

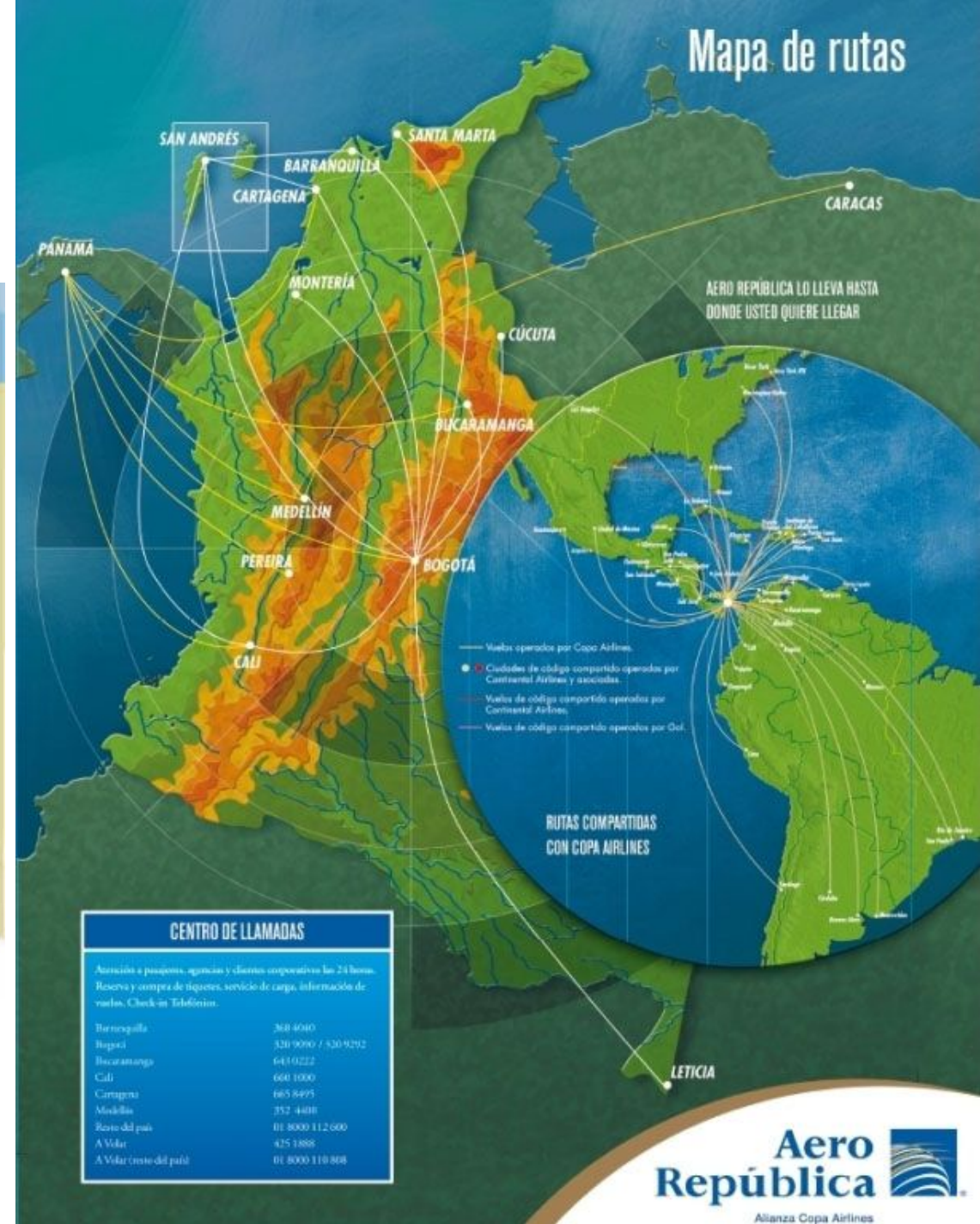


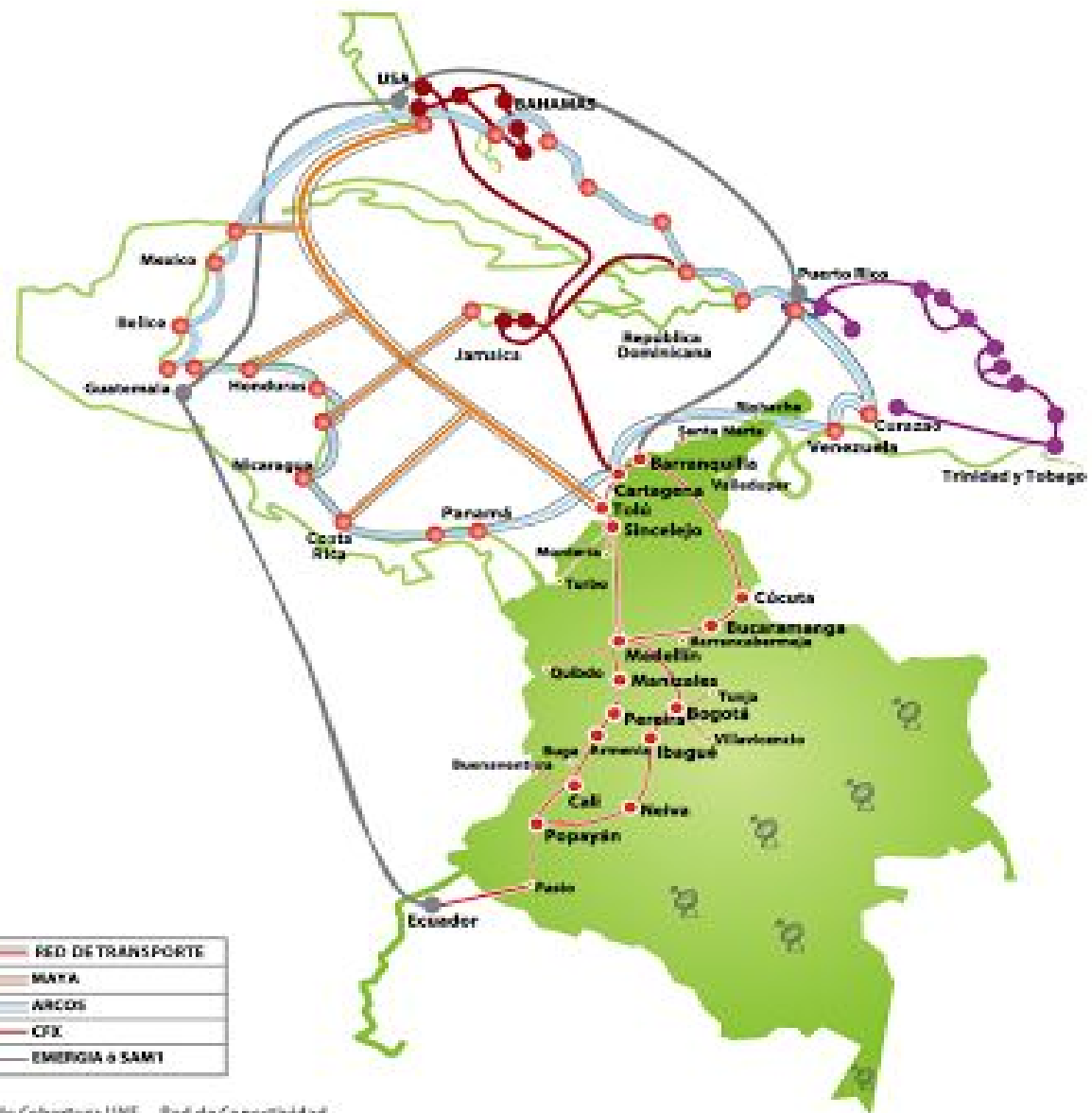
# Redes de Datos-Redes **WAN**

Jhon Jairo Padilla Aguilar, PhD.  
UPB Bucaramanga

# Red WAN

- WAN: Wide Area Network
- Pueden cubrir un país entero
- Requieren de Nodos que recogen/distribuyen la información de los usuarios y comunican con otros nodos en otras regiones





Mapa de Cobertura UNE - Red de Conectividad





**C&W Networks**  
A Liberty Latin America Company





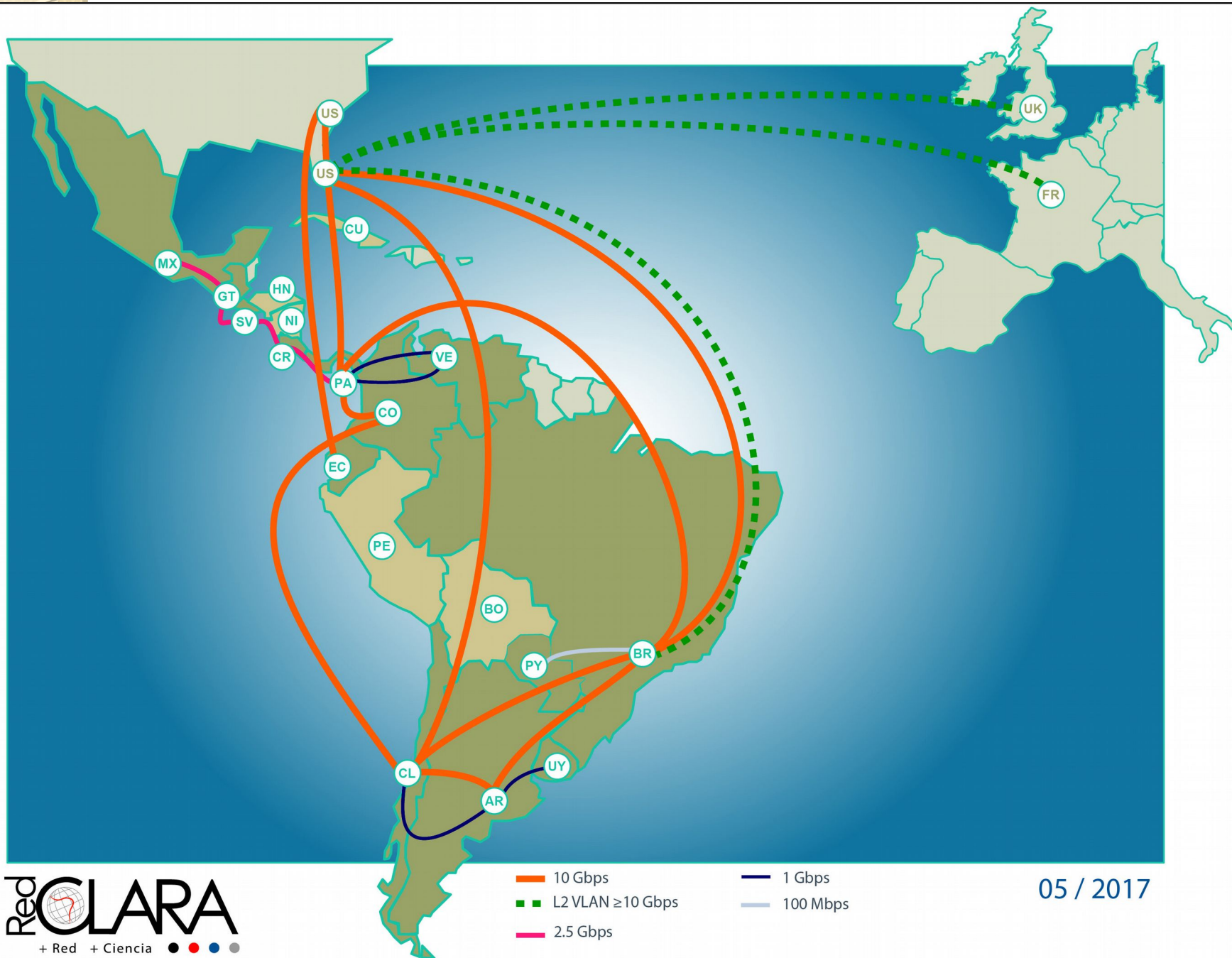






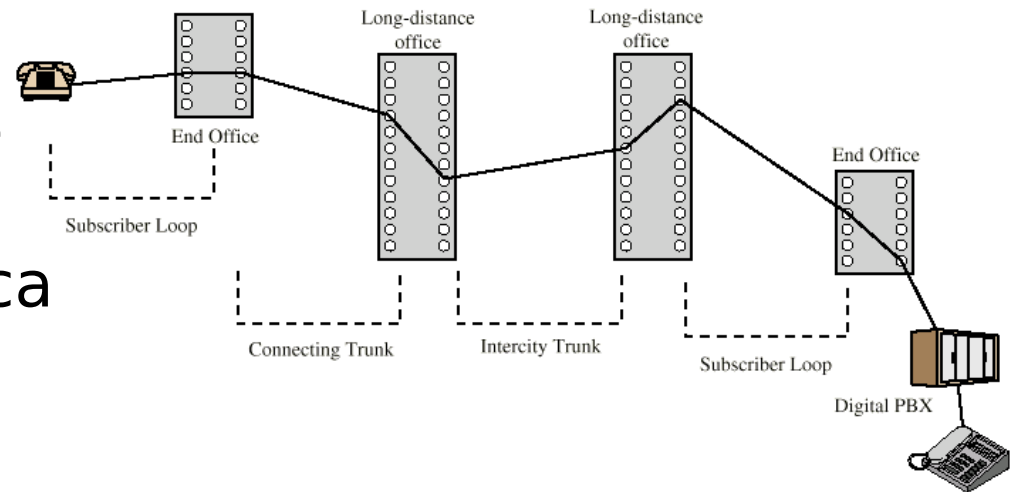




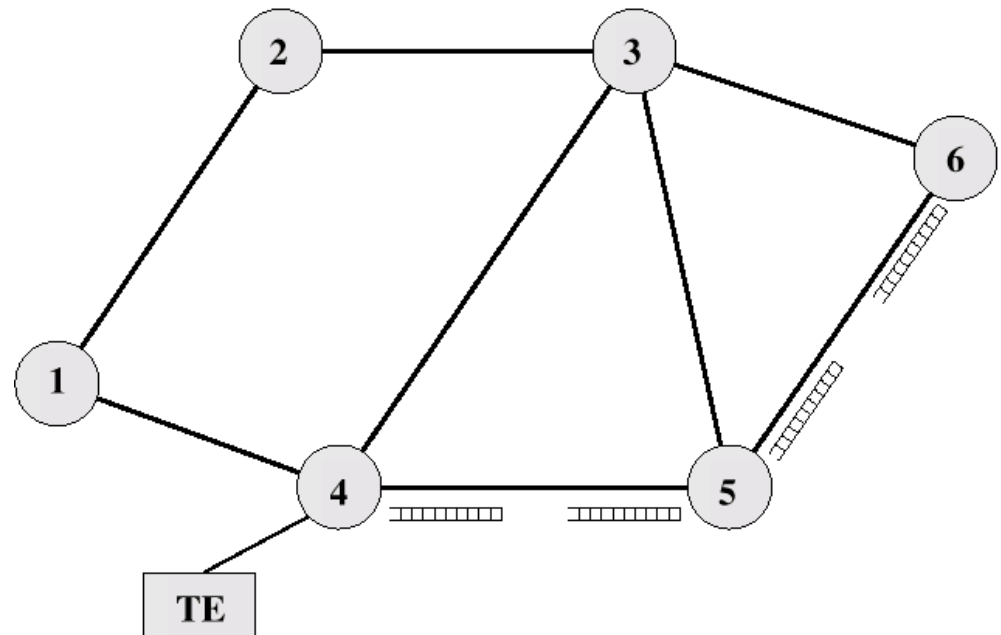


# Tipos de redes WAN

Conmutación de Circuitos  
Ej: Red Telefónica



Conmutación de Paquetes  
Ej: ISP (Internet Service Provider)

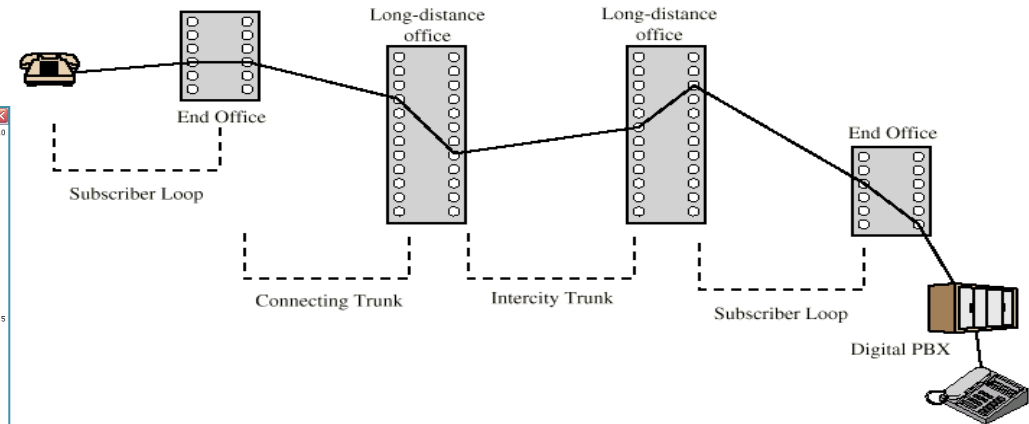
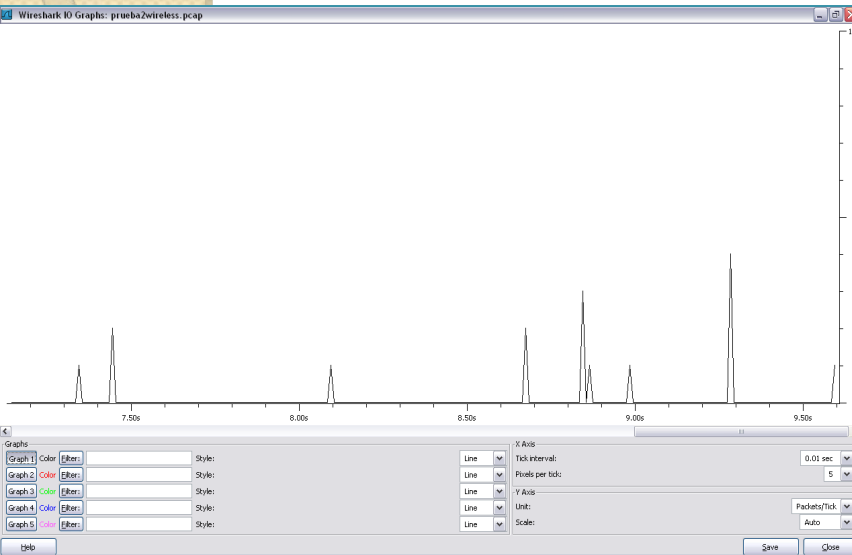






# Redes de Conmutación de Paquetes

# Motivación de las redes de paquetes

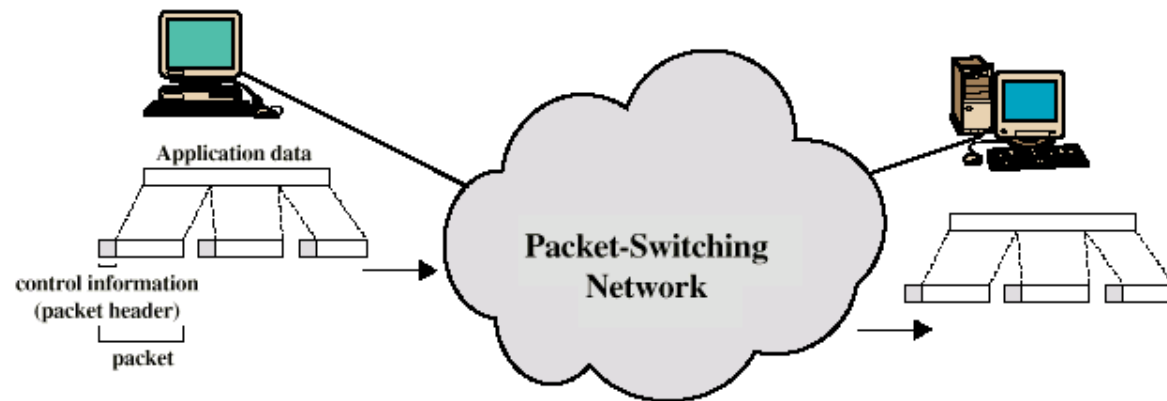


- Problemas de comunicación de datos en conmutación de circuitos:
  - Tráfico a ráfagas, línea desocupada gran parte del tiempo
  - Requieren diferentes velocidades y la cx de circuitos no lo permite



# Cx Paquetes: Funcionamiento básico

- Datos transmitidos en cadenas de bits de longitud típica 1000 Bytes
- La información con mayor longitud se segmenta en varios paquetes
- Un paquete contiene datos e información de control
- Información de control: necesaria para encaminar los paquetes al destino
- Cada nodo recibe, almacena temporalmente y re-envía al siguiente nodo



# Ventajas

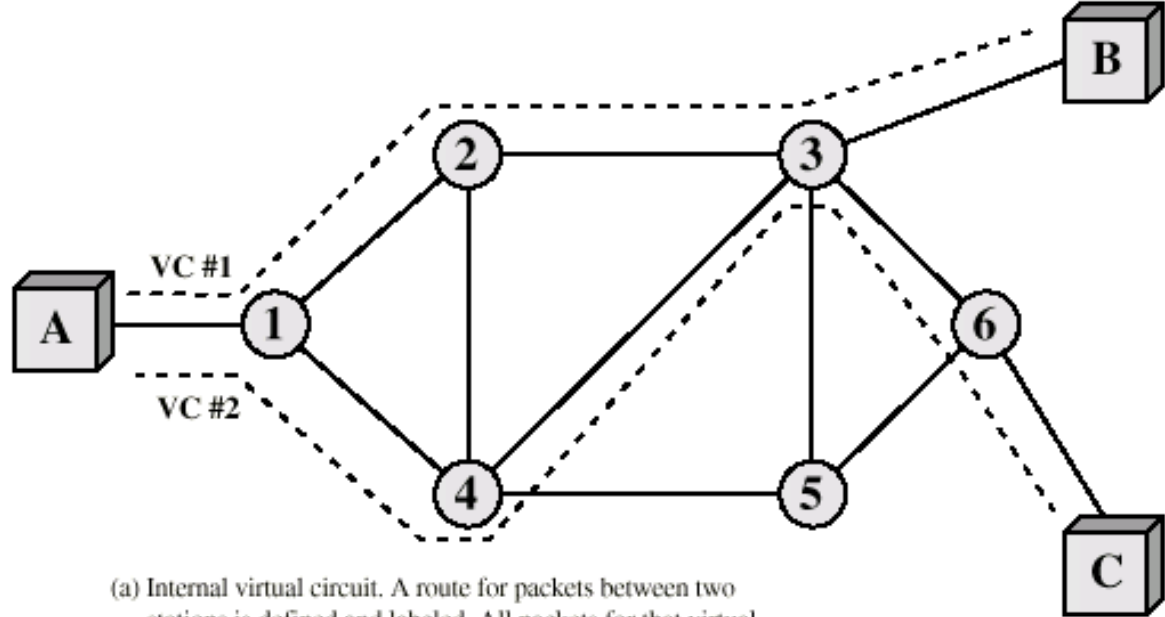
- Eficiencia de la conexión superior (conexión compartida)
- Conversión de la velocidad de datos (cada estación se conecta a su nodo a su propia velocidad)
- Menor probabilidad de bloqueo (se siguen aceptando paquetes en caso de congestión, aumenta el retardo)
- Uso de prioridades para manejo de paquetes en cola (diferentes retardos)



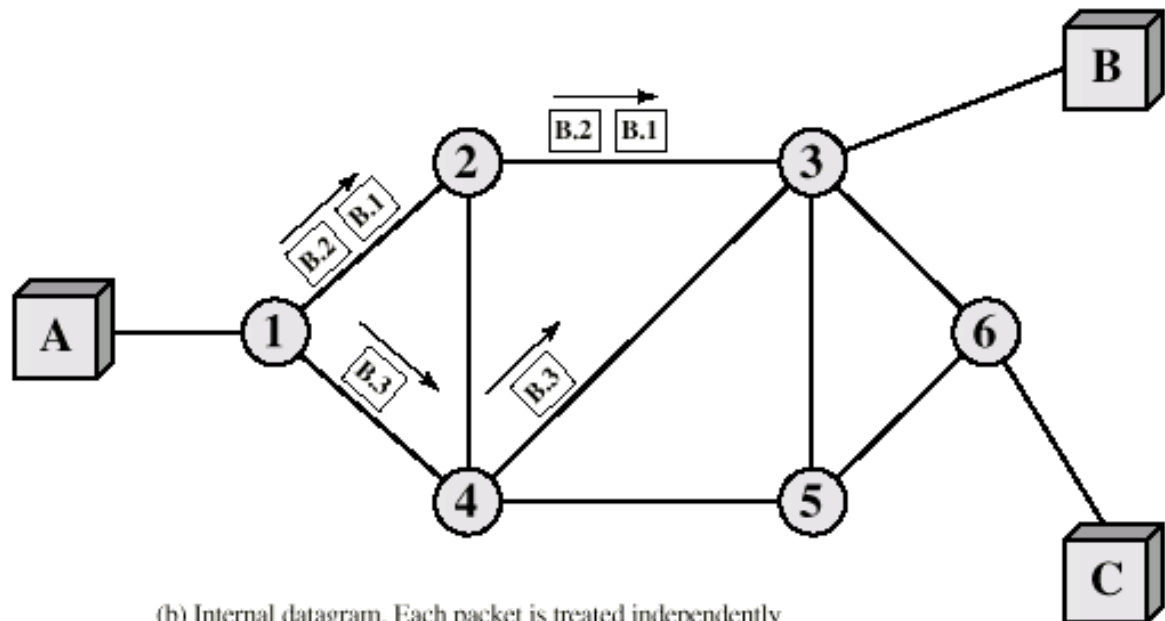
# Técnicas de Conmutación de Paquetes

- Datagrama:
  - Paquetes enviados por rutas diferentes en forma independiente
- Circuitos virtuales:
  - Todos los paquetes son enviados por una misma ruta

# Circuito virtual y datagrama



(a) Internal virtual circuit. A route for packets between two stations is defined and labeled. All packets for that virtual circuit follow the same route and arrive in the same sequence.



(b) Internal datagram. Each packet is treated independently by the network. Packets are labeled with a destination address and may arrive at the destination node out of sequence.

# Datagrama

- Los paquetes pueden llegar en un orden diferente al original (dif. Rutas, dif. Retardo)
- El destino debería asumir su reordenamiento
- Los nodos no tienen forma de detectar pérdida de paquetes (son independientes) y no los recuperan
- La detección y recuperación de los errores es responsabilidad del Host Destino.



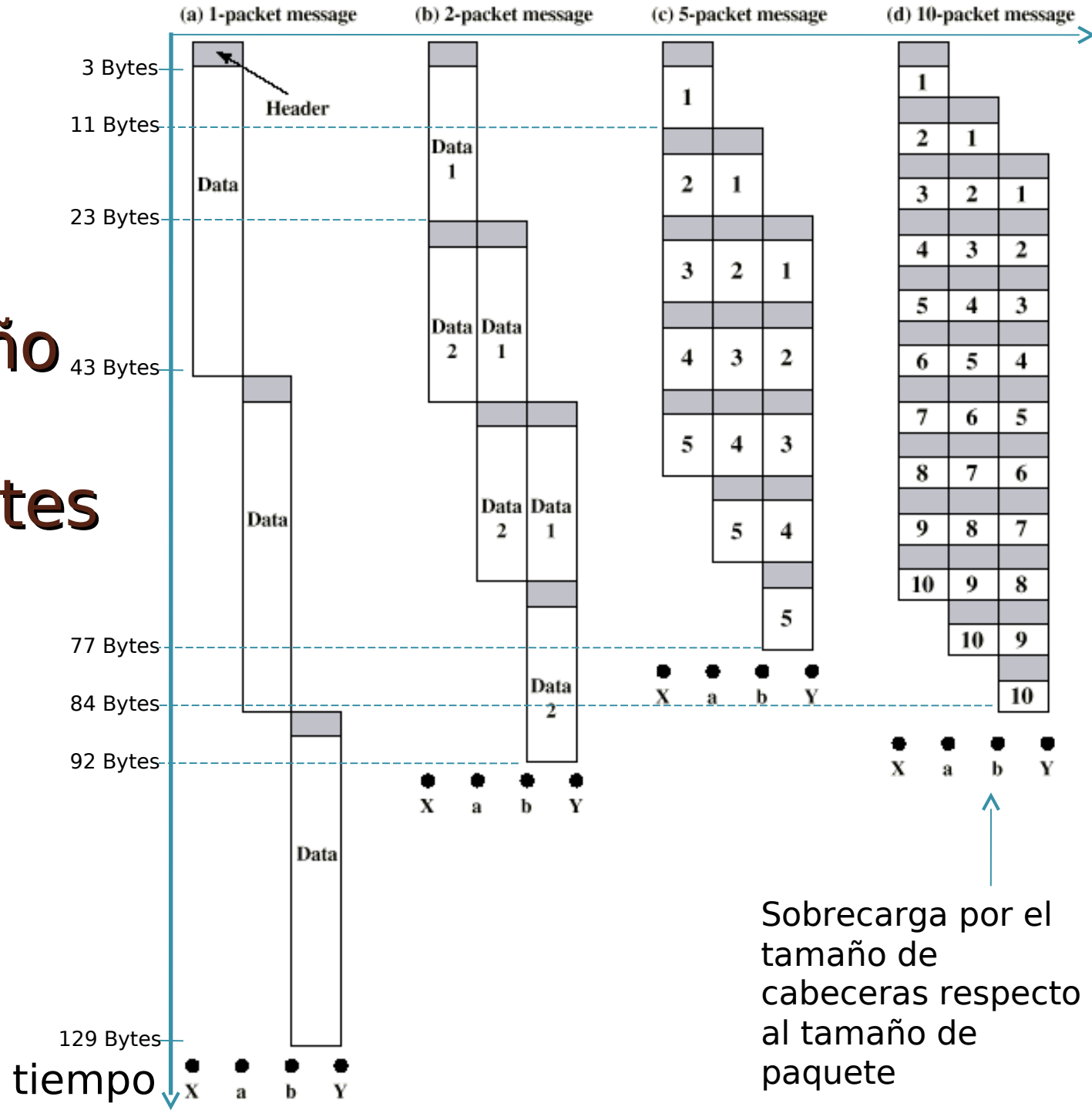
# Circuito Virtual

- La ruta es fija durante todo el tiempo que dura la comunicación pero no es dedicada a una sola comunicación
- Requiere un establecimiento previo del circuito virtual
- No precisa toma de decisiones de encaminamiento por paquete
- Puede haber más de un circuito virtual entre dos estaciones
- Una estación puede disponer de diferentes circuitos virtuales hacia diferentes estaciones

# Datagrama vs. Circuito virtual

- Circuito virtual:
  - Ventajoso en comunicaciones que duran un t largo
  - Los paquetes llegan en el mismo orden en que se enviaron
  - Menos retardo (no hay decisiones de encaminamiento por paquete)
- Datagrama:
  - Más rápido para comunicaciones cortas (no hay establecimiento del camino)
  - Flexibilidad: Se evaden zonas de congestión
  - Mayor seguridad en la entrega

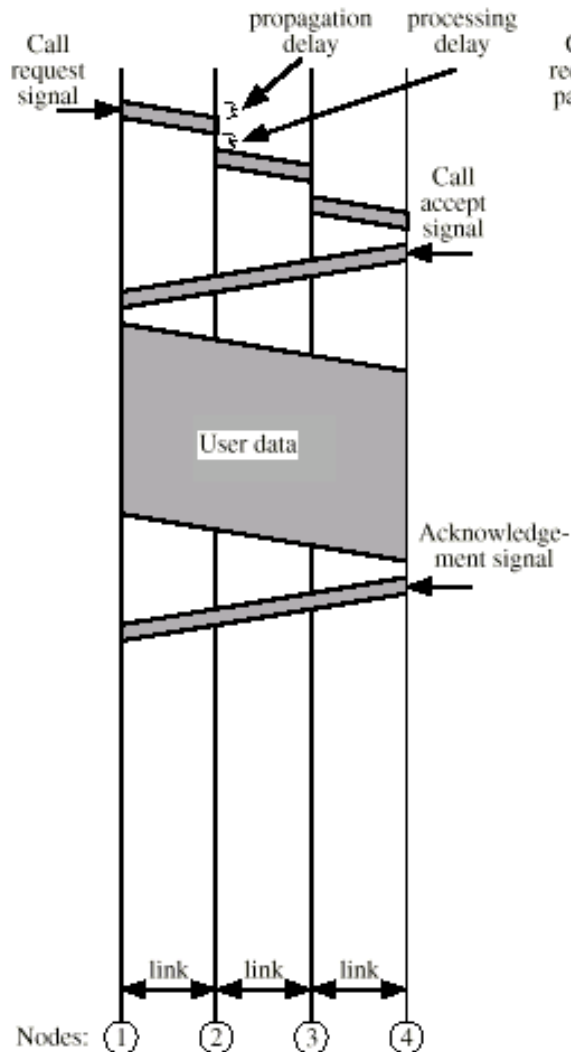
# Efecto Tamaño de los paquetes



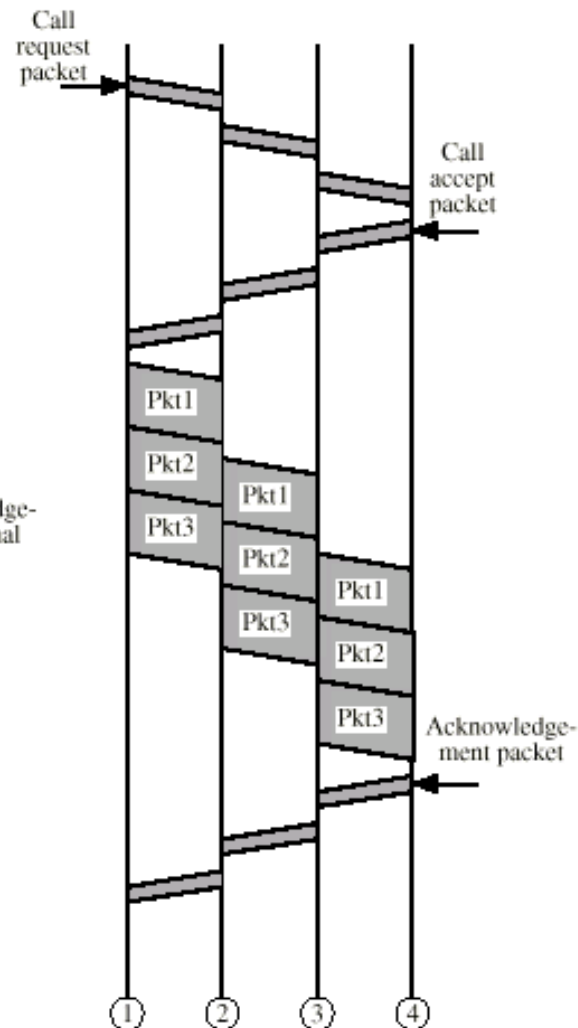


# Temporización de eventos

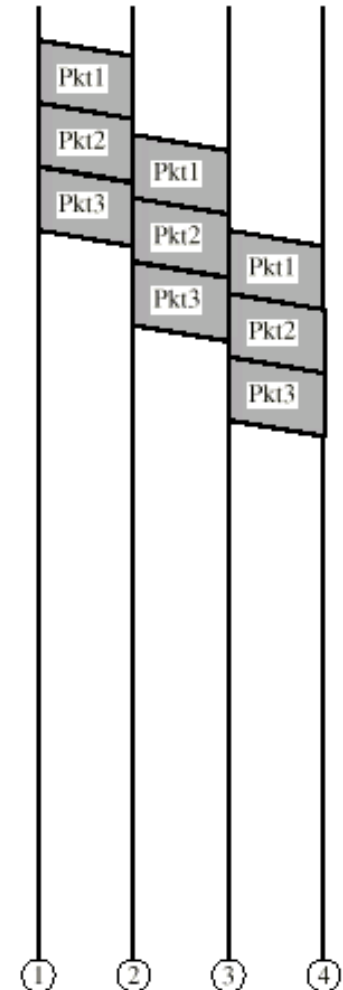
(a) Circuit switching



(b) Virtual circuit packet switching



(c) Datagram packet switching



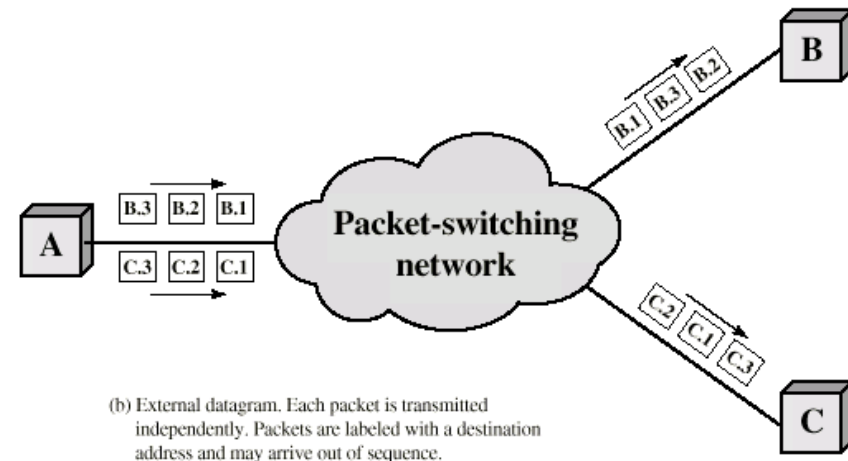
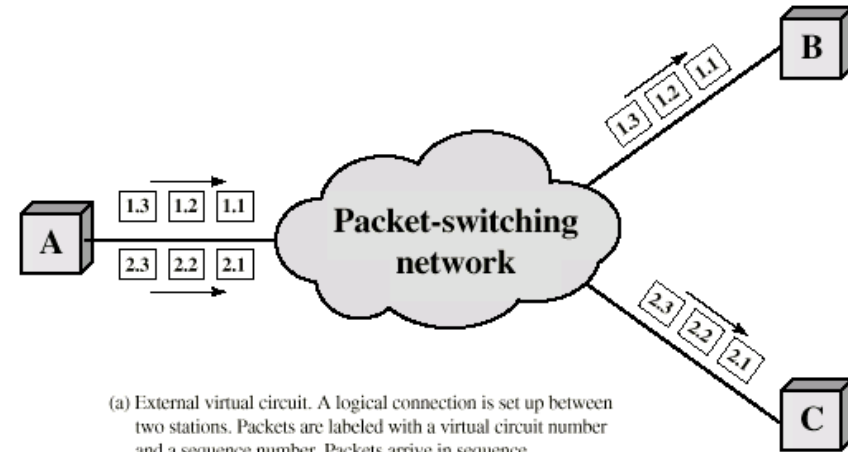
# Tipos de servicios

- **Servicio Orientado a Conexión:**

- Servicio de Circuito virtual externo
- La red transporta los paquetes en orden secuencial
- Ejemplos: Voz/IP

- **Servicio no orientado a conexión:**

- Servicio de Datagrama externo
- Cada paquete se gestiona independientemente
- Ejemplo: e-mail





# Enrutamiento (Routing)



# Introducción

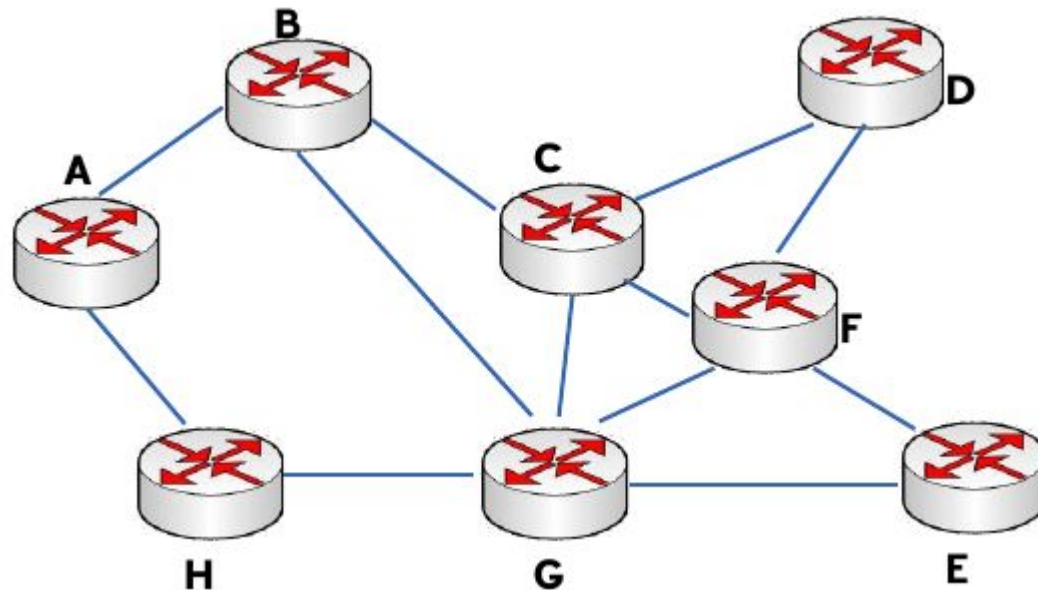
- Función primordial de una red de paquetes: transportar paquetes del origen al destino
- Puede haber más de un camino a través de la red
- La escogencia del camino se conoce como Encaminamiento o Enrutamiento
- Existen diferentes criterios y algoritmos para realizar el encaminamiento

# Criterios de Funcionamiento

- La elección de una ruta se realiza con base en un criterio:
  - Número de saltos
  - Costo
  - Retardo
  - Eficiencia

# Criterio del menor número de saltos

- Se elige el camino que atraviesa el menor número de nodos a través de la red
- Se puede medir fácilmente
- Debería minimizar el consumo de recursos de la red

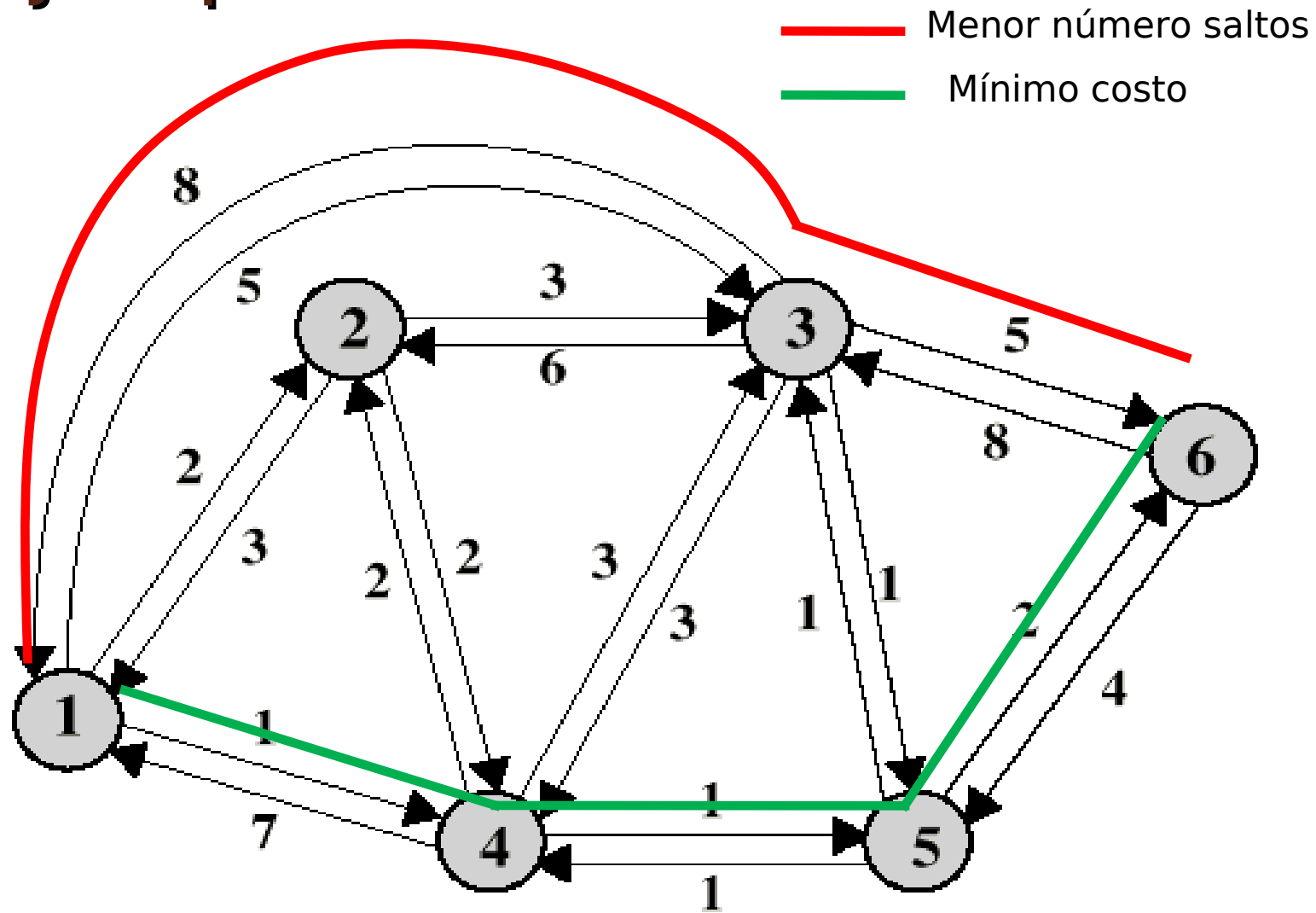




# Criterio del mínimo costo

- Se asocia un costo a cada enlace
- Cada sentido del enlace tiene un costo independiente
- Se elige la ruta que implique el costo mínimo
- La asignación de los costos de los enlaces se hace con base en objetivos de diseño:
  - A mayor velocidad, menor costo (maximiza eficiencia)
  - A menor retardo, menor costo (minimiza el retardo)

# Criterio de mínimo costo: Ejemplo



# Menor número de saltos vs. Mínimo costo

- Ambos son relativamente justos
- Tiempo de procesamiento similar
- El criterio de mínimo costo es más flexible (más usado)
- Ejemplos de mínimo costo:  
Algoritmo de Dijkstra, Algoritmo de Bellman-Ford

# Características de un Algoritmo de Encaminamiento

- *Instante de decisión:*
  - **Datagrama:** Con cada paquete
  - **Circuito virtual:** Una vez al establecimiento del circuito virtual
- *Lugar de decisión:*
  - Distribuido:** Cada nodo toma una decisión a medida que recibe los paquetes
  - Centralizado:** Decisión tomada en un nodo centro de control de la red
  - Encaminamiento de origen:** La estación origen determina la ruta y la comunica a la red.
- *Fuentes de información de la red:* De dónde se toma la información para las decisiones
- 
- *Tiempo de actualización:* Cada cuánto se renueva la información base para tomar decisiones

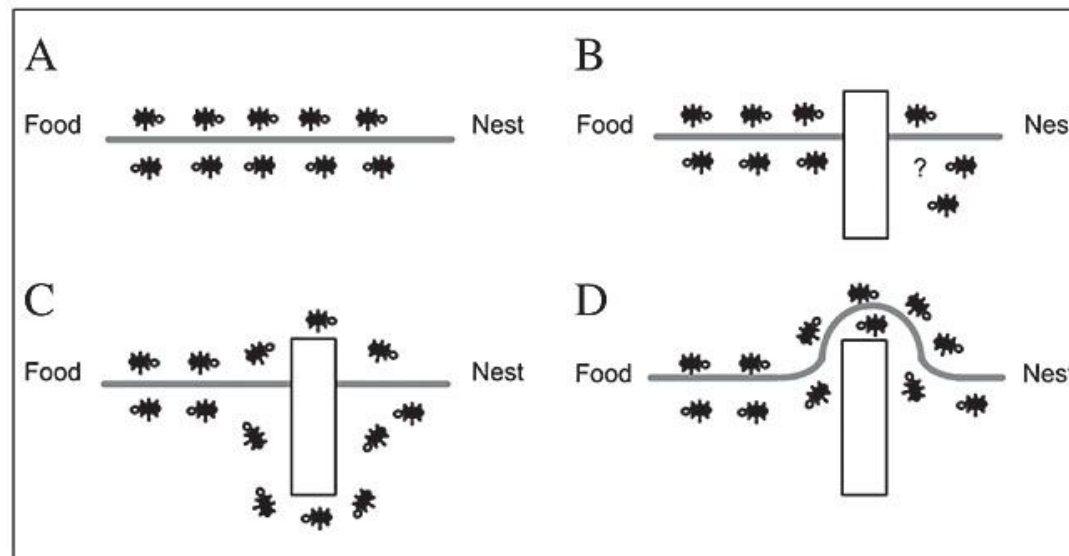
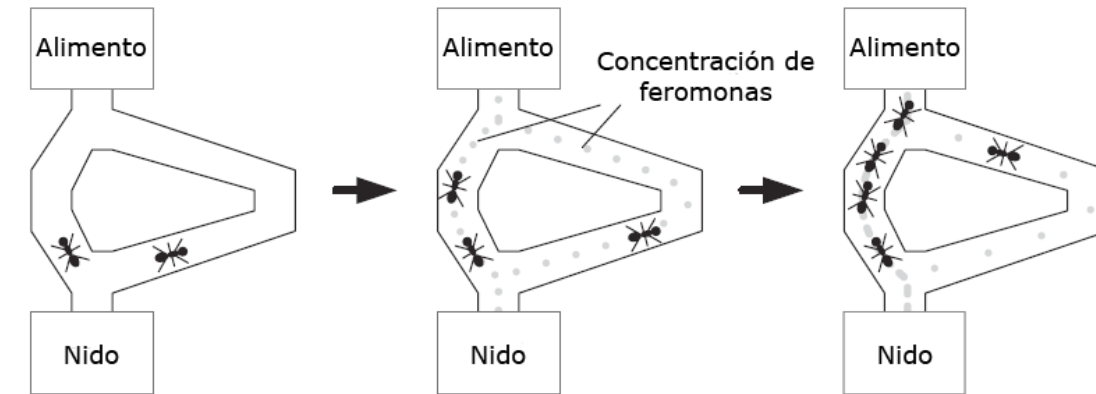


# Enrutamiento Distribuido vs. Enrutamiento Centralizado

- Distribuido
  - Más complejo
  - Más robusto ante fallos
- Centralizado
  - Fragilidad ante fallos en el nodo de control
  - Es más simple

# Algoritmos distribuidos bio- inspirados

## Colonias de hormigas



**Figure 2.** A. Ants in a pheromone trail between nest and food; B. an obstacle interrupts the trail; C. ants find two paths to go around the obstacle; D. a new pheromone trail is formed along the shorter path.

# Fuente de información de la red

- Las decisiones de encaminamiento se toman con base en el conocimiento de:
  - Topología de la red
  - Carga de la red
  - Costo de los enlaces
- Encaminamiento distribuido:
  - Cada nodo toma información local y de los nodos adyacentes
- Encaminamiento centralizado:
  - El nodo central usa información de todos los nodos

# Tiempo de actualización

- Periodicidad con que se actualiza la información en las fuentes consultadas para las decisiones de encaminamiento (compromiso periodicidad vs. Tráfico adicional por señalización)
- Ejemplos:
  - No hay actualización (Ej: Inundaciones, encaminamiento estático)
  - Actualización continua (Ej: uso de información local del nodo)
  - Periódicamente (minutos) (Ej: encaminamiento adaptable)



# Estrategias de encaminamiento

- Encaminamiento estático
- Encaminamiento con inundaciones
- Encaminamiento aleatorio
- Encaminamiento adaptable

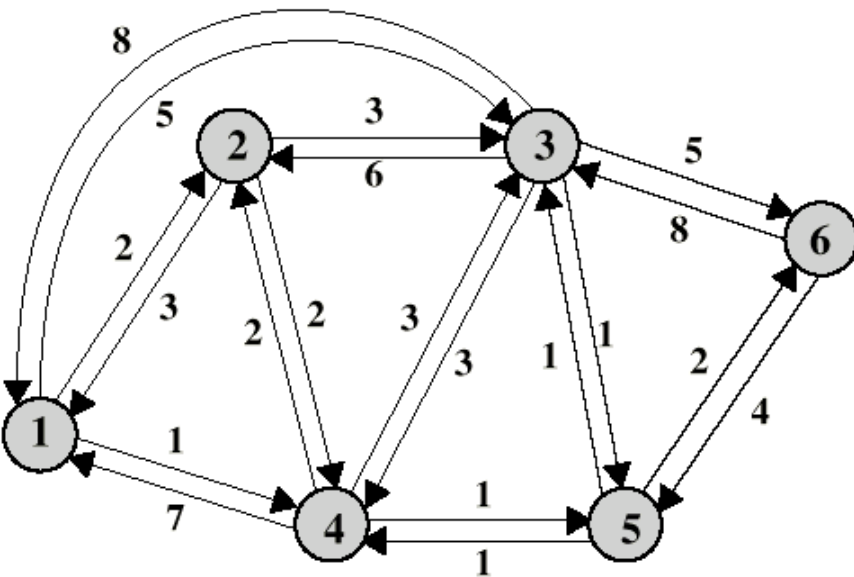
# Encaminamiento estático

- Rutas fijas
- Para cada par de nodos hay una única ruta
- La determinación de la ruta se hace con algoritmos de mínimo costo
- El costo no se puede basar en variables dinámicas (tráfico instantáneo), pero sí en valores esperados (tráfico esperado, capacidad de los enlaces)

# Encaminamiento estático

- Matriz de encaminamiento central (nodo de control de red)
  - Especifica el siguiente nodo en la ruta para cada par de nodos
- Tablas de encaminamiento asociadas (en cada nodo)
  - Es una columna de la matriz central
  - Contiene el nodo siguiente para cada destino

# Enrutamiento Estático: Ejemplo



CENTRAL ROUTING DIRECTORY

		From Node					
		1	2	3	4	5	6
To Node	1	—	1	5	2	4	5
	2	2	—	5	2	4	5
	3	4	3	—	5	3	5
	4	4	4	5	—	4	5
	5	4	4	5	5	—	5
	6	4	4	5	5	6	—

Node 1 Directory

Destination	Next Node
2	2
3	4
4	4
5	4
6	4

Node 2 Directory

Destination	Next Node
1	1
3	3
4	4
5	4
6	4

Node 3 Directory

Destination	Next Node
1	5
2	5
4	5
5	5
6	5

Node 4 Directory

Destination	Next Node
1	2
2	2
3	5
5	5
6	5

Node 5 Directory

Destination	Next Node
1	4
2	4
3	3
4	4
6	6

Node 6 Directory

Destination	Next Node
1	5
2	5
3	5
4	5
5	5

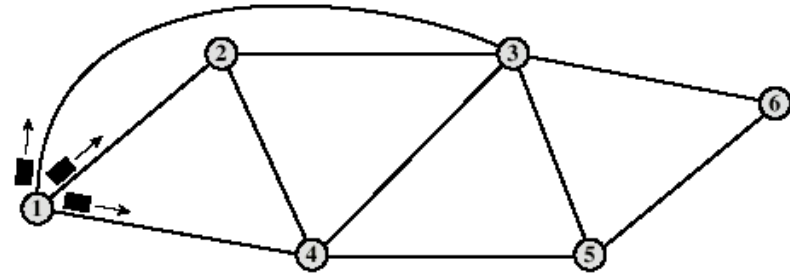


# Encaminamiento estático: Características

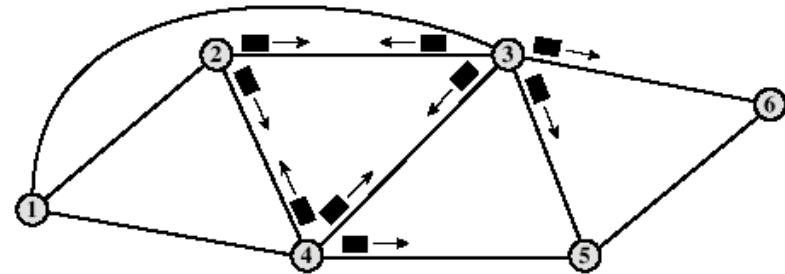
- No hay diferencia entre datagramas y circuitos virtuales
- Es simple
- Útil en redes estables y fiables
- No es flexible (no reacciona ante fallos ni congestión)
- Mejora: agregar rutas alternativas en caso de fallo (Encaminamiento Alternativo)

# Encaminamiento con Inundaciones

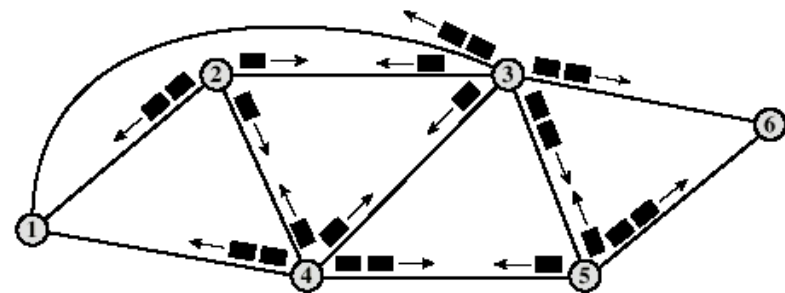
- Operación
  - Un nodo origen envía un paquete a sus nodos vecinos
  - Los nodos vecinos envían el paquete sobre todos sus enlaces de salida excepto por el que llegó
  - El nodo destino puede recibir varias copias del mismo paquete (identificador único: [nodo origen + #secuencia] ó [ckto virtual + #secuencia])



(a) First hop



(b) Second hop



(c) Third hop

# Inundaciones

- Problema:
  - El número de paquetes crece sin límite
- Solución:
  - Que cada nodo recuerde la identidad de los paquetes transmitidos antes y así rechaza copias duplicadas
  - Otra: Incluir un **campo de secuencia de saltos** (contador que se va decrementando con cada salto. Cuando el contador llega a cero, se elimina el paquete de la red. **Valor máximo**: ruta más larga entre las de menor número de saltos)

# Inundaciones: Características

- Robusta (prueba todos los caminos)
- Se puede usar para establecer rutas de circuitos virtuales (al menos una copia del paquete usará el camino más corto)
- Se puede usar para propagar información importante (Encaminamiento)
- Genera gran cantidad de tráfico

# Encaminamiento aleatorio

- Se selecciona un único enlace de salida para retransmitir un paquete entrante
- La selección se hace de forma aleatoria (se excluye el enlace de entrada del paquete)
- Criterios de selección de enlace:
  - Si todos son equiprobables, se podría hacer una rotación circular
  - Se asigna una probabilidad a cada enlace y se escogen según las probabilidades
  - $P_i = R_i / \sum R_j$      $P_i$ : probabilidad,  $R_j$ : tasa bits



# Encaminamiento aleatorio

- Características:
  - Proporciona una distribución de tráfico adecuada
  - No necesita usar información sobre la red
  - La ruta no corresponderá en general con la del menor número de saltos o el mínimo costo.
  - Transporta un tráfico mayor que el óptimo pero menor que en inundaciones
  - Sencilla
  - Robusta

# Encaminamiento adaptable

- Las decisiones de encaminamiento cambian a medida que cambian las condiciones de la red
- Causas de cambios:
  - Fallos (nodos, enlaces)
  - Congestión (zonas congestionadas que deben evitarse)
- Requiere que los nodos intercambien información sobre el estado de la red

# Desventajas

- Las decisiones de encaminamiento son complejas (aumenta costo de procesamiento en los nodos)
- Aumenta tráfico de señalización, lo que degrada las prestaciones de la red
- Cambios rápidos generan oscilaciones
- Cambios lentos impiden adaptabilidad

# Ventajas

- El usuario percibe que las prestaciones de la red mejoran
- Útil para controlar la congestión (al compensar la carga, retrasa situaciones graves de congestión)

# Ejemplo 1

- Una forma de adaptarse es que cada nodo seleccione el camino de salida de acuerdo al que tenga la cola más corta (Q: tamaño cola)
- Problema: Algunos enlaces provocan saltos adicionales y no son adecuados



## Ejemplo 2

- Cada enlace de salida tiene un peso  $B_i$  para cada destino  $i$
- Para cada paquete recibido hacia el nodo  $i$ , se elegirá el enlace que minimice  $Q + B_i$
- El peso puede elegirse según el retardo que genere hacia el destino (el  $B_i$  más bajo es para el retardo menor)

# Ejemplo 2

## Tabla de Pesos del nodo 4

Destination 6

Sig. Nodo	Retardo
1	9
2	6
3	3
5	0

