área: puede ser una LAN, una WLAN o una celda inalámbrica
- Cada área tiene un agente de base y un agente foráneo
- Agente de base: registra los hosts que pertenecen a su área base
- Agente foráneo: registra los hosts migratorios que visitan el área foránea
- Si una laptop entra en un área foránea, debe registrarse con el agente foráneo

### Procedimiento de registro de una laptop migratoria

- 1. Periódicamente el agente foráneo difunde un paquete con su dirección. La laptop espera a que le llegue uno de esos paquetes
- 2. La laptop envía su dirección al agente foráneo
- 3. El agente foráneo se comunica con el agente de base del la laptop para informar que dicha laptop, con tal dirección, ha llegado a la red foránea
- 4. El agente de base, confirma que la laptop sí pertenece a su área de base
- 5. El agente base indica al agente foráneo que acepte a la laptop
- 6. El agente foráneo registra la laptop



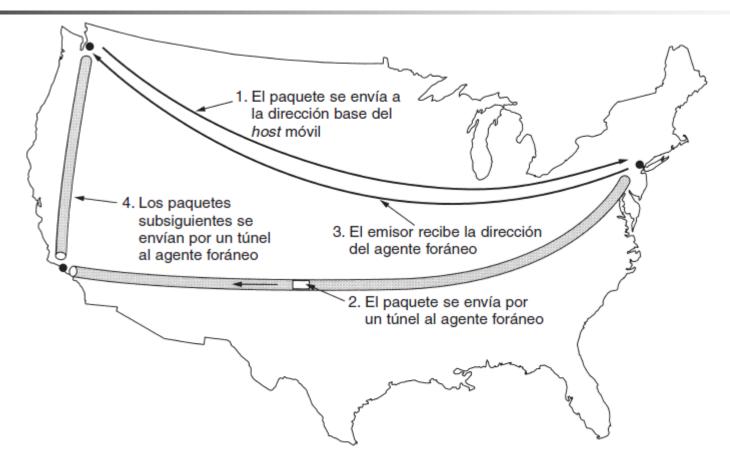


Figura 5-19. Enrutamiento de paquetes para *hosts* móviles.

- El emisor en Seattle, envía un paquete a la red base de la laptop en NY
- El agente base en NY sabe que la ubicación temporal del portátil es LA
- El agente base reenvía el paquete en un túnel al agente foráneo en LA.
  - Túnel: paquete con una IP destino, encapsulado dentro de otro paquete con otra IP destino
- El agente foráneo en LA reenvía el paquete al host migratorio
- El agente base en NY indica al emisor en Seattle que en el futuro envíe paquetes directo al agente foráneo en LA
- El emisor envía directamente los paquetes en un túnel al agente foráneo

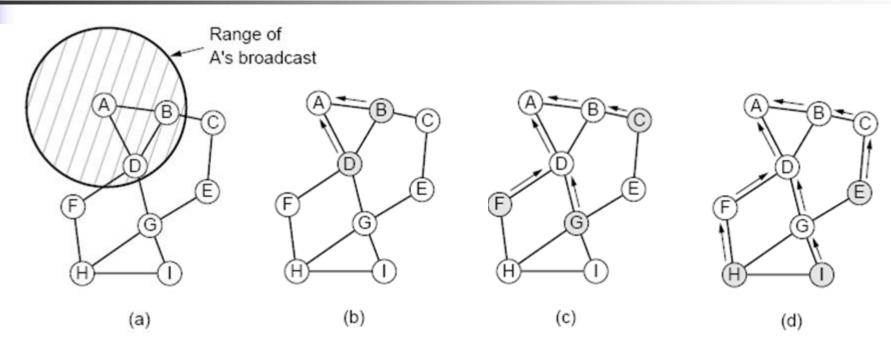
### 5.2.10 Enrutamiento en redes ad hoc

- Es utilizado por laptops y dispositivos móviles
- Los hosts hacen las funciones de enrutadores
- Situaciones en las que son necesarias las redes ad-hoc:
  - Vehículos militares en un campo de batalla
  - Flota de barcos en el mar
  - Trabajadores en un área de desastre
  - Reunión de personas con laptops en un área sin infraestructura 802.11



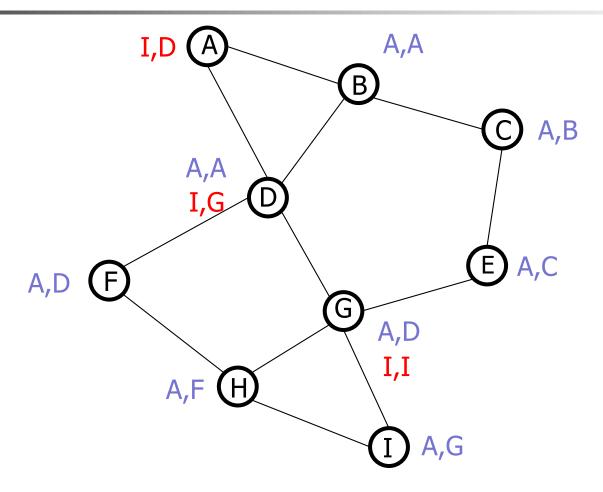
- La topología de la red cambia todo el tiempo
- Las rutas cambian todo el tiempo
- Algoritmo de enrutamiento AODV Ad hoc On-Demand Distance Vector
- Se define una ruta a un destino sólo cuando alguien desea enviar un paquete
- Dos nodos se conectan si se pueden comunicar directamente
- Si uno de los dos tiene un emisor más potente, A está conectado a B pero B no está conectado a A





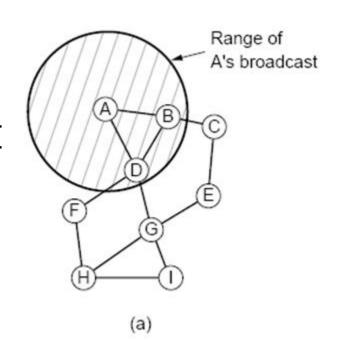
Los nodos que reciben el broadcast crean una ruta que apunta al nodo A





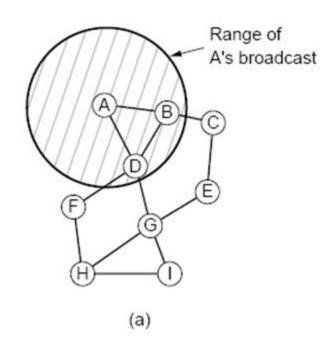


- A desea enviar un paquete a I
- AODV mantiene una tabla en cada nodo
- A busca en su tabla pero no encuentra una entrada para I
- Ahora debe descubrir la ruta a I
- A difunde un paquete de solicitud de ruta
- El paquete llega a B y D





- B y D lo vuelven a difundir
- Cada nodo que recibe la difusión crea una ruta que apunta a A
- El paquete de solicitud de ruta alcanza a I
- I crea un paquete de respuesta de ruta
- Este paquete sólo se envía al nodo del cual vino la solicitud



### Mantenimiento de rutas en redes ad-hoc

- Es posible mover y apagar nodos
- La topología puede cambiar
- El algoritmo necesita manejar estas situaciones
- Cada nodo difunde de manera periódica un mensaje de saludo (Hello)
- Cada vecino próximo responde al saludo
- Si un vecino no responde, sabe que este ya no está conectado a él
- Esta información se usa para eliminar rutas que ya no funcionan

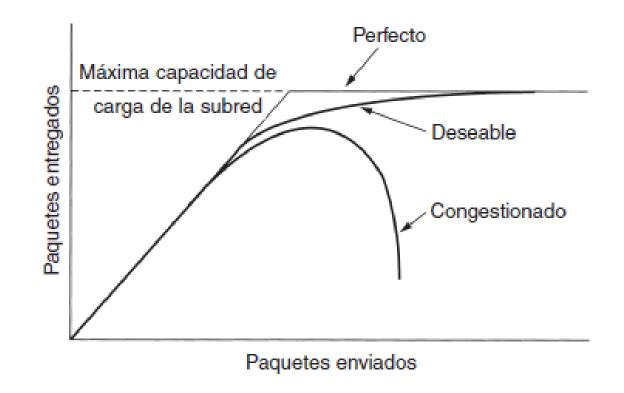


### 5.2.11 Búsqueda de nodos en redes de igual a igual

- Caso de las redes ad-hoc
- Los sistemas de igual a igual son totalmente distribuidos
- Todos los nodos son simétricos
- No hay nodo central o jerarquía
- Cada usuario tiene algo de información de interés para otros usuarios

# 5.3 Algoritmos de control de congestión

- Cundo hay demasiados paquetes en la subred, este disminuye su desempeño
- Esto se llama congestión
- Hay algoritmos de enrutamiento que trabajan en función de la congestión en la red



### Razones de la congestión





- Llegan muchos paquetes por diferentes líneas de entrada pidiendo la misma línea de salida
- Memoria de almacenamiento insuficiente en ruteadores
- Routers con suficiente memoria, pero insuficiente velocidad del procesador y ancho de banda de las líneas de salida



- Situación:
  - Memoria insuficiente
  - Procesadores lentos
  - Líneas de poco ancho de banda
- Actualizar solo una parte del sistema mueve el cuello de botella a otra parte
- Solución: Se deben equilibrar todas las partes del sistema



### Control de congestión y control de flujo

- El control de congestión es un asunto global
  - Procura que la subred sea capaz de transportar el tráfico requerido
- El control de flujo se relaciona con el tráfico entre un emisor y un receptor
  - Implica realimentación del receptor al emisor
- Algunos algoritmos de control de congestión retroalimentan a varios emisores pidiéndoles reducir la velocidad de transmisión
- Un host puede recibir un mensaje de reducir velocidad porque el receptor es lento o porque la red está congestionada



### 5.3.1 Principios generales del control de congestión

- El control se divide en dos grupos las soluciones:
  - Soluciones de ciclo abierto: se resuelve con un buen diseño de la red
  - Soluciones de ciclo cerrado: se basa en retroalimentación
    - Monitorear el sistema
    - 2. Informar a los lugares que puedan actuar para que actúen



### Métricas para monitorear la subred en busca de congestión

- % de paquetes descartados en los routers
- Promedio de la longitud las colas
- Cantidad de paquetes que venció su tiempo de vida y se tienen que volver a transmitir
- Retardo promedio de paquetes desde el origen al destino

### Información de la congestión



- El router que detecta la congestión envía un paquete informando el problema al origen u orígenes del tráfico
  - Estos paquetes aumentan la congestión
- Otra manera: routers envían periódicamente paquetes de sondeo de congestión
  - Esta información permite desviar tráfico fuera del área congestionada



 La retroalimentación no debe hacerse apenas se inicia la congestión, ni tampoco mucho tiempo después de iniciada la congestión







- Algoritmos de ciclo cerrado se dividen en dos:
  - Retroalimentación explícita: regresan paquetes desde el punto de congestión para avisar al origen
  - Retroalimentación implícita: el origen deduce que hay congestión según el tiempo para recibir ACKs



#### Soluciones frente a la congestión

- Reducir la carga
  - Negar el servicio a algunos usuarios
  - Degradar el servicio
- Aumentar recursos
- Distribuir el tráfico entre varias rutas



# 5.4 Calidad de Servicio QoS



- En redes multimedia, el control de congestión no es suficiente
- Se necesita controlar la calidad de servicio
- No todas las aplicaciones de red requieren la misma calidad de servicio
- Hay maneras para dar QoS ajustadas a las necesidades de las aplicaciones

## 5.4.1 Requerimientos

- Flujo: Conjunto de paquetes que van desde un origen a un destino
- Los paquetes de un flujo pueden ir en datagramas o en varios circuitos Vs.
- El flujo se caracteriza según 4 parámetros:
  - Ancho de banda
  - Retardo
  - Fluctuación: variación de retardo
  - Confiabilidad: pérdida de paquetes
- Cada uno de estos parámetros son requeridos según cada aplicación de red



Aplicación	Ancho de banda	Retardo	Variación del retardo	Pérdida
Correo electrónico.	Bajo	Bajo	Baja	Media
Compartir archivos.	Alto	Bajo	Baja	Media
Acceso a Web.	Medio	Medio	Baja	Media
Inicio de sesión remoto.	Bajo	Medio	Media	Media
Audio bajo demanda.	Bajo	Bajo	Alta	Baja
Video bajo demanda.	Alto	Bajo	Alta	Baja
Telefonía.	Bajo	Alto	Alta	Baja
Videoconferencias.	Alto	Alto	Alta	Baja

Figura 5-27. Nivel de los requerimientos de calidad del servicio de la aplicación.

**Bajo**: parámetro bajamente requerido **Alto**: parámetro altamente requerido

#### Variación de retardo o fluctuación

- Si la fluctuación de video a través de la red es entre 1 y 2 segundos, el resultado es terrible
- En audio, una fluctuación de unos cuantos mseg. es claramente audible

## Confiabilidad: pérdida de paquetes

- Aplicaciones que necesitan tener un flujo sin pérdida ni errores
- Se alcanza con: Checksum o Cyclic Redundancy Check, y ACK
- Aplicaciones en tiempo real no chequean pérdida ni errores

# 5.4.2 Técnicas para alcanzar QoS

- Hay muchas maneras de dar el servicio con calidad
- Ninguna técnica por sí sola proporciona QoS de una manera total
- Con frecuencia se combinan varias técnicas



#### Algunas de las técnicas son:

- Sobre aprovisionamiento o sobre dimensionamiento
- Almacenamiento en búfer
- 3. Modelado de tráfico
- 4. Algoritmo de cubeta con goteo
- 5. Algoritmo de cubeta con *tokens*
- 6. Reservación de recursos
- Control de admisión
- 8. Enrutamiento proporcional, y
- Calendarización de paquetes

#### 1/9. Sobreaprovisionamiento

- Para que los paquetes fluyan con facilidad, la solución fácil es dar suficiente: capacidad de CPU; memoria; y, ancho de banda
- Pero, esta solución es costosa
- ¿Cuánto es suficiente?. Esta técnica es práctica cuando se tiene experiencia
- Una comparación con el sistema telefónico convencional: siempre hay tono
- Con el sistema celular: siempre comienza a timbrar en el otro móvil

### 2/9. Almacenamiento en búfer

- Los flujos pueden almacenarse en el receptor (destino final) antes de ser desplegados al usuario
- Esto no afecta la confiabilidad o el ancho de banda
- Esta técnica atenúa la fluctuación
- Para video o audio bajo demanda esta técnica es muy útil
- Usado por empresas como YouTube, Netflix, Prime Video, . . .

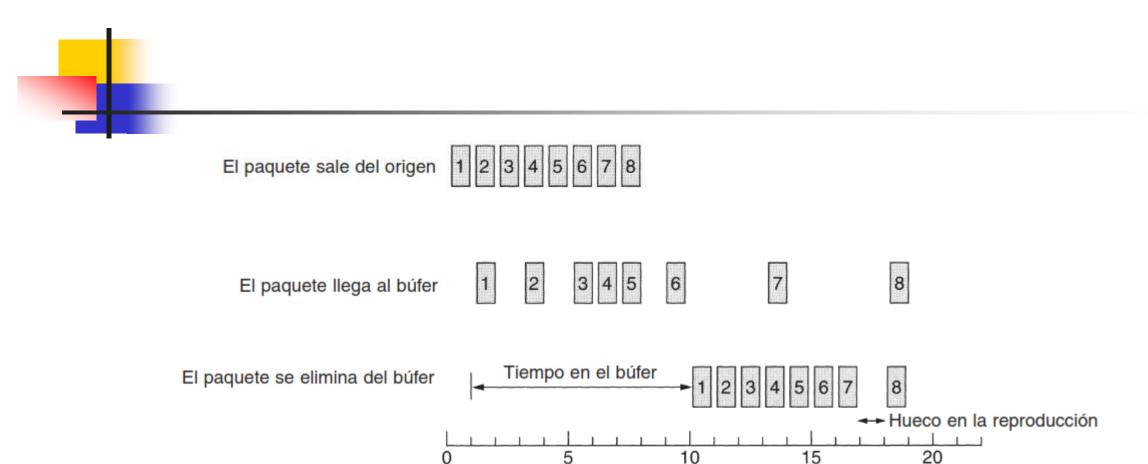


Figura 5-31. Refinamiento del flujo de paquetes almacenándolos en el búfer.

Tiempo (seg)



 Sitios web comerciales con transmisión continua de video o audio usan reproductores que almacenan en el búfer por aproximadamente 10 segundos antes de comenzar a reproducir

### 3/9 Modelado de tráfico

- Hay casos en que el origen envía paquetes con un espaciado no uniforme
- Esto se debe a que el servidor maneja muchos flujos al mismo tiempo, o porque se permite avance rápido y rebobinado, etc.
- El almacenamiento en el búfer es adecuado en VoD pero no para videoconferencia (Skype, Zoom, Google Meet, ...)
- Surge entonces el modelado de tráfico
- El cliente le dice al ISP el patrón de tráfico que va a generar
- Si el ISP lo puede manejar se llega a un acuerdo de servicio
- Entonces se establece la conexión
- Mientras el cliente cumpla con lo acordado, la empresa entrega a tiempo



- Estos acuerdos no son importantes para enviar archivos, sí para datos en tiempo real (videoconferencia)
- El ISP debe saber si el cliente está cumpliendo con su parte del acuerdo
- Para ello la empresa supervisa el tráfico
- La supervisión es más fácil hacerlo con circuitos virtuales que con datagramas

### 4/9 Algoritmo de cubeta con goteo

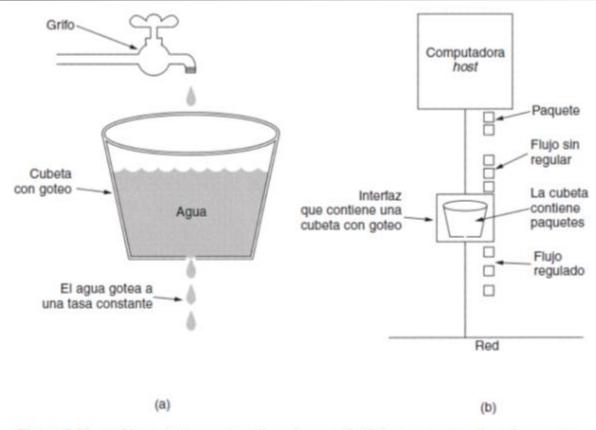


Figura 5-32. (a) Una cubeta con goteo, llena de agua. (b) Cubeta con goteo, llena de paquetes.



- Imaginese un balde de agua con un agujero en el fondo
- Sin importar la rapidez con la que entra agua al balde, el flujo de salida tiene una tasa constante ρ cuando hay agua en el balde
- Si el balde está vacío,  $\rho = 0$ . Si está lleno, el agua adicional se riega
- Puede aplicarse el mismo concepto a los paquetes
- Es un sistema de cola de un servidor con un tiempo de servicio constante
- Esta técnica convierte un flujo desigual de paquetes de los procesos de usuario dentro del host en un flujo continuo hacia la red



- De esta manera se moderan las ráfagas y se reduce la congestión
- Cuando los paquetes son del mismo tamaño (redes ATM), este algoritmo puede usarse tal cual
- Si los paquetes son de tamaño variable, se permite un número fijo de bytes por pulso de reloj
- Esta técnica requiere de una cola finita

### 5/9 Algoritmo de cubeta con tokens

- En ocasiones es necesario permitir ráfagas de tráfico
- El algoritmo de cubeta con goteo no lo permite
- Entonces se requiere un algoritmo más flexible
- Éste es el algoritmo de cubeta con tokens

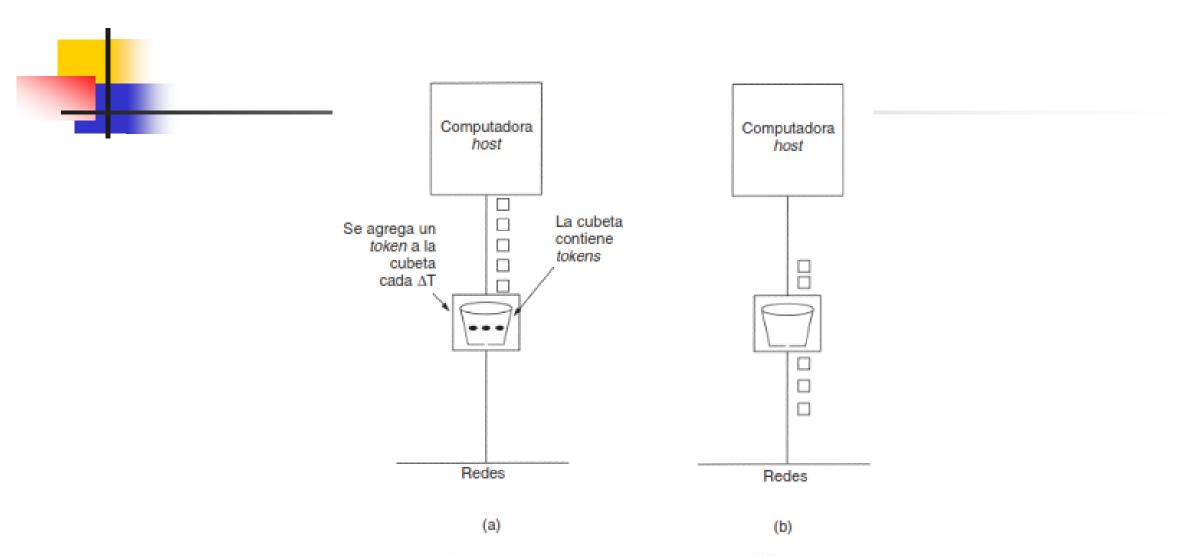


Figura 3-34. Algoritmo de cubeta con tokens. (a) Antes. (b) Después.



- El balde contiene tokens generados por un reloj a razón de uno cada ΔΤ
- Para transmitir un paquete, éste toma un token y lo destruye
- Se permite que un host acumule n tokens hasta que se llene el balde
- Esto permite que puedan enviarse ráfagas de hasta n paquetes
- Una variante es que un token da el derecho a transmitir k bytes
- Se envía un paquete si hay suficientes tokens que cubran su longitud en bytes
- Los algoritmos de cubeta con goteo y con tokens sirven para regular el tráfico de hosts y de ruteadores

#### 6/9 Reservación de recursos

- Para reservar recursos es necesario que los paquetes de un mismo flujo sigan la misma ruta
- Así se asegura la capacidad necesaria sea disponible
- Se pueden reservar 3 tipos de recursos: bps, memoria, tiempo de CPU
- Éste es buen inicio para garantizar QoS
- Cuando se reserva ancho de banda no se sobrecarga la línea de salida



- También se puede reservar algunos búfer para un flujo específico
- Así, el flujo no tiene que competir con otros flujos para obtener especio en búfer
- Por otro lado, para procesar un paquete se necesita tiempo de CPU
- Un ruteador sólo puede procesar cierta cantidad de paquetes por segundo
- Para procesar a tiempo los paquete es necesario que el CPU no se sobrecargue
- Se puede reservar tiempo de CPU

### 7/9 Control de admisión

- Si el flujo entrante en los enrutadores:
  - Está bien modelado y
  - sigue una misma ruta
- Entonces se puede solicitar reservar sus capacidades
- El ruteador analiza la solicitud con base en:
  - su capacidad de memoria, CPU y líneas de salida
  - y los compromisos adquiridos con otros flujos
- Entonces admite o rechaza un nuevo flujo



- Aunque hay aplicaciones que conocen sobre los requerimientos de ancho de banda, saben poco sobre búferes o tiempos de CPU
- Se necesita otra forma de describir los flujos
- Muchas partes pueden estar involucradas en la negociación del flujo: emisor, receptor, enrutadores
- Los flujos deben especificarse de forma precisa con parámetros negociables



Parámetro	Unidad	
Tasa de la cubeta con tokens.	Bytes/seg	
Tamaño de la cubeta con tokens.	Bytes	
Tasa pico de datos.	Bytes/seg	
Tamaño mínimo de paquete.	Bytes	
Tamaño máximo de paquete.	Bytes	

Figura 5-32. Ejemplo de una especificación de flujo.

#### 8/9 Enrutamiento proporcional

- La mayoría de los protocolos de enrutamiento envían todo el tráfico por la mejor ruta que encuentran para destino
- Para dar una mayor QoS se divide el tráfico para a destino a través de diferentes rutas
- Un método de hacerlo es dividir el tráfico:
  - en fracciones iguales, o
  - en proporción de la capacidad de los enlaces salientes

## 9/9 Calendarización de paquetes

- Hay flujos acaparan la capacidad de un router, limitando a los otros flujos
- Para evitar esto, existe el algoritmo llamado encolamiento justo
- Con este algoritmo los ruteadores tienen una cola para cada flujo
- El enrutador explora las diferentes colas de manera circular round robin
- Este algoritmo tiene el problema de que da más ancho de banda a los hosts que utilizan paquetes más grandes
- Un mejora es hacer la exploración circular byte por byte en vez de paquete por paquete

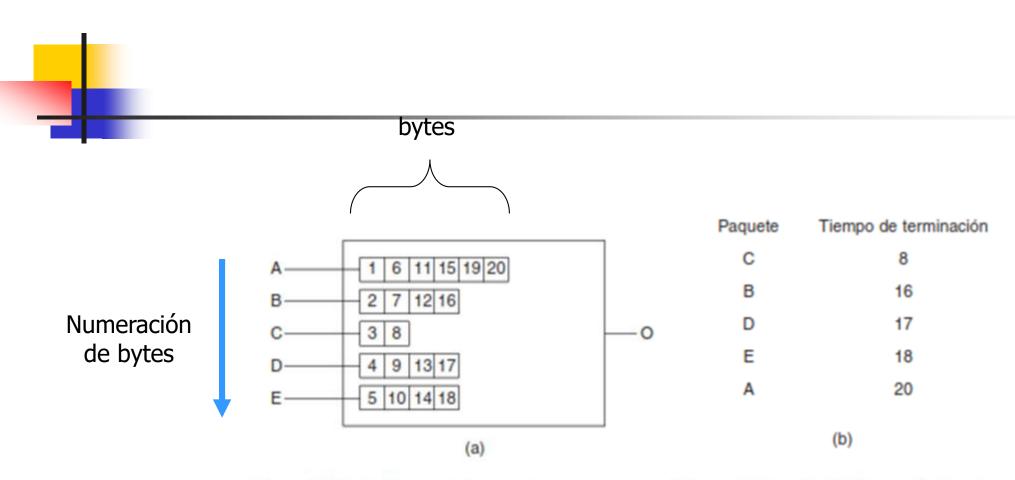


Figura 5-36. (a) Un enrutador con cinco paquetes encolados en la línea O. (b) Tiempos de terminación de los cinco paquetes.



- Un problema con este algoritmo es que da la misma prioridad a todos los hosts
- Por ello se usa el algoritmo "encolamiento justo ponderado"
- A cada flujo se le da diferente peso





## 5.5 Interconexión de redes



- Hasta ahora hemos considerado una sola red en donde cada máquina usa el mismo protocolo en cada capa
- Pero existe una variedad de redes que usan diferentes protocolos en cada capa que son incompatibles entre sí
- Estas redes pueden ser: PAN, LAN, WLAN, WAN, telefónica móvil, . . .
- Estas distintos tipos de redes se pueden interconectar entre sí para formar una interred o internet
- La interconexión a nivel mundial de redes se llama Internet
- El propósito de interconectar distintas redes es permitir que usuarios de una red se puedan comunicar con usuarios de otras redes

#### Diferencias entre redes

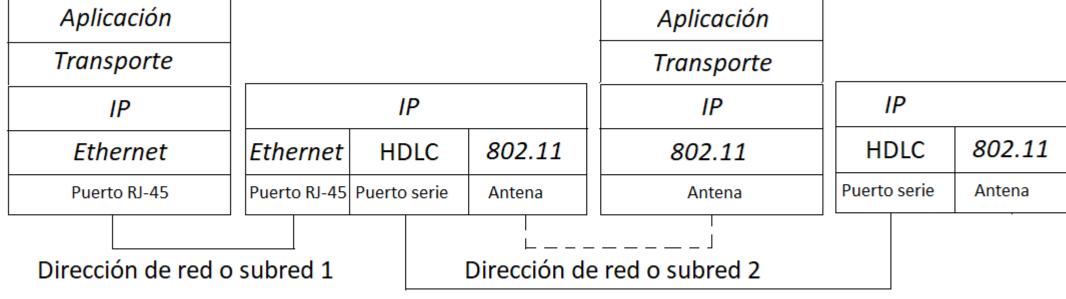
- Modulación, codificación o representación de bits en la capa física
- Formato de tramas en la capa de enlace
- En la capa de red
  - Tipo de servicio: sin conexión y orientado a conexión
  - Multidifusión o no
  - Tamaños máximos de paquetes
  - Diferentes QoS. Difícil garantizar ancho de banda o retardo en aplicaciones de tiempo real
  - Mecanismo de seguridad: capas de red y aplicación
- Mecanismos de contabilidad dan lugar a distintas formas de facturación
- Hay que conciliar estas diferencias para lograr la interconexión de redes



#### Interconexión de redes

- Se lo puede hacer de dos maneras:
- A través de dispositivos que traducen los paquetes de la una red en paquetes de la otra red
- 2. O, construir una capa común sobre los otras capas de cada red para ocultar las diferencias de las redes
- Esta capa común se separó luego en los protocolos TCP e IP





Dirección de red o subred 3



- IP ha extendido su alcance pasando desde las redes de computadoras hacia la telefonía móvil y red de sensores
- Los hubs operan en la capa física y solo transfieren bits desde una cable a otro
- Los switches operan en la capa de enlace y permiten la interconexión de PCs con diferentes velocidades 10, 100, 1000 Mbps
- Los equipos de interconexión de distintos tipos de redes operan en la capa de red y son los enrutadores
- Las tramas en cada tipo de red manejan diferentes tamaños máximos, así que posiblemente se tengan que fragmentar en tramas más pequeñas



- Recalcamos que la interconexión de redes solo funciona cuando hay una capa de red común (IP)
- IP es el protocolo de red universal, pero hay otros: IPX de Novell Netwere, SNA de IBM, AppleTalk, . . . que casi ya no se usan
- IP ha dado lugar a IPv4 e IPv6 que no son compatibles
- IPv6 es la base de Internet 2, una red de alta velocidad utilizada para investigación y pruebas

# Tunelización

- Podría llamarse también encapsulación
- Esto se lo puede hacer si los hosts origen y destino tienen el mismo tipo de red con una red diferente en el medio

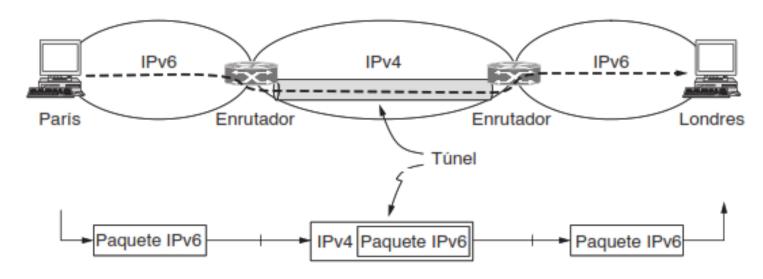


Figura 5-40. Tunelización de un paquete de París a Londres.



- Para hacer tunelización se requiere que los enrutadores sear multiprotocolo a nivel de capa de red: IPv4 e IPv6
- Una analogía interesante es la siguiente:

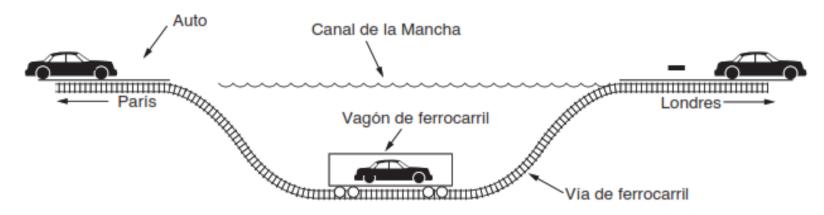


Figura 5-41. Tunelización de un auto de Francia a Inglaterra.



- La tunelización se usa para conectar hosts y redes aisladas a través de otras redes
- La red resultante se llama red overlay y se superpone sobre la red base
- Esta característica se usa para crear redes VPN Virtual Private Networks
- Una VPN es una red overlay que se usa para dar seguridad



#### Enrutamiento entre redes

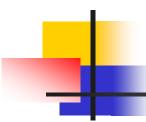
- Las redes interconectadas pueden utilizar diferentes protocolos de enrutamiento, lo cual es un problema
- Una red podría usar enrutamiento por estado de enlace y la otra enrutamiento por vector distancia
- Esto dificulta la determinación de rutas más cortas
- También, los operadores de las distintas redes pueden tener diferentes criterios de mejor ruta: la que tiene menos retardos, o la más económica
- Por otro lado, un operador puede que no quiera dar a conocer sus rutas



- Todo esto conducen a un algoritmo de enrutamiento de dos niveles:
  - Dentro de cada red se usa un protocolo intradominio
  - En la interred se usa un protocolo interdominio
- En internet se usa el protocolo BGP Border Gateway Protocol

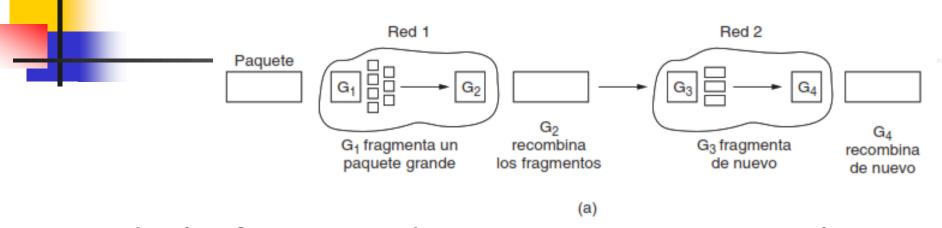
### Fragmentación de paquetes

- El tamaño máximo de paquetes tiene varias razones:
- 1. El hardware (por ejemplo el tamaño de una trama ethernet)
- 2. El sistema operativo (por ejemplo todos los búfers tienen tamaño 512 bytes)
- 3. Necesidad de reducir las retransmisiones debido a errores
- 4. Necesidad de evitar que un paquete use por demasiado tiempo el canal



- Las cargas útiles máximas para:
- Ethernet es 1500 bytes
- 802.11 es 2272 bytes
- IP es 65515 bytes
- Los host prefieren transmitir paquetes grandes para ahorrar bytes de los encabezados. Problemas: más fragmentación; retrasmisión de grandes paquetes debido a errores; luego la tarea de ensamblar los fragmentos
- El tamaño máximo de paquetes para llegar a un destino se llama MTU de ruta Path Maximum Transmission Unit
- Conocer MTU sería útil si la fuente conociera de antemano la ruta

## Fragmentación de paquetes. Dos maneras:



Todos los fragmentos de un mismo paquete siguen la misma ruta

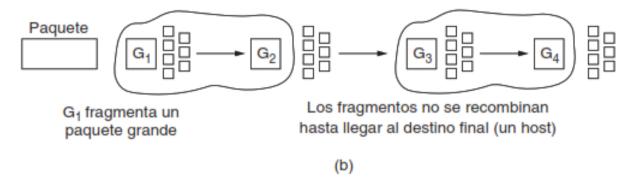


Figura 5-42. (a) Fragmentación transparente. (b) Fragmentación no transparente.

Los fragmentos de un mismo paquete podrían seguir diferentes rutas

### Fragmentación sucesiva a lo largo de una ruta

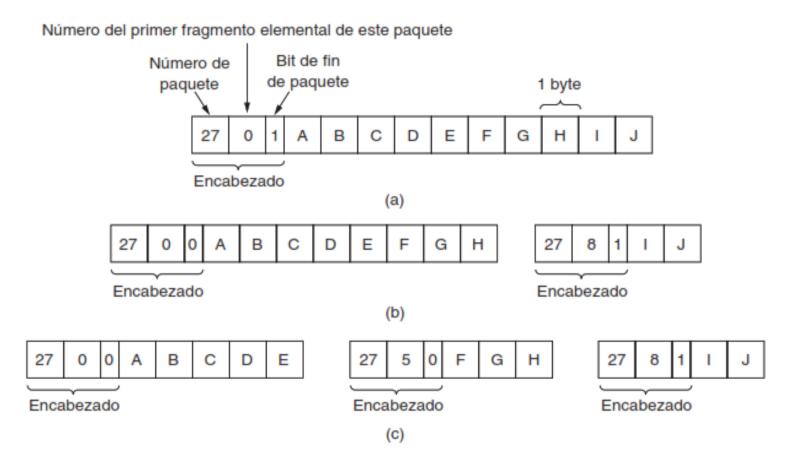


Figura 5-43. La fragmentación cuando el tamaño de datos elemental es de 1 byte. (a) El paquete original que contiene 10 bytes de datos. (b) Los fragmentos después de pasar por una red con un tamaño máximo de paquete de 8 bytes de carga útil más encabezado (c) Fragmentos después de pasar a través de una puerta de enlace de tamaño 5.

120

### Descubrimiento del MTU de la ruta

- Para evitar la fragmentación en la red, se realiza la fragmentación en el host origen
- Se envía los paquetes indicando en el encabezado que no se pueden fragmentar
- Si un router recibe un paquete demasiado grande, lo descarta y avisa al origen indicando cuál es el tamaño máximo
- Cuando el origen recibe el aviso, fragmenta el paquete y lo vuelve a enviar
- Si otro router más adelante tiene un MTU aun más pequeño, se repite el proceso
- La desventaja del MTU de ruta es que puede haber retardos al inicio



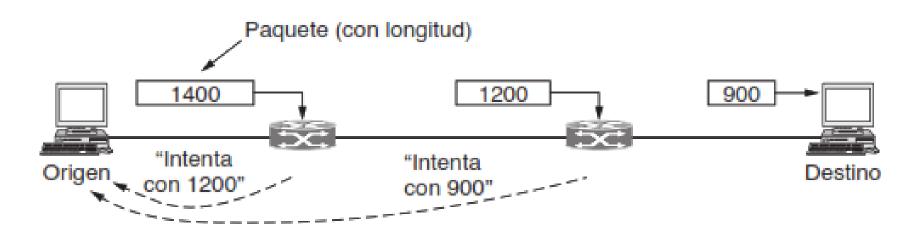


Figura 5-44. Descubrimiento de MTU de la ruta.



# 5.6 La capa de red de Internet



### Principios de diseño de la capa de red de Internet

- 1. Asegurarse de que el diseño funciona de verdad en la práctica
- 2. Mantener la simplicidad. "cuando tenga duda utilice la solución más simple". Si una característica del diseño no es esencial, descártela
- 3. Si hay varias maneras para realizar una tarea, elija solo una
- Diseñe modularmente
- 5. Haga un solo diseño que sea flexible a diferentes tipos de hardware, facilidades de transmisión y aplicaciones
- 6. Incluir parámetros si son inevitables
- 7. No hacer un diseño que contemple hasta los casos más extraños y raros



- 8. Diseño estricto en el cumplimento de estándares cuando se envíe paquetes y tolerante si llegan paquetes que no los cumple
- 9. Diseño debe ser escalable para millones de hosts
- 10. Diseño que permite un desempeño eficiente de la red al menor costo

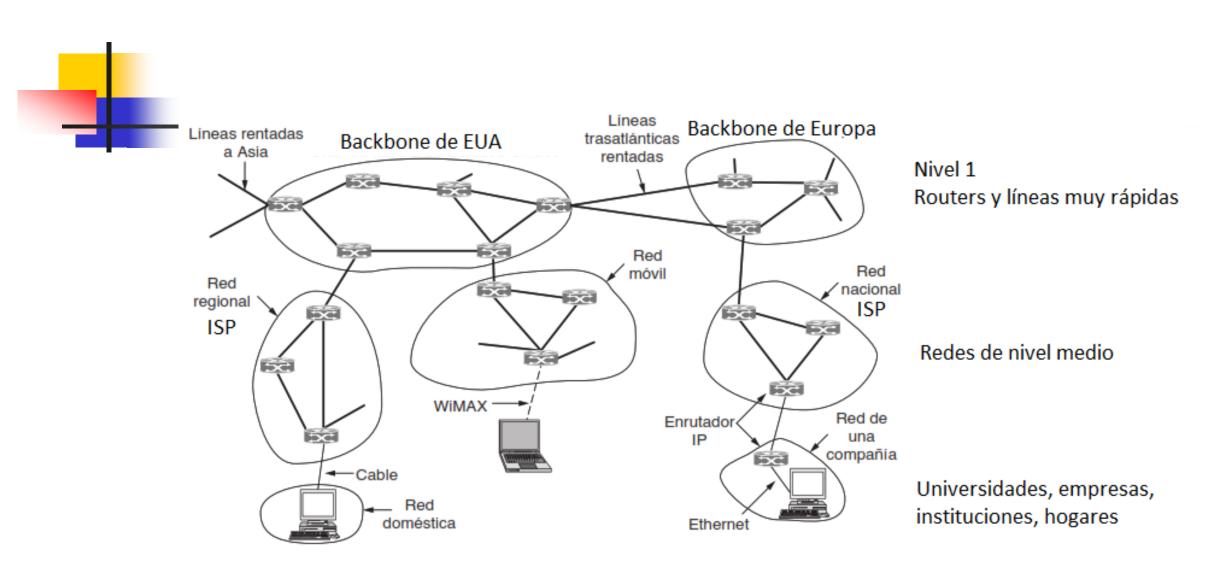


Figura 5-45. Internet es una colección interconectada de muchas redes.



- EL protocolo de la capa de red IP es lo que logra mantener interconectadas todas las redes que forman Internet
- Justamente, IP fue diseñado con este propósito
- En teoría, los paquetes IP pueden ser de hasta 64 KB (65536 bytes)
- En la práctica no sobrepasan los 1500 bytes que es la capacidad de una trama Ethernet
- Hay muchas rutas posibles entre dos hosts (figura 5.45)
- IP tiene la tarea de decidir qué ruta seguir

### El protocolo IPv4

- Un datagrama tiene dos partes: encabezado y carga útil
- El encabezado tiene una parte fija de 20 bytes y una parte opcional de longitud variable
- Los bits se transmiten de izquierda a derecha y de arriba abajo

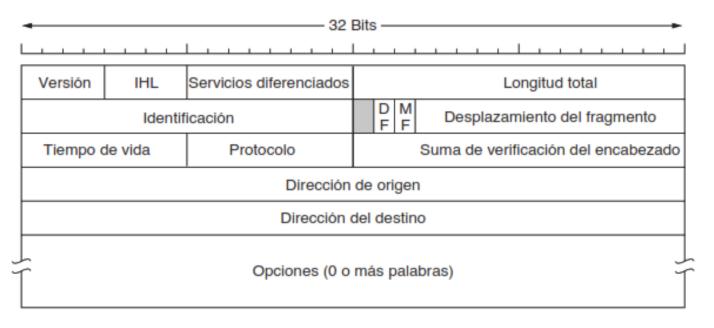


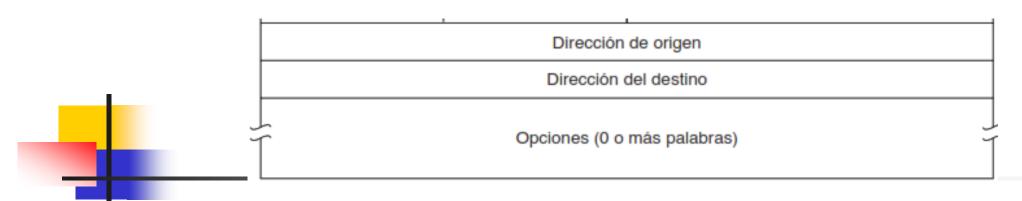
Figura 5-46. El encabezado de IPv4 (Protocolo de Internet).



- Versión. Indica la versión de IP. La que hoy domina Internet es IPv4
- La siguiente versión es IPv6, definida ya hace muchos años, apenas se usa
- IPv5 fue un protocolo experimental para tiempo real que no tuvo éxito
- IHL. Ya que la longitud del encabezado es variable, IHL indica esta longitud expresada en palabras de 32 bits. Lo mínimo es 5 (20 bytes = 160 bits)
- Servicios diferenciados. Para voz digital, lo rápido es más importante que lo preciso. Para envío de archivos lo preciso es más importante que lo rápido
- Longitud total. Incluye todo el datagrama: encabezado y datos. La longitud máxima es  $2^{16} 1 = 65535$

Identificación		D M Desp	lazamiento del fragmento
Tiempo de vida	Protocolo	Suma de verificación del encabezado	

- Identificación. Indica a qué paquete pertenece un fragmento. Los fragmentos de un mismo paquete tienen la misma identificación
- Bit sin uso
- DF. Don't fragment, es una orden para los enrutadores
- MF. More fragments, Todos los fragmentos excepto el último tienen encendido este bit. Esto es necesario para saber que ha llegado el último fragmento
- Desplazamiento del fragmento. Indica a qué parte del paquete actual pertenece este fragmento
- Tiempo de vida. TTL, Contador de saltos de un paquete en la red para evitar que vague sin fin cuando se corrompen las tablas de ruteo
- Protocolo. de transporte al que se debe entregar el paquete: TCP o UDP
- Suma de verificación del encabezado. Checksum para detectar errores



- Dirección de origen y dirección del destino. Indican las direcciones IP de las interfaces de red del emisor y receptor
- Opciones. Creado pensando en las versiones futuras de IP para que lo puedan utilizar. Actualmente no se utiliza. Algunas de ellas son:

Opción	Descripción	
Seguridad.	Especifica qué tan secreto es el datagrama.	
Enrutamiento estricto desde el origen.	Proporciona la ruta completa a seguir.	
Enrutamiento libre desde el origen.	Proporciona una lista de enrutadores que no se deben omitir.	
Registrar ruta.	Hace que cada enrutador adjunte su dirección IP.	
Estampa de tiempo.	Hace que cada enrutador adjunte su dirección y su etiqueta de tiempo.	

Figura 5-47. Algunas de las opciones del protocolo IP.

# Direcciones IP

- Una dirección IP no se refiere a un host sino una interfaz de red
- En la práctica un host tiene una interfaz de red y un router tiene varia
- A diferencia de las direcciones de ethernet, las direcciones IP son jerárquicas: porción de red y porción de host
- Las direcciones jerárquicas tienen ventajas y desventajas
- La ventaja es que los enrutadores pueden enrutar con base a la porción de red o prefijo, así las tablas de ruteo son mucho más pequeñas
- Desventajas: La dirección IP de un host depende de su ubicación en la red. Una dirección ethernet puede usarse en cualquier parte del mundo
- Otra desventaja es que un sistema jerárquico desperdicia direcciones

#### Subredes

- Para evitar conflictos, los números de red se administran a través de una empresa sin fines de lucro: ICANN
- ICANN ha delegado parte de las direcciones a varias autoridades regionales, las cuales reparten las direcciones a los ISPs
- Un bloque de direcciones internamente puede ser repartido entre varias redes, pero actuar como una sola red ante el mundo exterior
- Cada parte es una subred

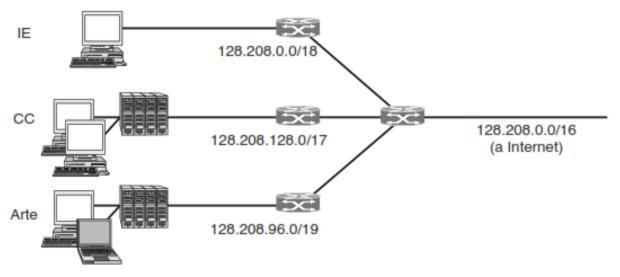


Figura 5-49. División de un prefijo IP en redes separadas mediante el uso de subredes.