## 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 necesitar 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

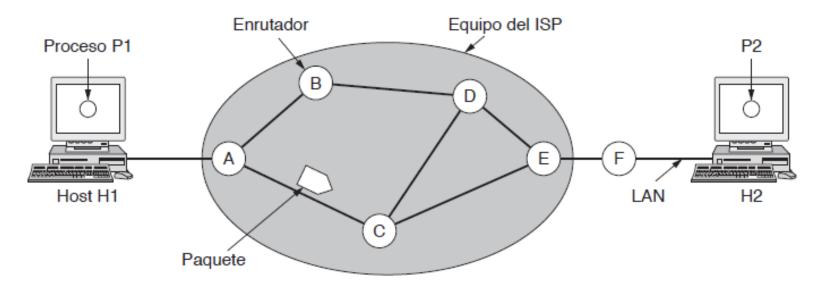


Figura 5-1. El entorno de los protocolos de la capa de red.



- 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
- En un ruteador de la subred, el paquete se almacena un momento hasta que llegue por completo, se compruebe errores y haya disponible una línea de salida
- El paquete se reenvía al siguiente enrutador hasta alcanzar el destino



#### 5.1.2 Servicios proporcionados a la capa de transporte

- La capa de red da un esquema de direccionamiento uniforme a la red
- Los servicios que da la capa 3 del modelo OSI son:
  - Servicio orientado a la conexión, y
  - Servicio sin conexión
- La Capa de Internet de la Arquitectura TCP/IP solo da un servicio sin conexión

#### 5.1.3 Implementación del servicio sin conexión

- Un mensaje a enviar podría ser dividido en varios paquetes
- Los paquetes se colocan en la subred y se enrutan de manera independiente
- Los paquetes se llaman datagramas
- Cada enrutador tiene una tabla de enrutamiento a cada destino final
- Estas tablas pueden crearse manualmente o dinámicamente
- Para crear tablas en forma automática se deben usar protocolos de enrutamiento como OSPF o RIP
- La información de una tabla de enrutamiento podría variar en el tiempo



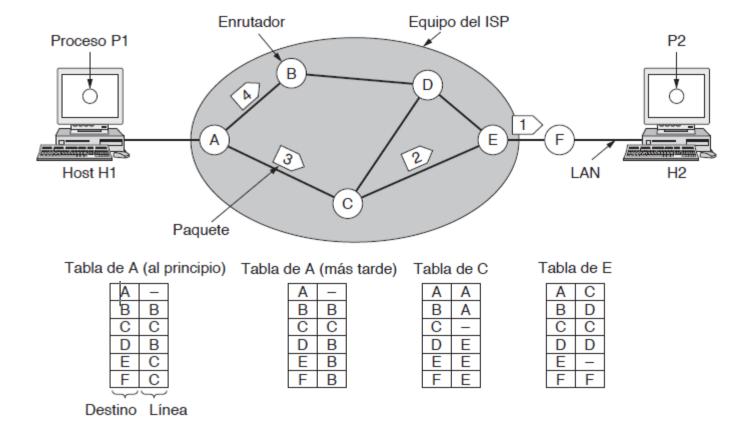


Figura 5-2. Enrutamiento dentro de una red de datagramas.

#### 5.1.4 Servicio orientado a conexión

- Antes de enviar paquetes se fija un camino entre ruteadores finales o extremo a extremo
- Este camino se llama circuito virtual, simula un circuito físico exclusivo
- (En la Capa 4 se llama conexión lógica)
- Así, no se tiene 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 virtuales de otros usuarios

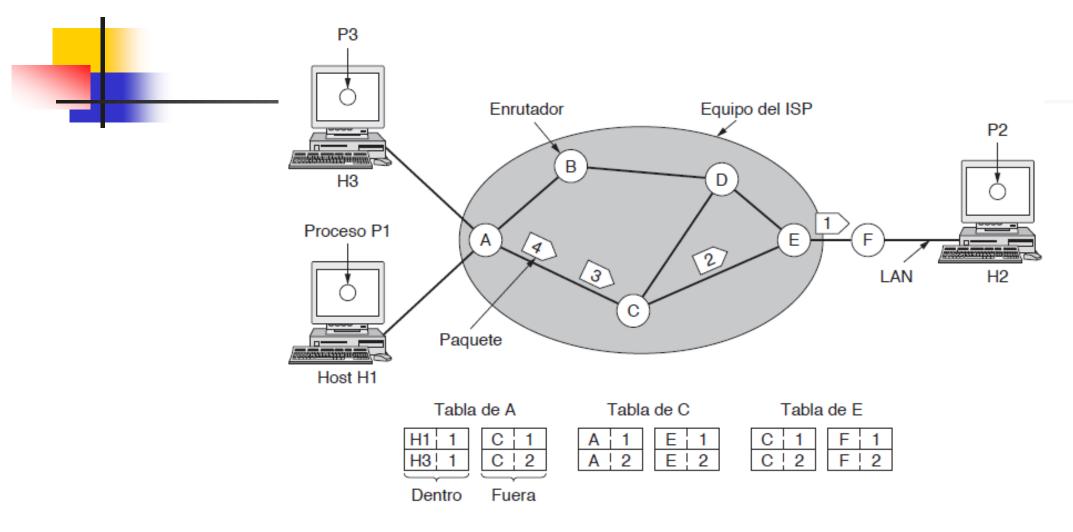


Figura 5-3. Enrutamiento dentro de una red de circuitos virtuales.

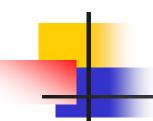


- Tabla del router A:
- La primera fila indica que el CV 1 viene de H1, se envía a C con el número CV 1
- La segunda fila indica que el CV 1 viene de H3, se envía a C con el número CV 2
- Todo el tráfico fluye por la misma ruta o conexión
- Cada paquete lleva un ID que indica a cuál circuito virtual pertenece
- Los CVs lo establecen los ruteadores extremos
- (La conexiones lógicas lo establecen los hosts extremos)

# 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 automáticamente y actualiza dinámicamente las rutas a cada ruteador (OSPF, RIP)
- La construcción de la tabla se realiza al iniciar el ruteador
- Reenviar: 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
- Los CVs se construyen con base en la información de las tablas de enrutamiento
- Con CVs, la decisión de enrutamienyo se toma una vez al establecer el CV

#### Propiedades de un algoritmo de enrutamiento

- 1. Exactitud. Permite alcanzar el destino deseado y no otro
- 2. Sencillez. Trabaja usando el mínimo de recursos y en forma rápida
- 3. Robustez. Soportar fallas de hosts, ruteadores y líneas de comunicación
- 4. Estabilidad. Determina las rutas para todas las posibles topologías
- 5. Equidad. Permitir enviar a todos los hosts conectados a la red
- 6. Optimización. Usa al máximo de capacidad de transmisión de la red

#### 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 o dinámicos. Las tablas varían dinámicamente según variaciones de topología y tráfico
  - Esta información se toma de los ruteadores vecinos o de todos ellos

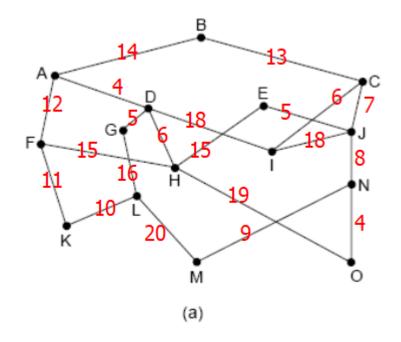


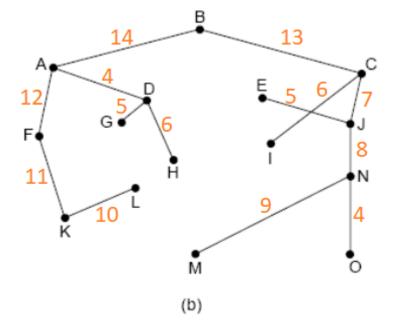
#### 5.2.1 Principio de optimización

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



#### Árbol generador. Algoritmo PRIM (Robert C. Prim) Árbol de peso mínimo









Robert C. Prim 1921 - 2021



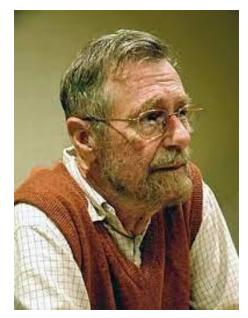
- Algoritmos de enrutamiento estático:
  - Enrutamiento por la ruta más corta
  - Enrutamiento por inundación

### 5.2.2 Enrutamiento por la ruta más corta

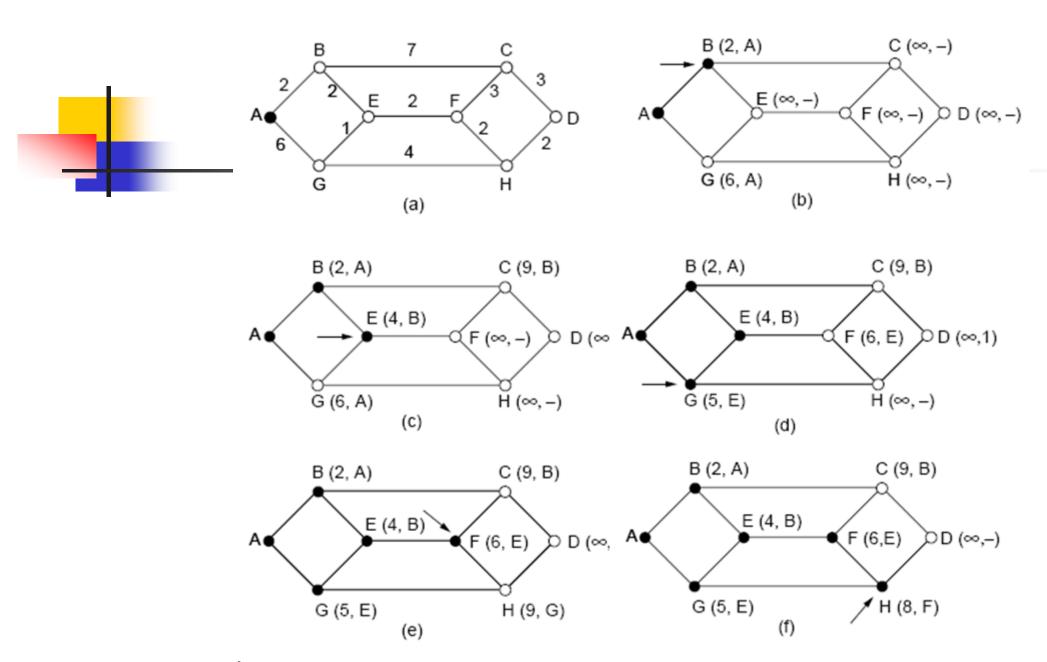
- Se arma un grafo de la subred
  - Cada nodo es un router
  - Cada línea del grafo representa una línea de comunicación
- La mejor ruta entre dos routers es la distancia más corta que indica el grafo
  - Menor número de saltos
  - Menor distancia geográfica en km
- También hay otras métricas: retardo, 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 distancias y caminos más cortos desde un nodo origen 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



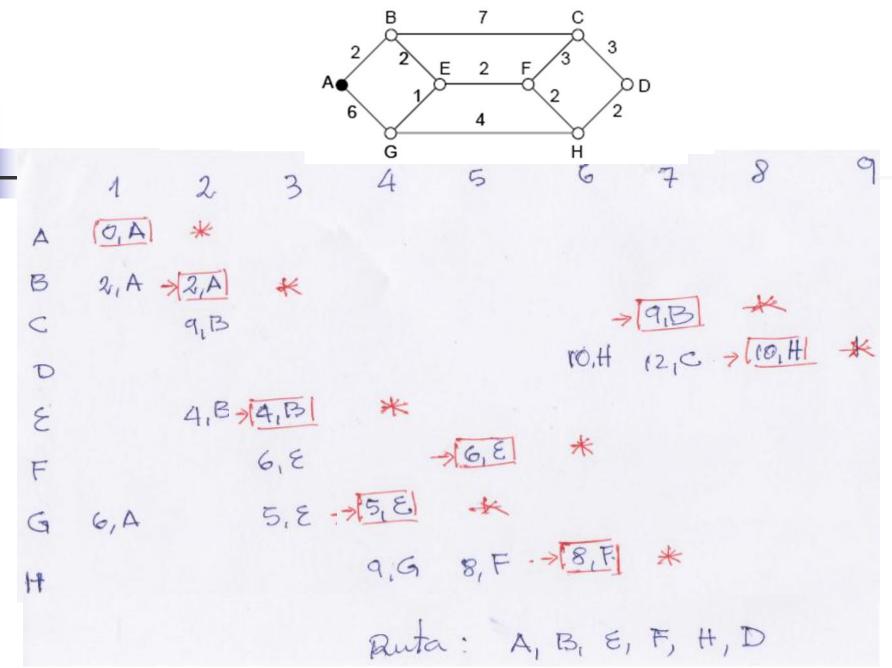
1930 - 2002



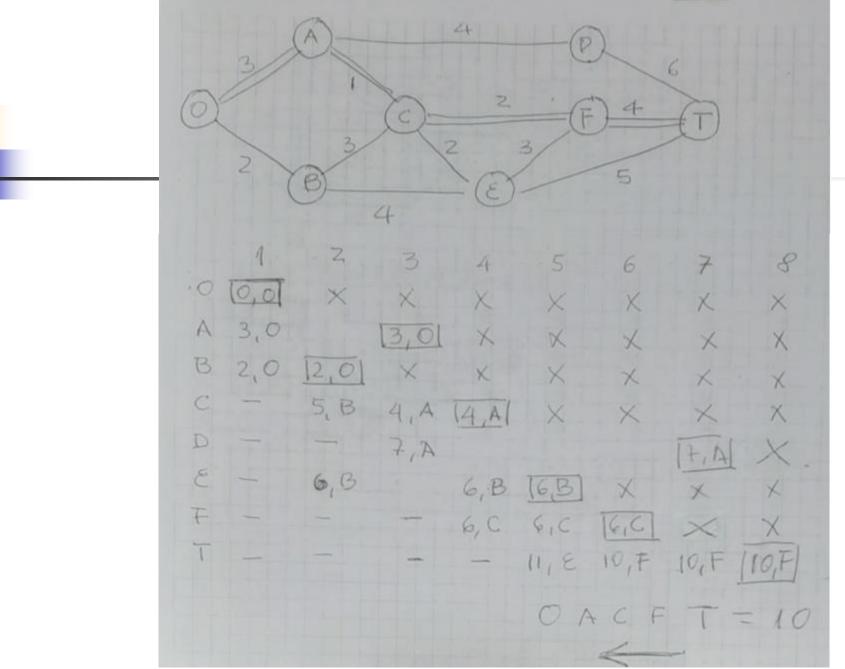
Ing. Raúl Ortiz Gaona



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

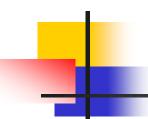


26



#### 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

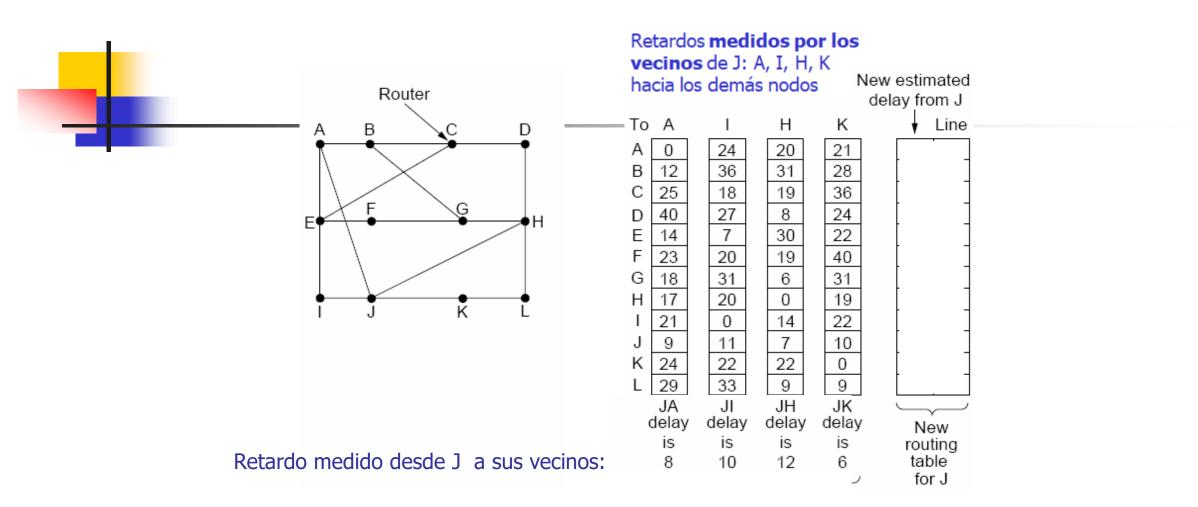


- Algoritmos de enrutamiento dinámicos:
  - Enrutamiento por vector de distancia
  - Enrutamiento por estado del enlace

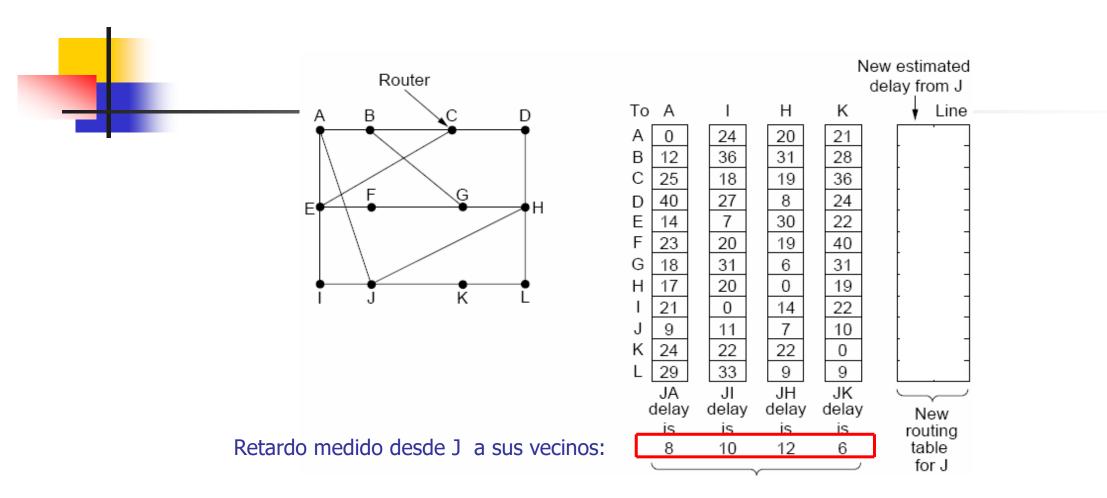


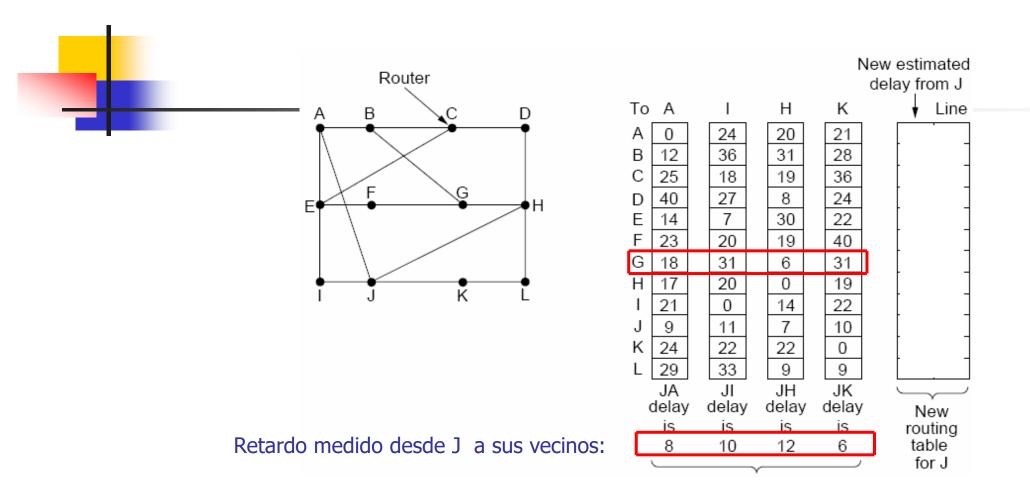
#### 5.2.4 Enrutamiento por vector de distancia

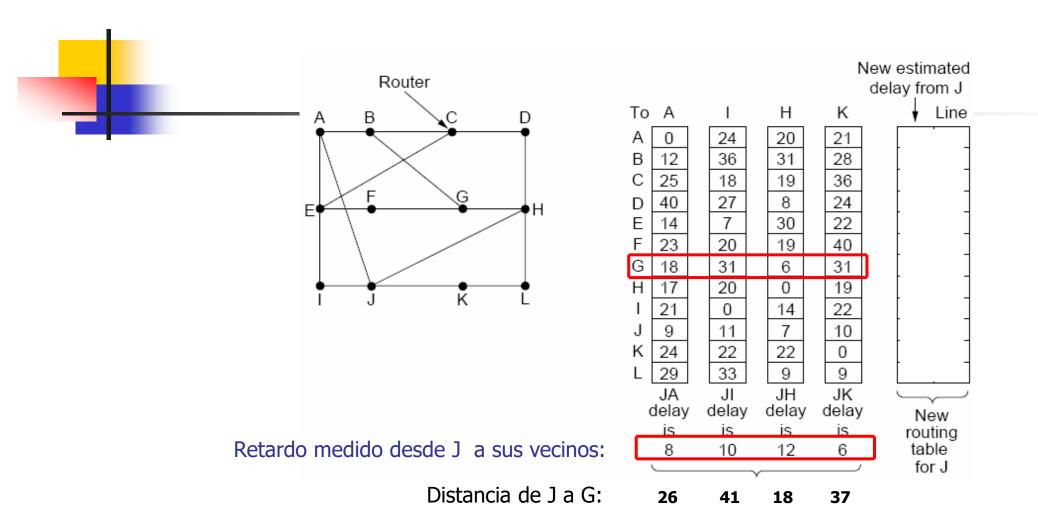
- Enrutamiento usado en el protocolo RIP Routing Information Protocol
- Se inició el desarrollo en 1957
- Cada router tiene un vector con la mejor distancia y línea de salida a cada destino
- RIP actualiza el vector cada 30" intercambiando información con los vecinos
- "Vector de distancia" fue el primer algoritmo de enrutamiento de ARPANET
- Se lo utilizó hasta 1979

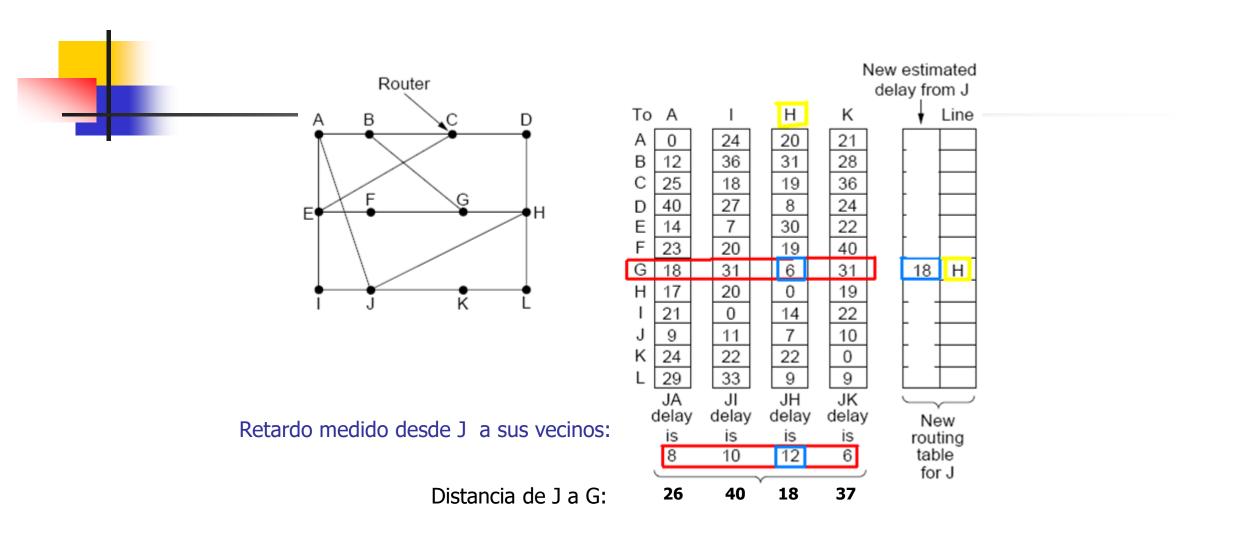


Cada columna es el *Vector de Distancia* de cada routeador

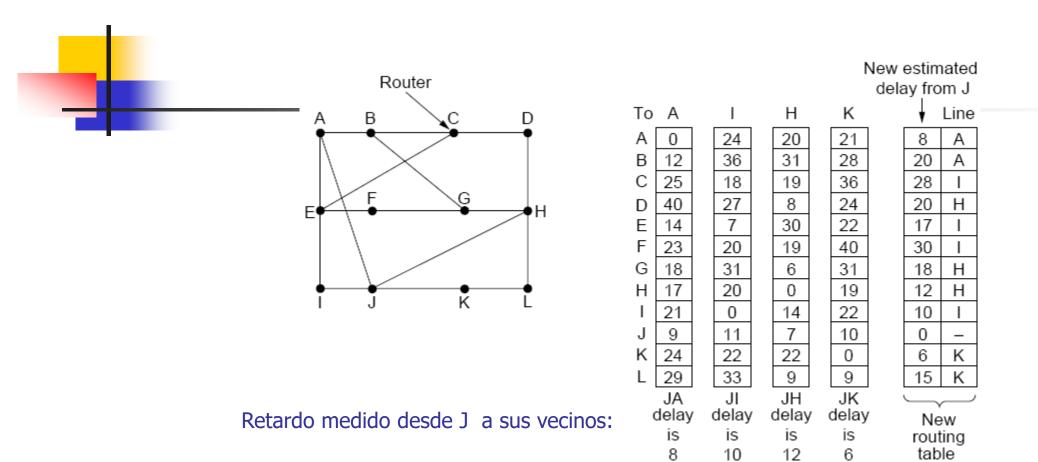








Calcular las distancias y la ruta desde J a los destinos A, B, C y D



for J



- La métrica usada es el número de paquetes en cola a lo largo de la ruta
- Desventaja 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

- El protocolo OSPF Open Shortest Path First utiliza este enrutamiento
- OSPF se usa en las redes dorsales de Internet
- Pasos en los que se basa este enrutamiento
  - Descubre las direcciones de sus vecinos
  - 2. Mide el retardo a cada uno de sus vecinos
  - 3. Construye un paquete con esta información
  - 4. Comparte este paquete con todos los demás enrutadores
  - 5. Determina el *Ruta Más Corta* a todos los destinos

## 1. Conocer a sus vecinos

- Se envía un paquete HELLO por cada línea a sus enrutadores vecinos
- Cada vecino se identifica respondiendo con su dirección

### 2. Medir el retardo a cada vecino

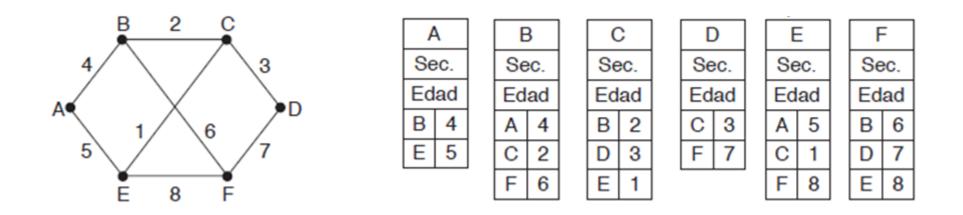
- Se envía un mensaje echo request, (ping) y esperando un mensaje echo replay del protocolo ICMP Internet Control Message Protocol
- Ping está disponible en varios sistemas operativos: IOS CISCO, WINDOWS



## 3. 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

## Paquetes de estado de enlace construidos por cada enrutador



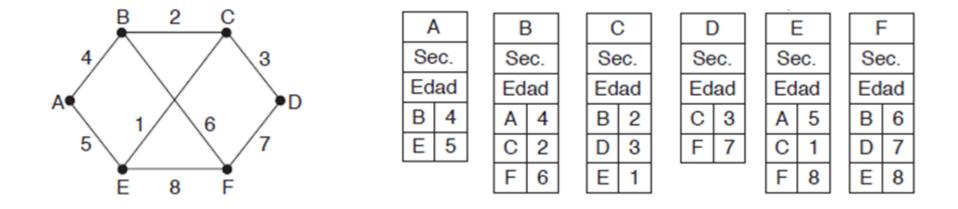
Estos paquetes se envían a todos los enrutadores de la red

## 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



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



## 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 siguiente paquete con secuencial 5 será rechazado por obsoleto

## 5. Cálculo de las nuevas rutas

- Con todos los paquetes de estado del enlace, el router construye el grafo
- Se usa Dijkstra para construir la Ruta Más Corta a los demás routers

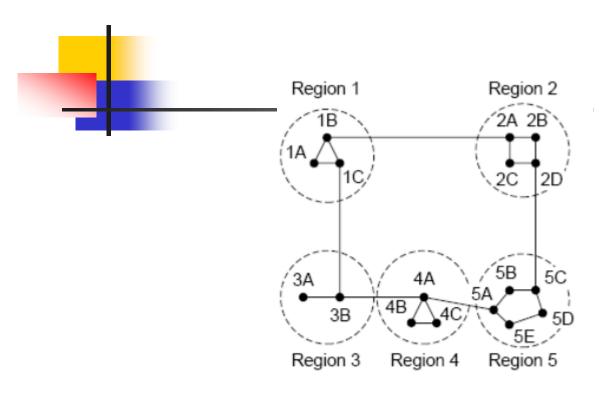
- Este algoritmo funciona bien en la práctica
- Es muy usado en redes actuales

### Resumen

- Enrutamiento estático:
  - Tablas de enrutamiento creadas a mano y a priori
  - Inundación
- Enrutamiento dinámico:
  - Vector distancia: RIP
  - Estado del enlace: OSPF
- Aparte del ruteo estático o dinámico, hay otros tipos de enrutamiento
  - Jerárquico
  - Por difusión
  - Host migrante
  - 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	ı	_
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)	

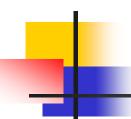
Hierarchical table for 1A

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

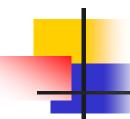
(c)

## 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 dos métodos
  - Método de enrutamiento multidestino
  - Método de inundación



- Método de enrutamiento multidestino
  - Cada paquete contiene una lista con los destinos deseados
  - El enrutador revisa los destinos y determina las líneas de salida
  - El enrutador genera una copia del paquete para cada línea de salida. Otra forma:
  - 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



- Método de inundación
  - Se reenvía un paquete por todos los enlaces de salida
  - Genera demasiados paquetes
  - Desperdicia ancho de banda

## 5.2.9 Enrutamiento para hosts migrantes y ambulantes

- Tipos de hosts
  - Estacionarios (PCs)
    - Se conectan a una red cableada
  - Migratorios (laptops)
    - Se mueven de un lugar fijo a otro fijo para trabajar en forma estacionaria
    - Se conectan a una red cableada o inalámbricamente
  - Ambulantes (Laptops y dispositivos móviles)
    - Dispositivos que trabajan en movimiento
    - Laptops se conectan a la red celular a través del teléfono, o con módem 4G/5G
    - Dispositivos móviles. Smart phones, lector de tarjetas de crédito, dispositivo para control de inventarios. Se conectan al WiFi

### Hosts migrantes que trabajan estacionariamente

- Para enviar un paquete a un portátil, la red primero tiene que localizar a dónde migró
- Los hosts migratorios tienen localidad base y dirección base que no cambian

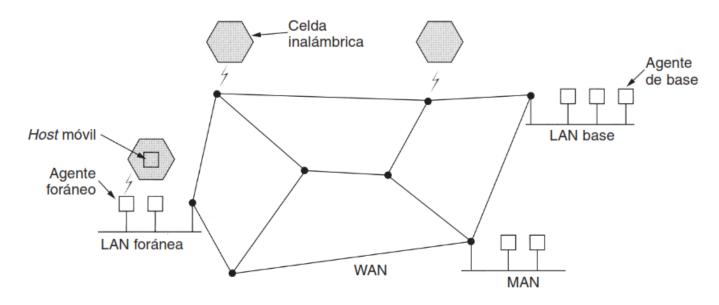


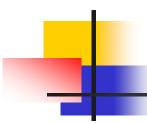
Figura 5-18. WAN a la que están conectadas LANs, MANs y celdas inalámbricas.



- Una red se divide en áreas
- Área: es 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 migrantes que visitan el área foránea
- Una laptop entra en un área foránea, debe registrarse con el agente foráneo



- 1. Periódicamente el *agente foráneo* difunde un paquete con su dirección
- 2. Cuando llega uno de esos paquetes, La laptop envía su dirección base al agente foráneo
- 3. El agente foráneo se comunica con el *agente de base* de la laptop para informar que esa 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* y le pide que acepte a la laptop
- 5. El agente foráneo registra la laptop



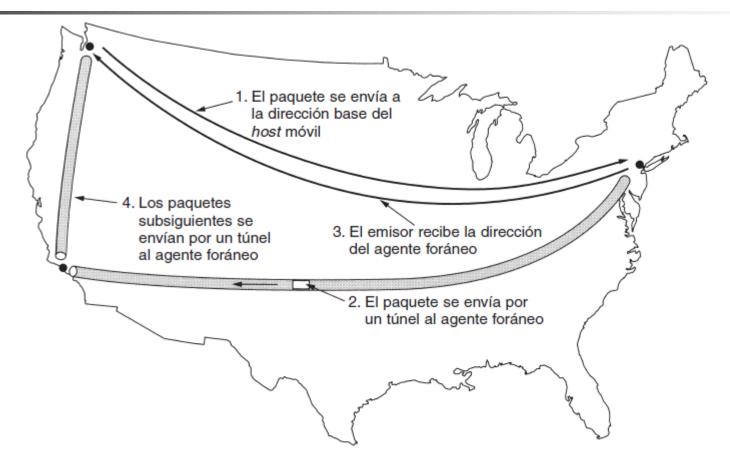


Figura 5-19. Enrutamiento de paquetes para *hosts* móviles.

- 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 IP destino dirección base, encapsulado dentro de otro paquete con otra IP destino dirección del agente foráneo
- 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

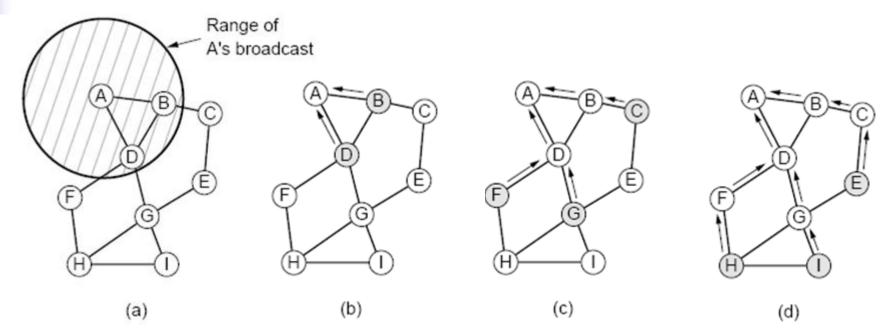
### 5.2.10 Enrutamiento en redes *ad hoc*

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



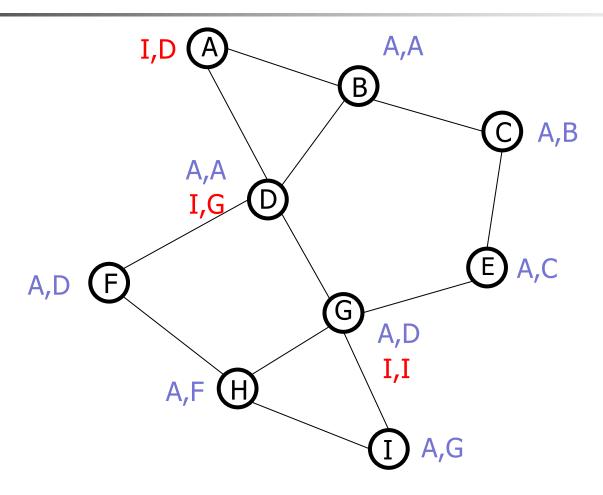
- La topología de la red cambia todo el tiempo
- Las rutas cambian todo el tiempo
- Algoritmo de enrutamiento AODV Ad hoc On-Demand Distance Vector
- Se define una ruta a un destino sólo cuando alguien desea enviar un paquete
- Dos nodos se conectan si se pueden comunicar directamente
- Si uno de los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





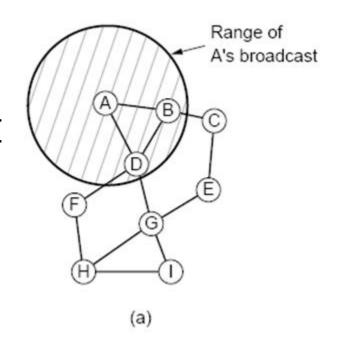
Los nodos que reciben el broadcast crean una ruta que apunta al nodo A





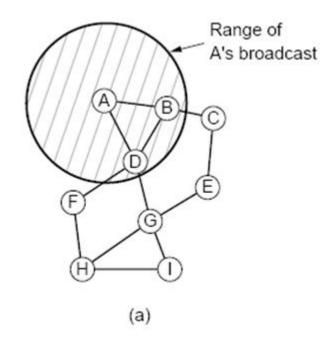


- A desea enviar un paquete a I
- AODV mantiene una tabla en cada nodo
- A busca en su tabla pero no encuentra una entrada para I
- Ahora debe descubrir la ruta a I
- A difunde un paquete de solicitud de ruta
- El paquete llega a B y D





- 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





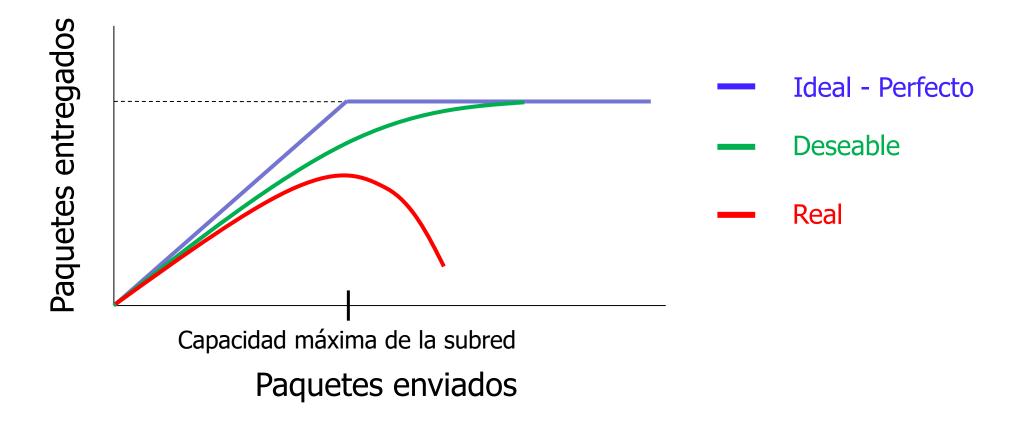
### Mantenimiento de rutas en redes ad-hoc

- 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

66

# 5.3 Algoritmos de control de congestión







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

## Causas de la congestión





- Llegan a la red muchos paquetes por diferentes líneas de entrada pidiendo la misma línea de salida
- 2. Insuficiente memoria en ruteadores
- Insuficiente capacidad de procesador
- Insuficiente capacidad de transmisión de las líneas de salida
- Actualizar solo una parte 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 la erd para detectar posible congestión
    - Informar a los a los hosts que inyectan tráfico a la red para que actúen



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

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

#### Información de la congestión



- Routers monitorean la red con envío periódico de paquetes de sondeo de congestión
  - Esta información permite desviar tráfico fuera del área congestionada
- Si se detecta congestión el ruter envía un paquete informando el problema al origen u orígenes del tráfico
  - Estos paquetes aumentan la congestión



 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 host emisor 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



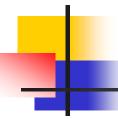
## 5.4 Calidad de Servicio QoS



- 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 del 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:

- 1. Sobredimensionamiento
- 2. Almacenamiento en búfer
- 3. Modelado de tráfico
- 4. Algoritmo de cubeta con goteo
- 5. Algoritmo de cubeta con *tokens*
- 6. Reservación de recursos
- 7. Control de admisión
- 8. Enrutamiento proporcional, y
- Calendarización de paquetes

#### 1/9. Sobredimensionamiento

- Para que los paquetes fluyan con facilidad, la solución fácil es dar suficiente: capacidad de CPU; memoria; ancho de banda; y, número de líneas
- 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 (VOD) o audio bajo demanda esta técnica es muy útil
- Usado por empresas de streaming: YouTube, Netflix, Prime Video, . . .

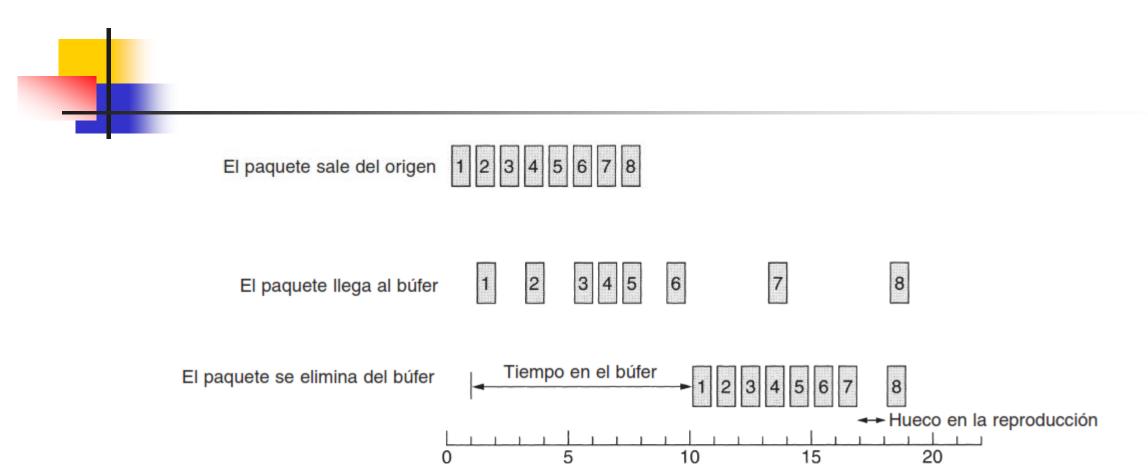


Figura 5-31. Refinamiento del flujo de paquetes almacenándolos en el búfer.

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

- Los servidores pueden generar diferentes tipos de tráfico
- Servidores que usan tecnología streaming como Netflix o YouTube manejan muchos flujos al mismo tiempo, y permitiendo avance y retroceso
- Servidores de videoconferencia como Zoom, Google Meet, no almacenan el flujo en búfer porque la transmisión es en tiempo real
- Surge entonces la necesidad de modelar el tráfico
- El proveedor de contenido 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
- Las partes deben cumplir lo acordado



- El ISP supervisa el tráfico generado por el cliente que cumpla con del acuerdo
- La supervisión es más fácil hacerlo con circuitos virtuales que con datagramas
- No se necesita que un servidor de archivos firme un acuerdo el ISP
- Sí se necesita que servidores de streaming y de tiempo real firmen acuerdos

#### 4/9 Algoritmo de cubeta con goteo

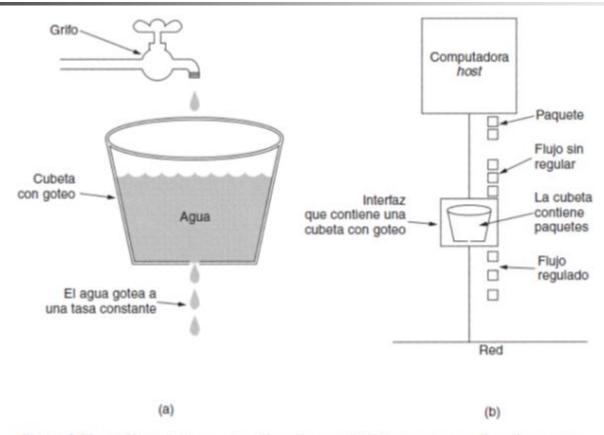


Figura 5-32. (a) Una cubeta con goteo, llena de agua. (b) Cubeta con goteo, llena de paquetes.



- Suponga 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 ρ es constante cuando hay agua en el balde
- Si el balde está vacío, ρ = 0
- 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 usuario dentro del host en un flujo continuo hacia la red
- De esta manera se moderan las ráfagas y se reduce la congestión

#### 5/9 Algoritmo de cubeta con tokens

- En ocasiones es necesario permitir ráfagas de tráfico
- Aplicaciones que generan ráfagas son transferencia de archivos y VoD (streaming) que ajustan la calidad según el ancho de banda disponible
- El algoritmo de cubeta con goteo no lo permite
- Entonces se requiere un algoritmo más flexible
- Éste es el algoritmo de cubeta con tokens

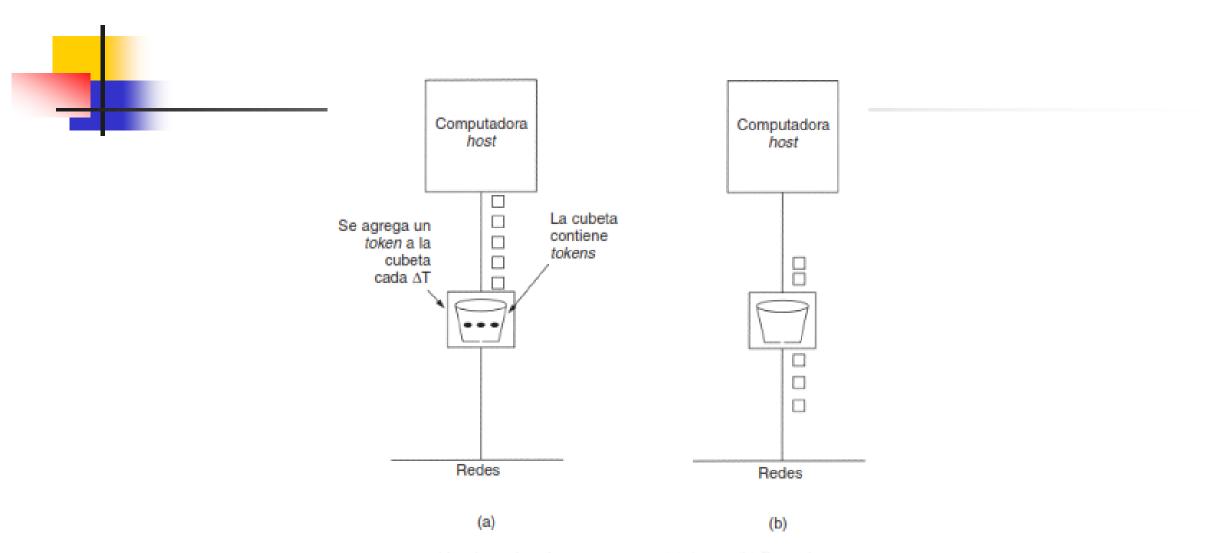
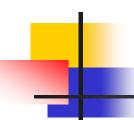


Figura 3-34. Algoritmo de cubeta con tokens. (a) Antes. (b) Después.



- El balde contiene tokens generados por un reloj a razón de uno cada ΔΤ
- Para transmitir un paquete, se toma un token y se destruye
- Se permite que un host acumule n tokens hasta que se llene el balde
- Así se pueden enviar 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
- Algoritmos de cubeta con goteo y con tokens regulan el tráfico de hosts y Routers

#### 6/9 Reservación de recursos

- Para reservar recursos es necesario que los paquetes de un mismo flujo sigan la misma ruta
- Se necesitan circuitos virtuales
- Un flujo de paquetes necesita: memoria, tiempo de CPU y ancho de banda
- Reservando recursos se logra no sobrecargar la red

#### 7/9 Control de admisión

- Si el flujo entrante en routers está bien modelado y sigue una misma ruta
- Entonces se puede solicitar a la red reservar recursos
- El ruteador analiza la solicitud con base en:
  - La capacidad de sus recursos
  - y los compromisos adquiridos con otros flujos
- Entonces admite o rechaza un nuevo flujo
- Las partes en la negociación son: emisor, receptor y ruteadores de la red



- 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

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	

#### 8/9 Enrutamiento proporcional

- La mayoría de protocolos de enrutamiento envían todo el tráfico por la mejor ruta al destino
- Para dar QoS se debe dividir el tráfico a cada destino por diferentes rutas
- Un modo 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 que acaparan la capacidad del router, limitando a los otros flujos
- Para evitar esto, existe el algoritmo encolamiento justo
- Con este algoritmo los routers tienen una cola para cada flujo
- El enrutador explora las diferentes colas de manera circular
- Problema: este algoritmo da más tiempo a los flujos que tiene paquetes más grandes
- Un mejora es hacer la exploración circular por bytes y no por paquetes

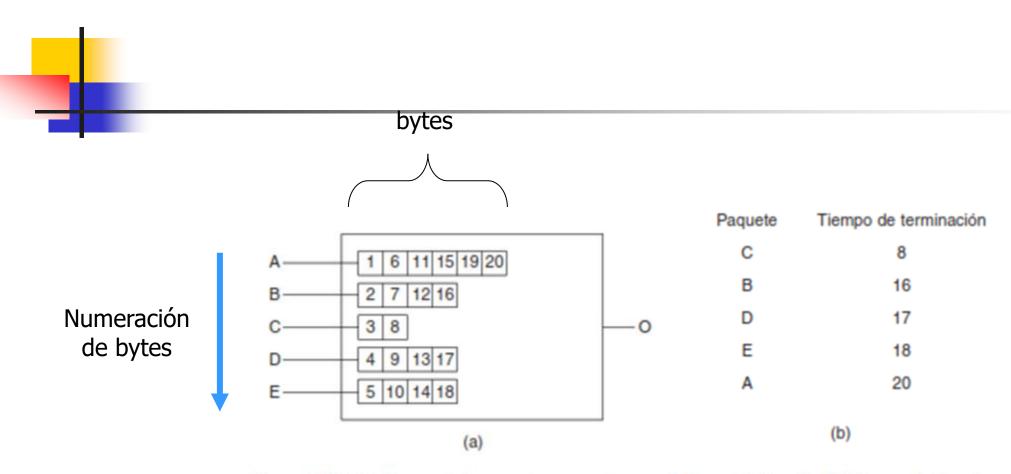


Figura 5-36. (a) Un enrutador con cinco paquetes encolados en la línea O. (b) Tiempos de terminación de los cinco paquetes.



- Un problema con este algoritmo es que da la misma prioridad a todos los flujos
- Una solución es dar un peso diferente a cada flujo



## 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, . . .
- Sin embargo, estas redes se pueden interconectar entre sí

#### Diferencias entre redes

- Capa Física: Diferentes esquemas de representación de los bits
- Capa de Enlace: Formato de tramas
- Capa de Red
  - Tipo de servicio: sin conexión y orientado a conexión
  - Multidifusión o no
  - Tamaños máximos de paquetes
  - Oferta de diferentes QoS
- Capa de Aplicación: niveles de seguridad
- Diferentes criterios de facturación
- Hay que conciliar estas diferencias para lograr la interconexión de redes

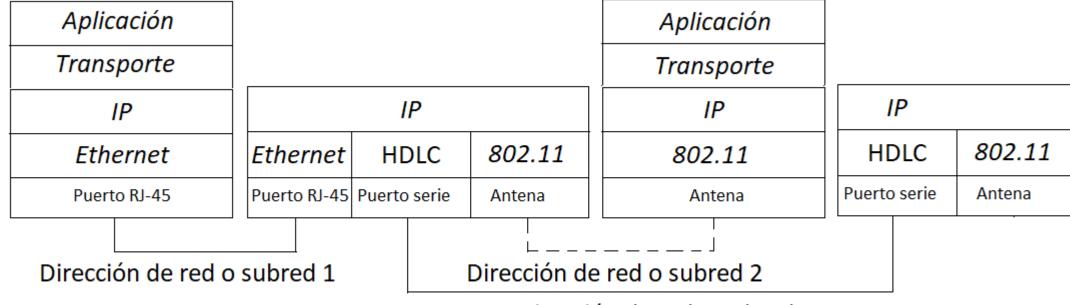
#### Ejemplo de dos redes incompatibles

- Capa Física
  - Cable de par trenzado vs enlace inalámbrico
- Capa de Enlace de Datos
  - 802.3 Ethernet vs 802.11 WiFi
- Capa de Red
  - X.25 orientado a conexión de OSI vs IP
  - CLNP sin conexión de OSI vs IP
- Capa de Transporte
  - TP4 de OSI vs TCP
- Capa de aplicación
  - X.400 de OSI vs SMTP de TCP/IP



- Con routers/gateways, que son routers multiprotocolo que traducen los paquetes de la una red en paquetes de la otra red
- 2. Gateways de aplicaciones incompatibles: SMTP a X.400; HTTPS a HTTP; FTP a SFTP; . . .
- 3. Con una capa común sobre las otras capas inferiores de cada red para ocultar las diferencias de las redes. Esta capa común es IP
- 4. Túnel para conectar dos redes compatibles a través de una red incompatible

#### Capa Común IP



Dirección de red o subred 3



- La interconexión de redes frecuentemente se logra cuando hay una capa de red común
- IP es el protocolo de red universal. Hay otros pero son obsoletos: IPX de Novell Netwere, SNA de IBM, AppleTalk, . . .
- IP se usa en redes de computadoras, telefonía móvil y red de sensores, cámaras de video-vigilancia, . . .
- IP ha dado lugar a IPv4 e IPv6 que son incompatibles



- Hubs son de capa física y solo transfieren bits desde una cable a otro
- Switches interconectan PCs con diferentes velocidades 10, 100, 1.000 y 10.000 Mbps
- Routers son capa 3 que interconectan distintos tipos de redes
- Las tramas en cada tipo de red tienen diferentes tamaños máximos, así que habrá que fragmentar en tramas más pequeñas

#### Tunelización

- Llamado también encapsulación
- Se lo hace si los hosts origen y destino tienen el mismo tipo de red con una red diferente en el medio

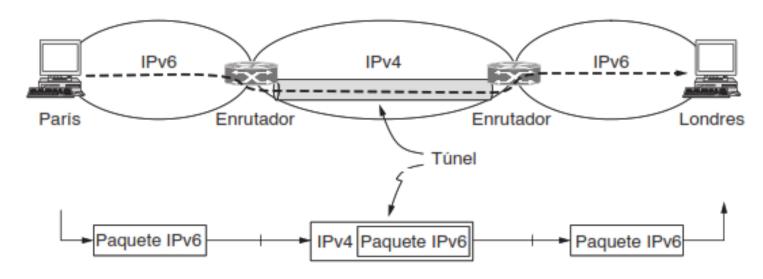


Figura 5-40. Tunelización de un paquete de París a Londres.



- Para hacer tunelización se requiere que los enrutadores sean multiprotocolo a nivel de capa de red: IPv4 e IPv6
- Analogía, el Eurotúnel:

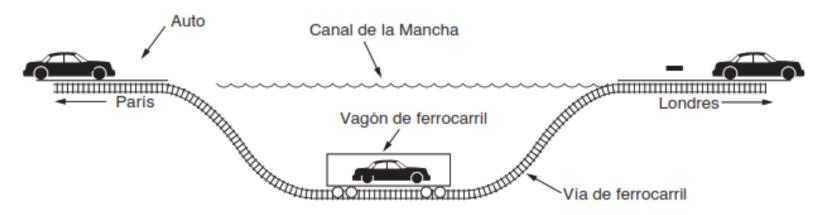


Figura 5-41. Tunelización de un auto de Francia a Inglaterra.



- La tunelización se usa para conectar redes aisladas a través de otras redes
- La tunelización se usa también para crear redes VPN Virtual Private Networks
- Una VPN se usa para dar seguridad
- Los paquetes IP se encriptan y se encapsulan en otros paquetes IP, que tiene la dirección IP del servidor VPN y la dirección IP del cliente VPN.

#### Problemas de enrutamiento entre redes

- Cada una de las redes interconectadas pueden utilizar diferentes protocolos de enrutamiento
- Una red podría usar enrutamiento por estado de enlace y la otra enrutamiento por vector distancia
- Esto dificulta la determinación de rutas más cortas
- Los operadores de las redes pueden tener diferentes criterios de mejor ruta: la que tiene menos saltos, menos retardos, mayor ancho de banda, la más económica, . . .



- Por otro lado, un operador puede que no quiera dar a conocer sus rutas por diferentes motivos
- 1. Privacidad y seguridad para evitar ataques y proteger a los sus clientes
- Ventaja competitiva, par evitar que sus competidores redirijan el tráfico por otras redes, reduciendo la demanda de sus servicios
- 3. Tráfico no deseado proveniente de redes externas que podrían congestionar la red



- 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 el protocolo interdominio es BGP Border Gateway Protocol a ser usado entre las operadoras de las redes
- A nivel mundial, las grandes operadoras de redes son AT&T, Verizon,
  Vodafone, Telefónica
- En Ecuador, las operadoras de las redes son CNT, Claro, Movistar, Tuenti,
  Netlife, que son reguladas por ARCOTEL

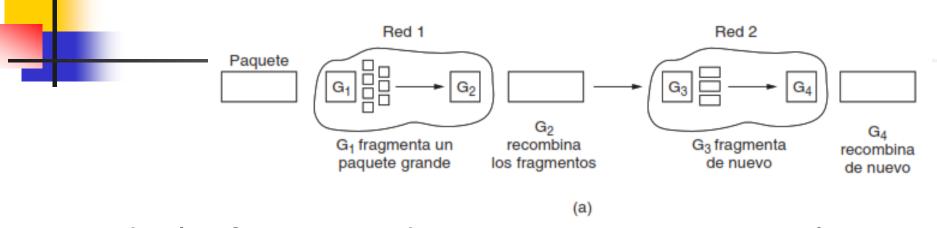
## Fragmentación de paquetes

- Reducir el tamaño máximo de paquetes tiene varias razones:
- 1. El hardware (por ejemplo el tamaño de una trama ethernet: 1518 bytes)
- Los búfers del sistema operativo tienen el tamaño de 512 bytes
- 3. Reducir retransmisiones de paquetes grandes debido a pérdida o errores
- 4. 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: tarea de fragmentar y ensamblar fragmentos
- El tamaño máximo de paquetes para llegar a un destino se llama MTU de ruta Path Maximum Transmission Unit
- Conocer MTU es útil si la fuente conoce de antemano la ruta

# Fragmentación de paquetes. Dos maneras:



Todos los fragmentos de un mismo paquete siguen la misma ruta

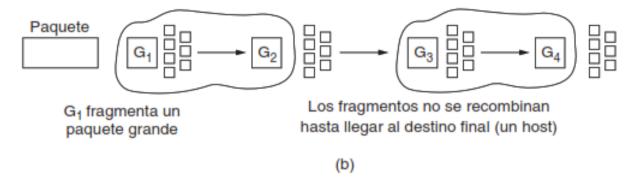


Figura 5-42. (a) Fragmentación transparente. (b) Fragmentación no transparente.

Los fragmentos de un mismo paquete podrían seguir diferentes rutas

#### Fragmentación sucesiva a lo largo de una ruta

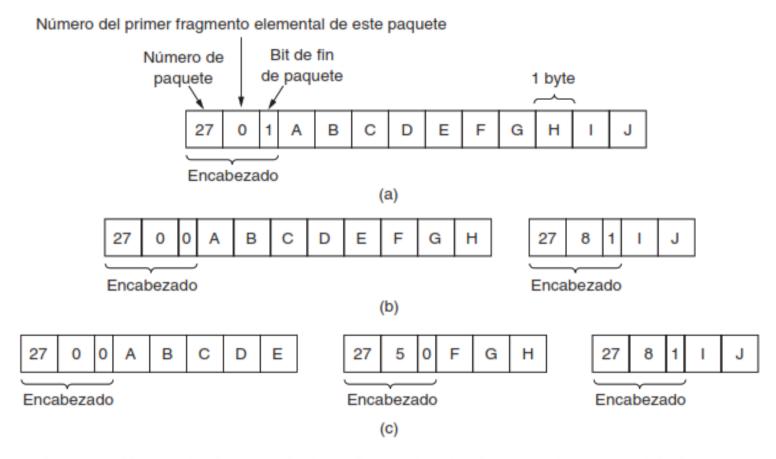
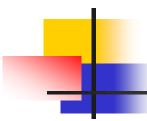


Figura 5-43. La fragmentación cuando el tamaño de datos elemental es de 1 byte. (a) El paquete original que contiene 10 bytes de datos. (b) Los fragmentos después de pasar por una red con un tamaño máximo de paquete de 8 bytes de carga útil más encabezado (c) Fragmentos después de pasar a través de una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



- Para evitar la fragmentación en la red, se fragmenta en el host origen
- Se envía los paquetes indicando en el encabezado que no se fragmenten
- 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



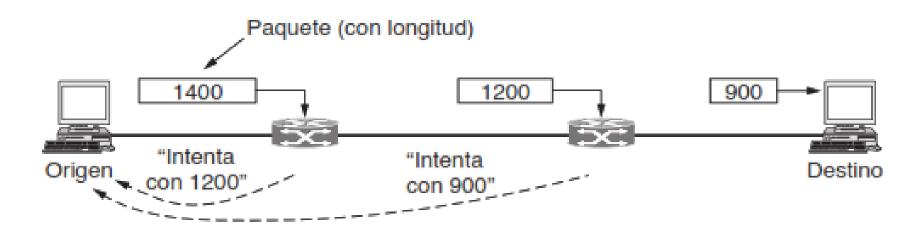


Figura 5-44. Descubrimiento de MTU de la ruta.



# 5.6 La capa de red de Internet

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

- 1. El diseño debe funcionar en la práctica
- 2. Debe ser simple. "si *tiene duda use 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
- 4. Diseñe modularmente
- 5. Haga un solo diseño flexible a diferentes tipos de hardware, redes y aplicaciones
- 6. Incluir parámetros si son inevitables
- 7. No diseñar contemplando hasta los casos más extraños y raros



- 8. Diseño estricto en el cumplimento de estándares cuando se envíen paquetes y tolerante si llegan paquetes que no los cumplen
- 9. Diseño escalable para millones de hosts
- 10. Diseño que permite un desempeño eficiente de la red



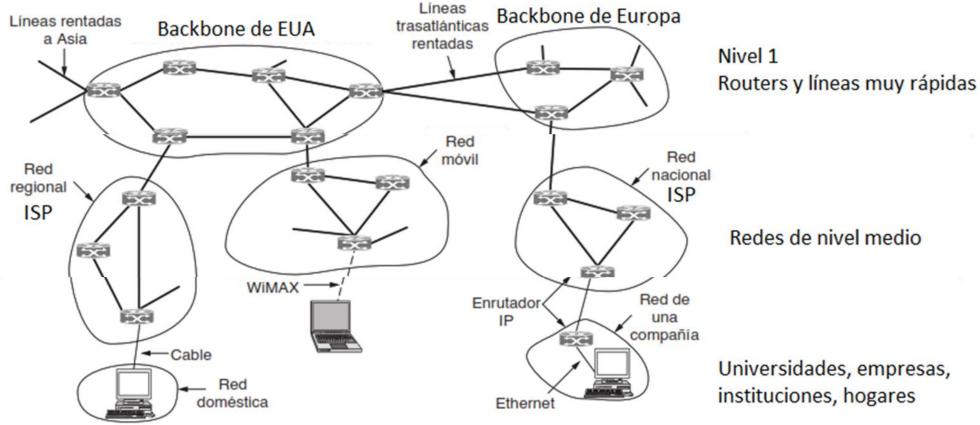


Figura 5-45. Internet es una colección interconectada de muchas redes.



- IP logra interconectar todas las redes que forman Internet
- IP fue diseñado con este propósito
- Los paquetes IP pueden ser de hasta 64 KB (65536 bytes)
- En la práctica no sobrepasan los 1500 bytes, capacidad de Ethernet
- Hay muchas rutas posibles entre dos hosts
- 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

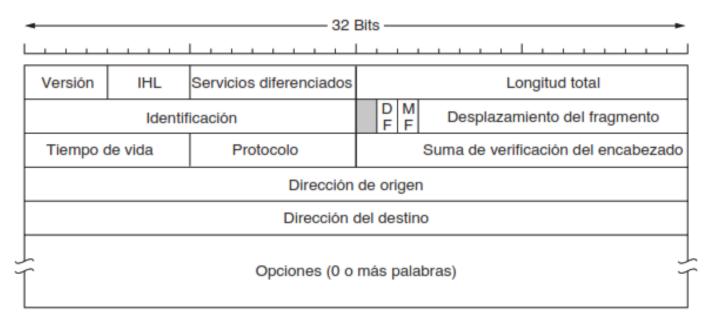
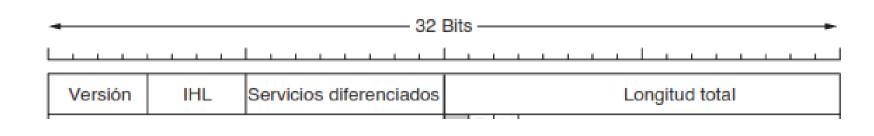
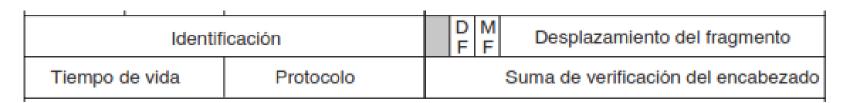


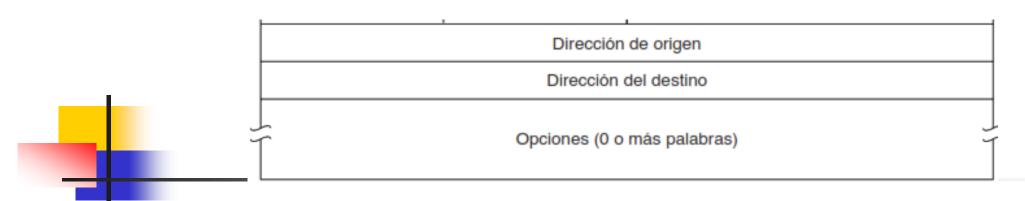
Figura 5-46. El encabezado de IPv4 (Protocolo de Internet).



- Versión de IP. La que hoy domina Internet es IPv4
- IPv5 fue experimental para tiempo real que no tuvo éxito
- IPv6 definida ya hace muchos años, aun se usa poco
- IHL indica la longitud variable del encabezado expresada en palabras de 32 bits. Lo mínimo es 5 = 20 bytes = 160 bits
- ¿Cuál es el tamaño máximo del encabezado?
- $2^4 \times 32 = 512 \ bits = 64 \ bytes$
- Servicios diferenciados. Para voz digital, rápido es más importante que preciso. Para envío de archivos, preciso es más importante que rápido
- Longitud total del datagrama. La longitud máxima es  $2^{16} 1 = 65535$



- Identificación. Indica a qué paquete pertenece un fragmento
- Bit sin uso
- DF. Don't fragment, es una orden para los enrutadores
- MF. More fragments, Todos los fragmentos excepto el último tienen este bit=1
- Desplazamiento del fragmento. Indica a qué parte del paquete pertenece el fragmento
- Tiempo de vida. TTL, Cuenta saltos de un paquete en la red para que no vague sin fin si se corrompen las tablas de ruteo
- Protocolo. de transporte: TCP o UDP
- Suma de verificación del encabezado. Checksum



- Dirección de origen y dirección del destino
- Opciones. Creado pensando en las versiones futuras de IP para que lo puedan utilizar. Actualmente no se usan ni se usarán. Estas 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
- Un host tiene una interfaz de red; un router tiene varia
- A diferencia de direcciones ethernet, direcciones IP son jerárquicas: porciones de red y de host
- Direcciones jerárquicas tienen ventajas y desventajas
- Ventaja: Ruteando con base en la porción de red, las tablas son 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
  - Un sistema jerárquico desperdicia direcciones

#### Direcciones de red

- 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
- Una misma dirección de red internamente puede ser utilizada entre varias subredes, y actuar como una sola red ante Internet

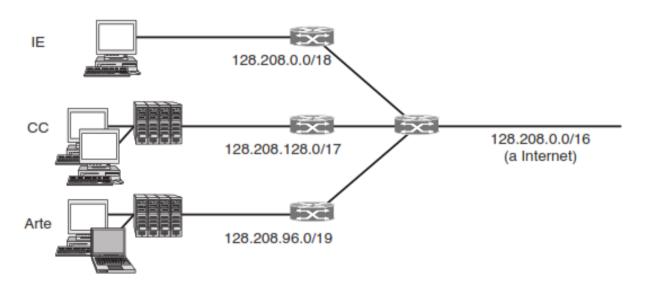


Figura 5-49. División de un prefijo IP en redes separadas mediante el uso de subredes.