

# Encaminamiento

Area de Ingeniería Telemática  
<http://www.tlm.unavarra.es>

Arquitectura de Redes, Sistemas y Servicios

upna

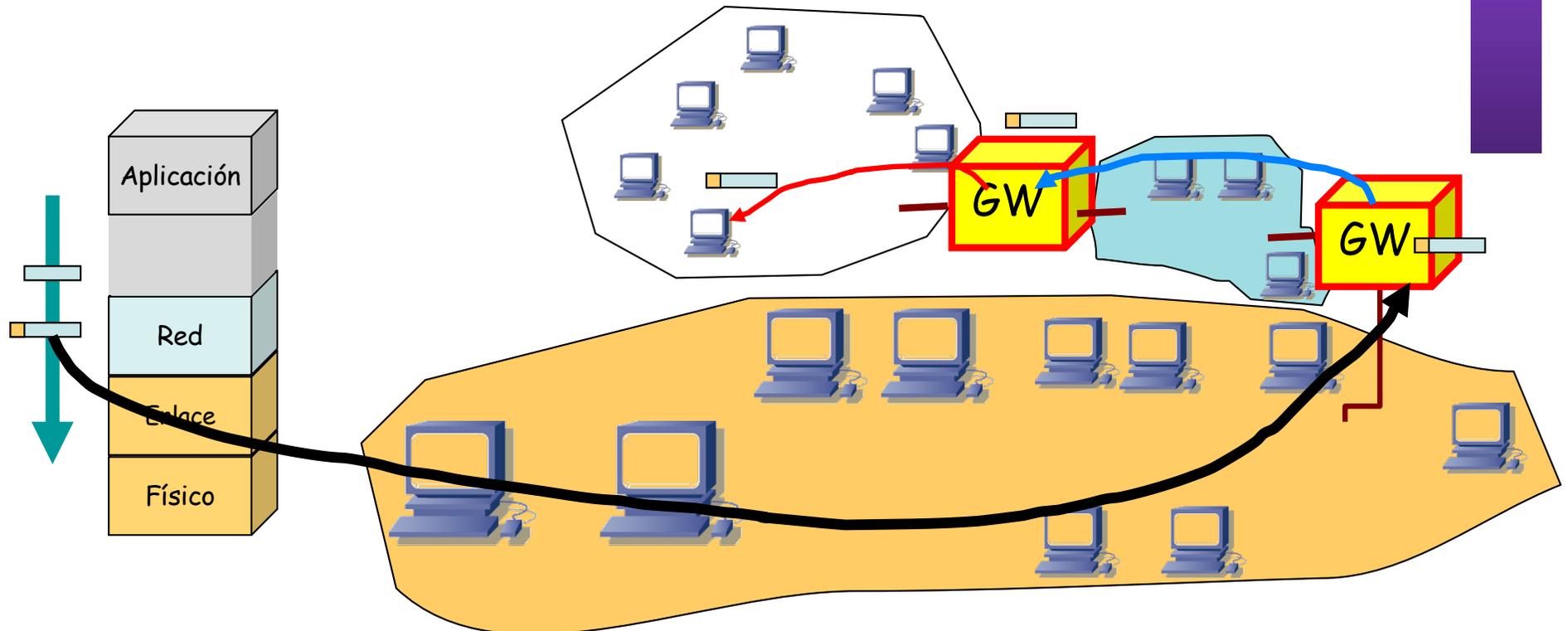
Universidad Pública de Navarra  
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS Y SERVICIOS  
*Área de Ingeniería Telemática*

# Routing en capa 3

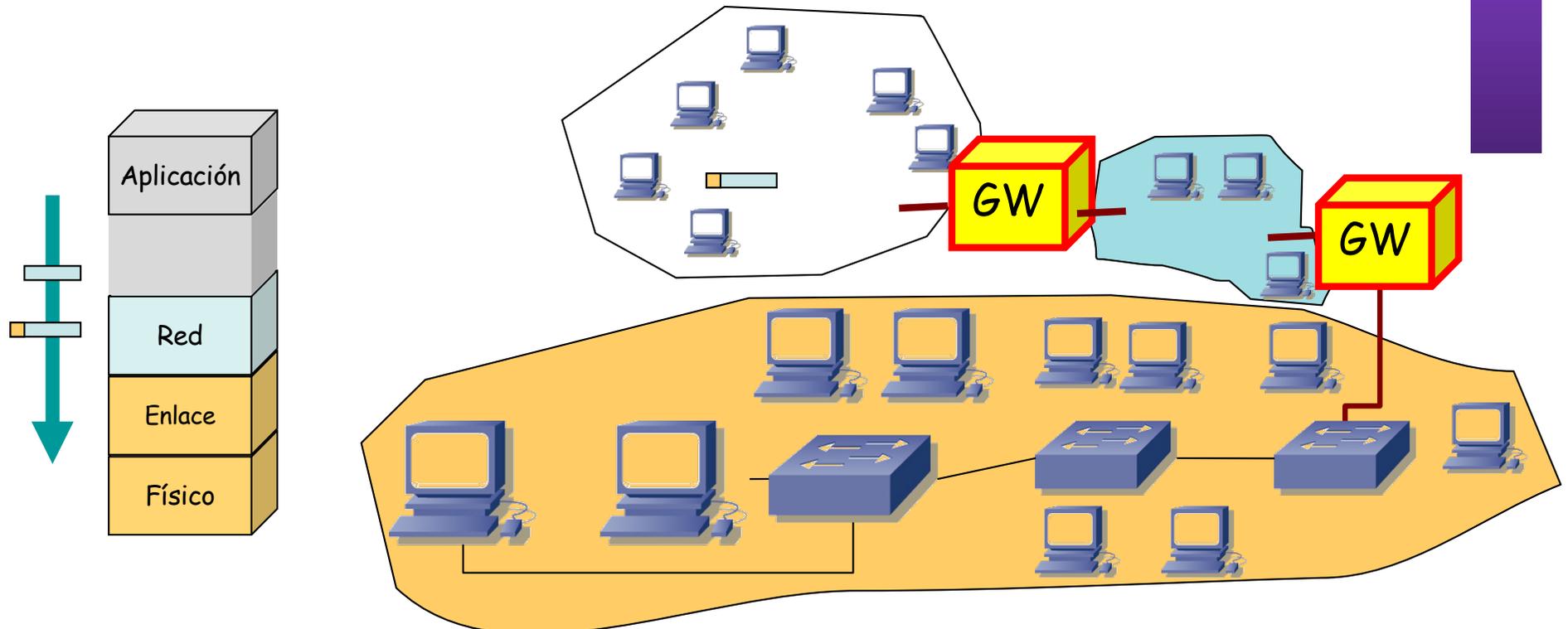
# Capa 3

- Protocolo de capa 3 incluye las pasarelas de interconexión
- Esas pasarelas deben conocer el camino al destino



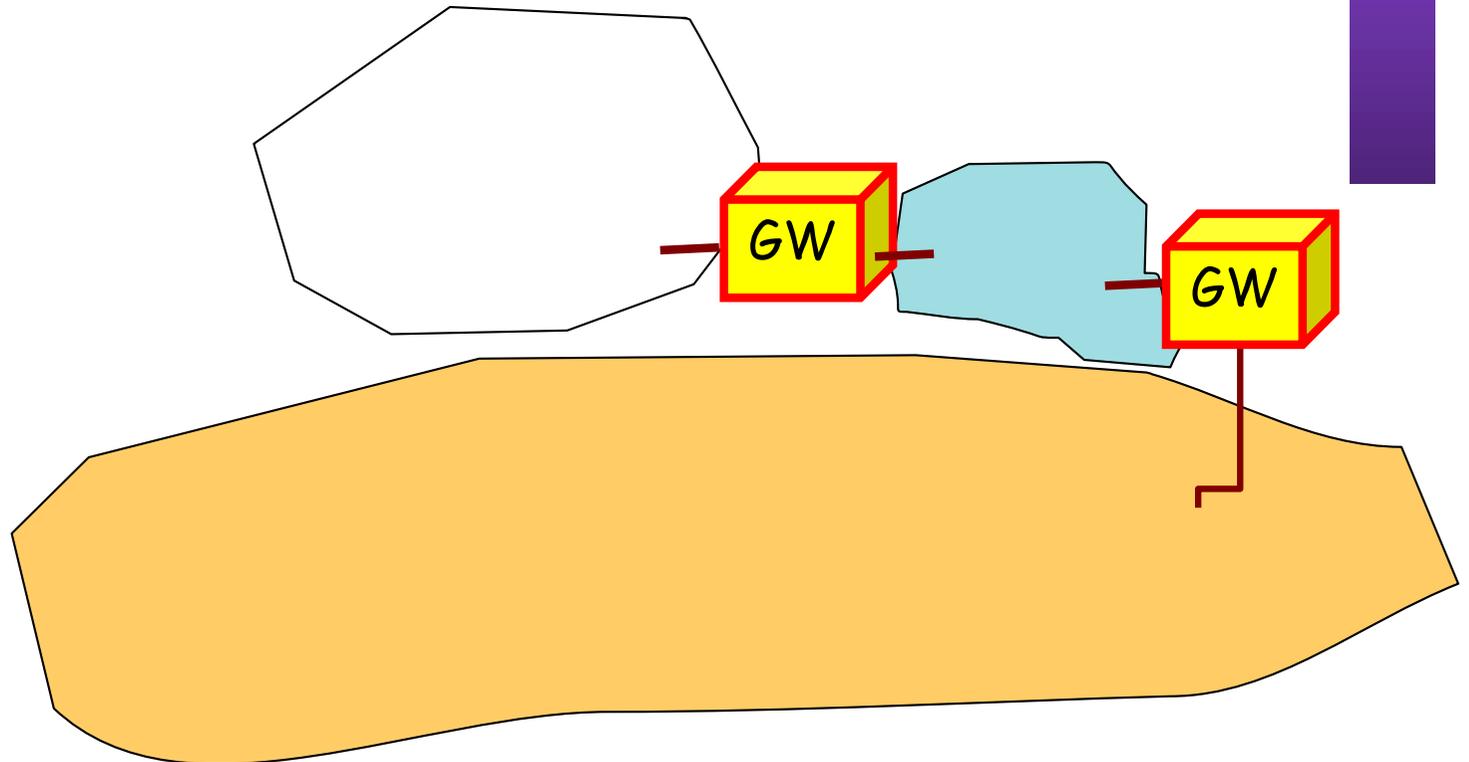
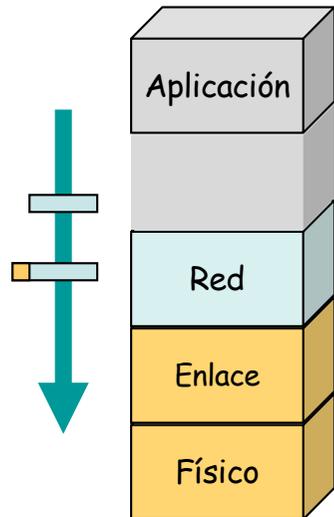
# Capa 3

- En nivel 2 no hace falta decidir caminos, como mucho direccionar
- Sin embargo, como hemos visto y volveremos a ver, en Ethernet hay cierto encaminamiento y unos "conmutadores"
- La Ethernet de hoy en día no es la Ethernet original y aunque hablemos de "capa 2" es discutible que encaje con sus funciones
- Nos quedaremos con que si hay equipos de red que deben decidir por dónde reenviar para llegar a un destino tendremos cálculo de caminos



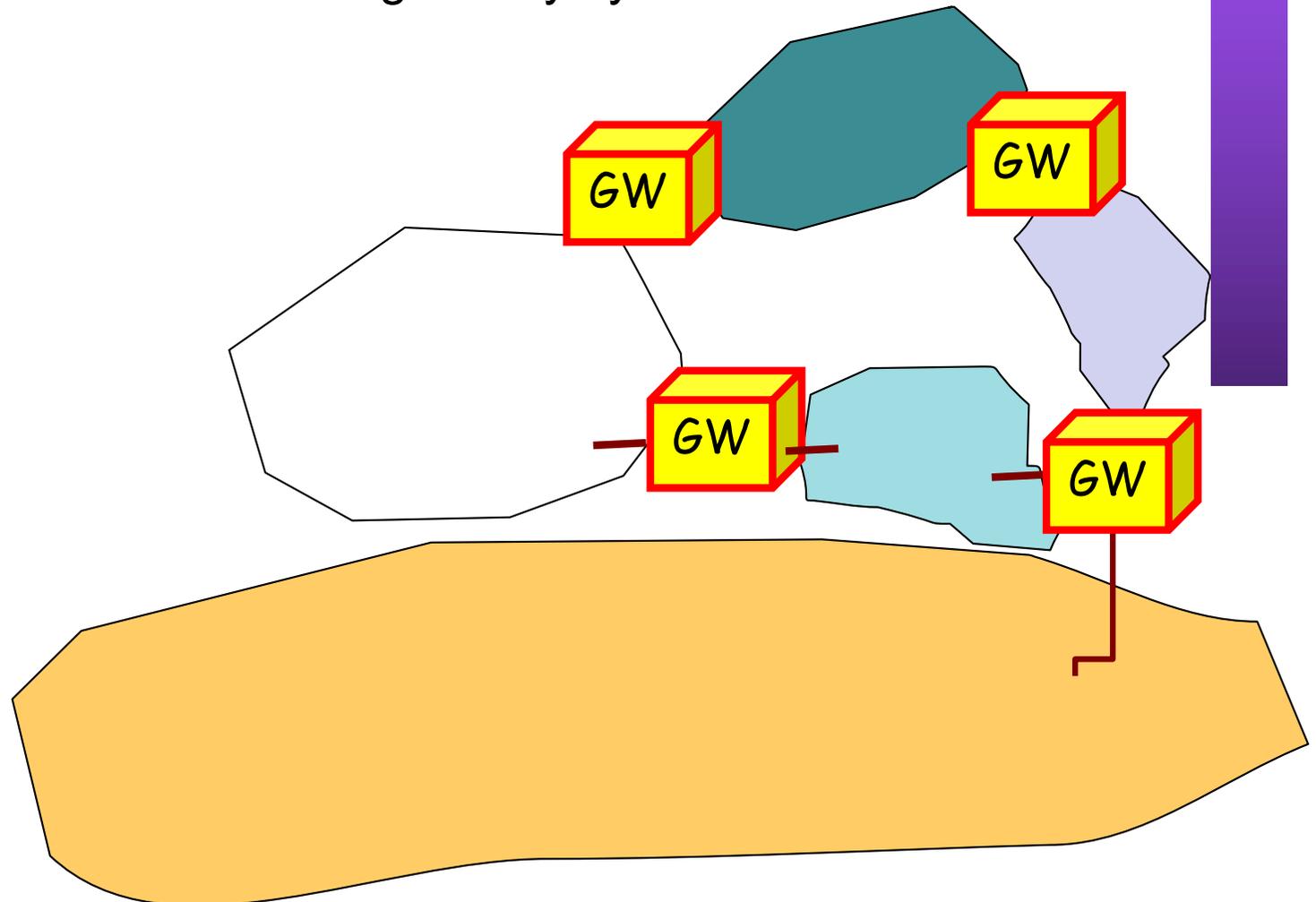
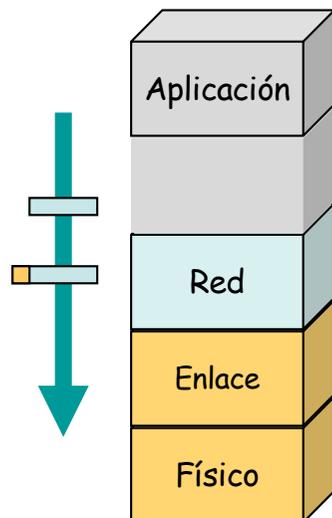
# Capa 3

- Las subredes son opacas para el encaminamiento de capa 3, simplemente dan conectividad a todos los equipos de la misma



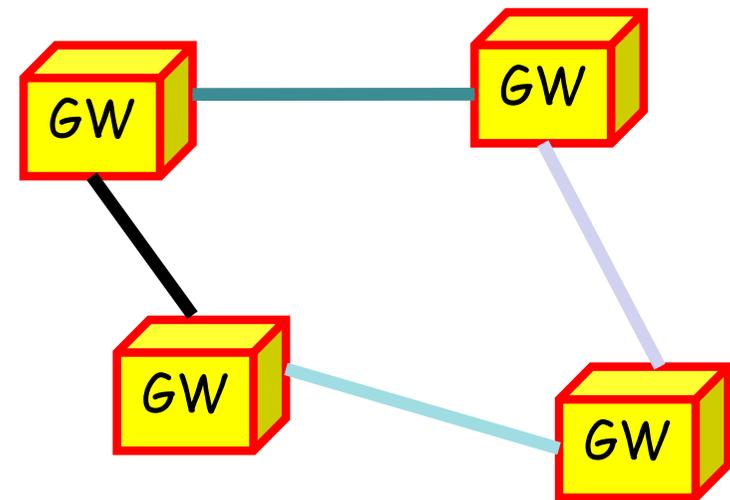
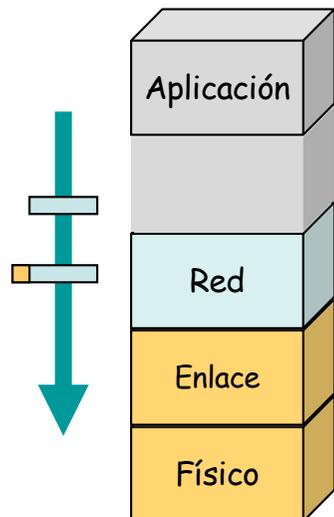
# Capa 3

- Puede haber múltiples caminos a un destino
- Para llegar a una red destino es suficiente con llegar a un gateway que tenga un interfaz en ella
- Lo que nos interesan son los gateways y los enlaces entre ellos



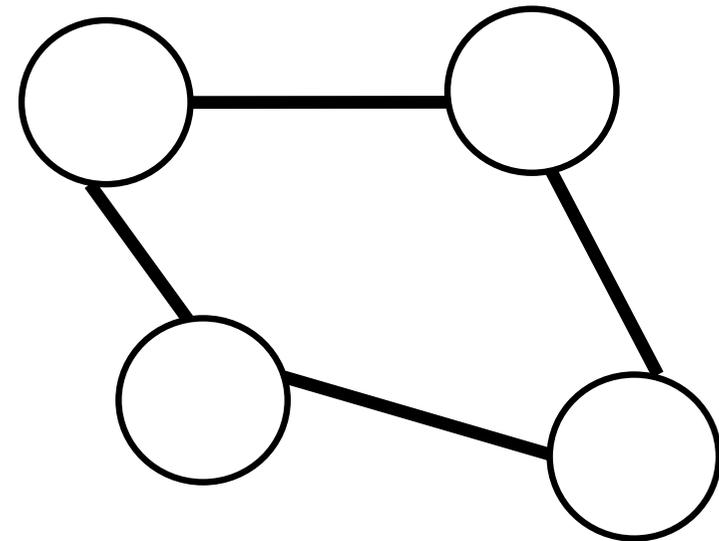
# Capa 3

- Puede haber múltiples caminos a un destino
- Para llegar a una red destino es suficiente con llegar a un gateway que tenga un interfaz en ella
- Lo que nos interesan son los gateways y los enlaces entre ellos



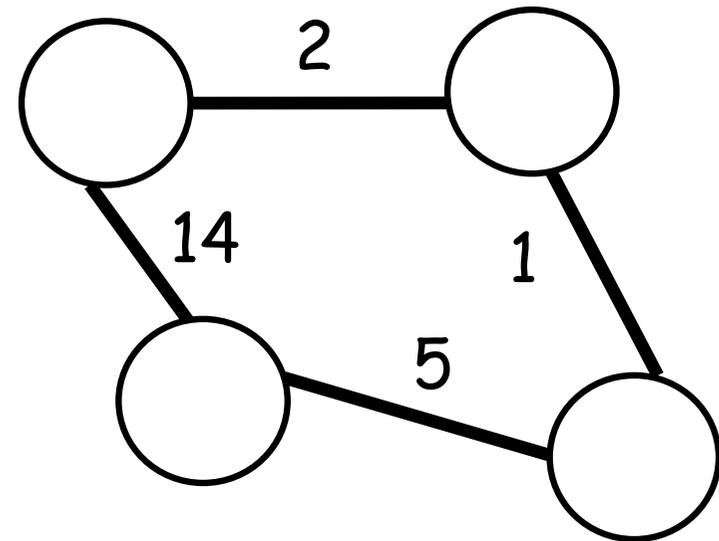
# Grafo

- La representación es un grafo
- Grafo: nodos (vértices) y enlaces (aristas)



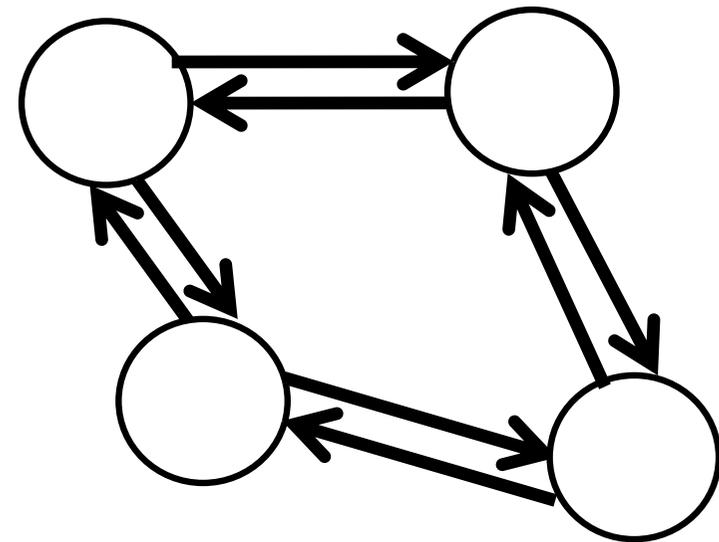
# Grafo

- La representación es un grafo
- Grafo: nodos (vértices) y enlaces (aristas)
- Puede incluir costes en las aristas



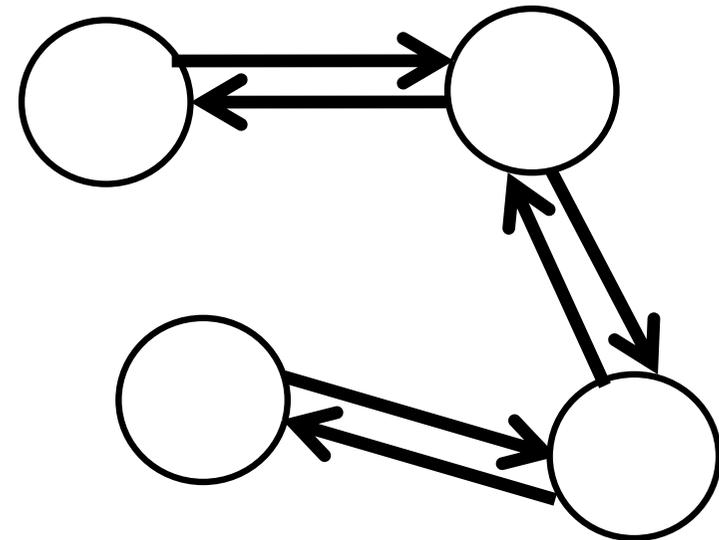
# Grafo

- La representación es un grafo
- Grafo: nodos (vértices) y enlaces (aristas)
- Puede incluir costes en las aristas
- Grafo dirigido o no dirigido
- Ciclos: representan múltiples opciones para ir de un origen a un destino



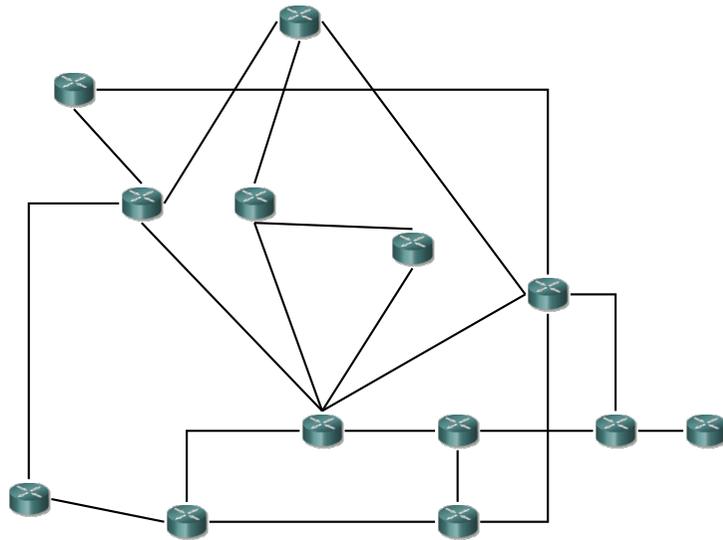
# Grafo

- La representación es un grafo
- Grafo: nodos (vértices) y enlaces (aristas)
- Puede incluir costes en las aristas
- Grafo dirigido o no dirigido
- Ciclos: representan múltiples opciones para ir de un origen a un destino
- Árbol: no tiene ciclos (grafo acíclico)

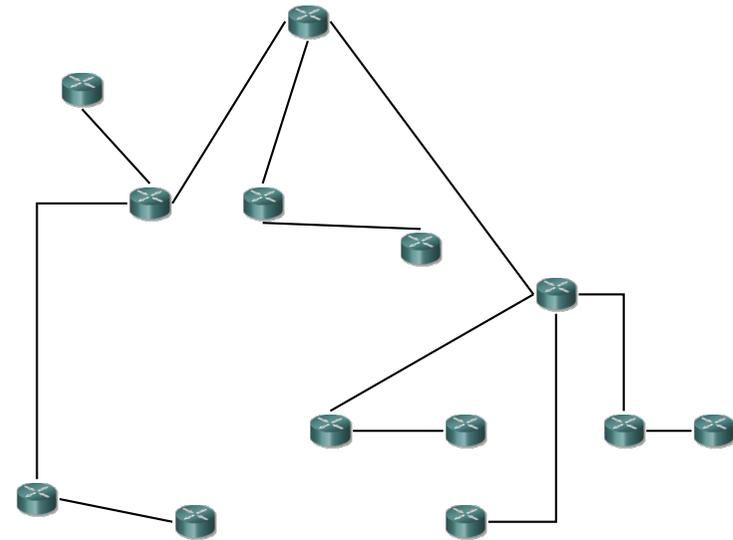


# Ejemplo

- Grafo con ciclos



- Un posible árbol



upna

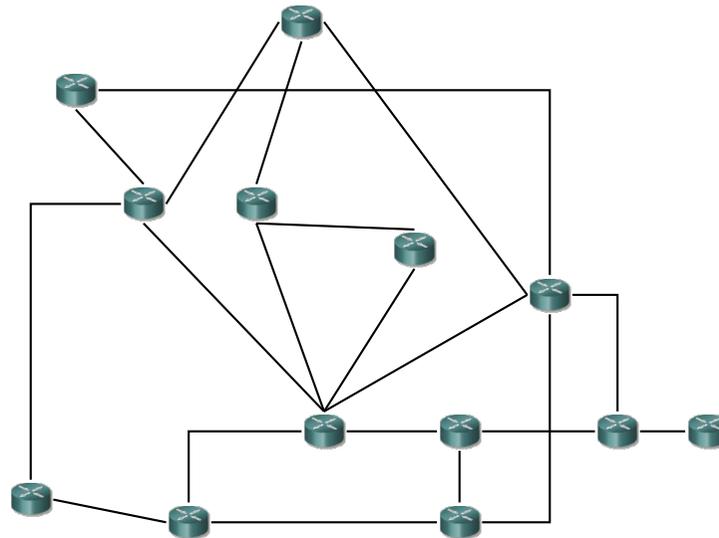
Universidad Pública de Navarra  
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS Y SERVICIOS**  
*Área de Ingeniería Telemática*

# Estrategias

# Objetivo

- Buscar caminos entre nodos de la red
- Incluso aunque solo haya un camino posible los equipos necesitan saber cuál es
- En todo tipo de redes (circuitos o paquetes)
- Nos centraremos en los escenarios de conmutación de paquetes
- Y en "encaminamiento unicast": El destino es un único nodo
- También existe el "encaminamiento multicast"



# CC vs CP

- En redes de conmutación de circuitos o circuitos virtuales se selecciona el camino al establecer el circuito
- En redes de conmutación de paquetes se hace la selección del siguiente salto para cada paquete
- No es necesario recalcular el camino para cada paquete

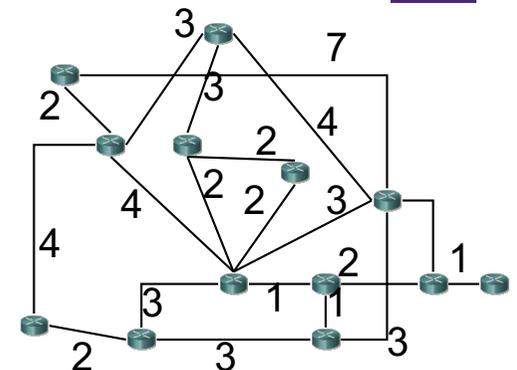
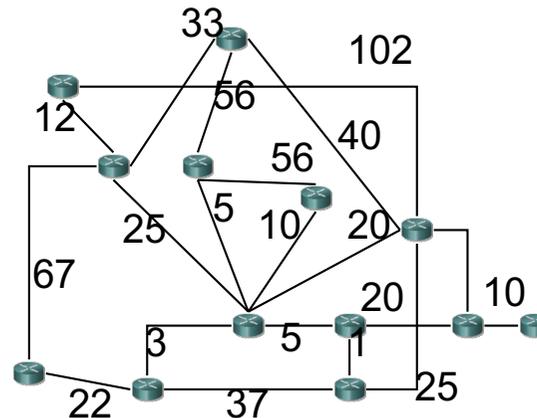
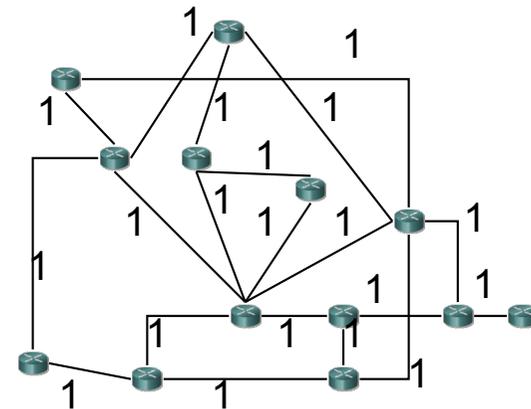


# Objetivos del cálculo

- Correcto
- Simple
- Robusto ante fallos en la red
- Estable

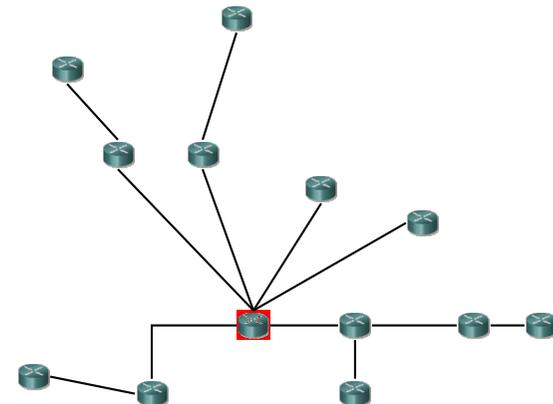
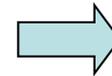
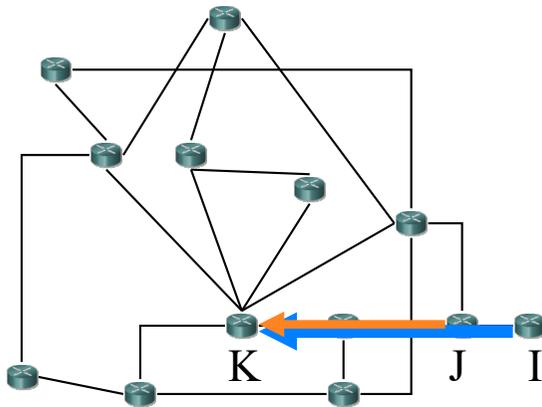
# Criterio

- Frecuentemente selección del camino "más corto" = menor número de "saltos"
- Generalización: camino de menor "coste"
- Implica que cada "salto" tenga un coste
- **Shortest path**
- ¿Cómo medirlo?
  - Número de *saltos*
  - Distancia geográfica
  - Retardo
- Peso de cada vértice:
  - BW
  - Tráfico medio
  - Coste (€€)
  - Longitud media de cola
  - Combinación



# Principio de optimalidad

- Encaminamiento únicamente en función del destino
- Caminos a un destino dan un árbol
- *Si router  $J$  está en el camino óptimo desde  $I$  a  $K$  entonces el camino óptimo de  $J$  a  $K$  está en la misma ruta (...)*
- Si existiera una ruta mejor de  $J$  a  $K$  se podría concatenar con el de  $I$  a  $J$
- El conjunto de rutas óptimas a un destino es un árbol = **sink tree** (...)
- Árbol  $\Rightarrow$  sin lazos (*loops*)



# Estrategias de encaminamiento

- Estático
- Sin información
  - Inundación
  - Aleatorio
- Adaptativo

upna

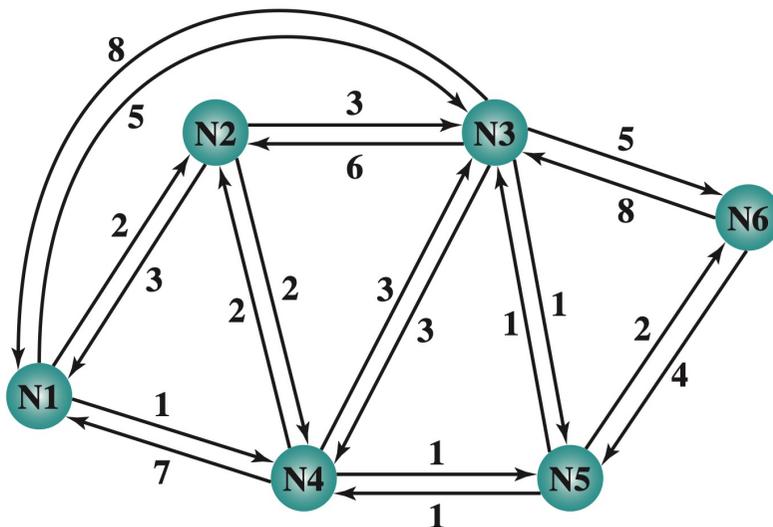
Universidad Pública de Navarra  
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS Y SERVICIOS  
*Área de Ingeniería Telemática*

# Encaminamiento estático

# Encaminamiento estático

- Configuración fija en cada nodo de la red
- Puede ser cálculo manual (¿y si la red es grande?)
- Tendría que recalcularse ante cambios en la topología (fallos o nuevos nodos o enlaces)
- Encaminamiento en base a destino: cada nodo necesita saber siguiente salto para cada destino
- Simple
- Válido para CC y CP
- Falto de flexibilidad, no reacciona ante congestión
- 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	—

# Encaminamiento estático

**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

- Tanto para datagramas como circuitos virtuales tenemos esas tablas de reenvío para encaminar los paquetes
- En circuitos virtuales se actualizarán al establecer un nuevo circuito
- Si no hay cambios, en ambos casos los paquetes siguen siempre el mismo camino

upna

Universidad Pública de Navarra  
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS Y SERVICIOS  
*Área de Ingeniería Telemática*

# Enrutamiento sin información

upna

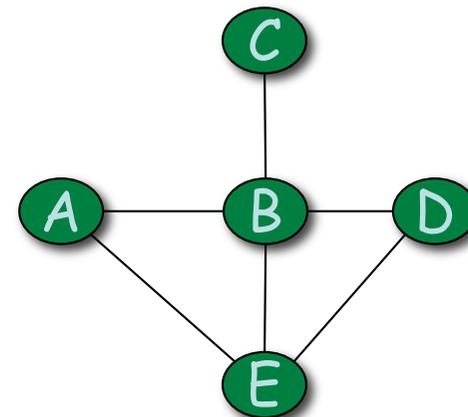
Universidad Pública de Navarra  
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS Y SERVICIOS  
*Área de Ingeniería Telemática*

# Inundación

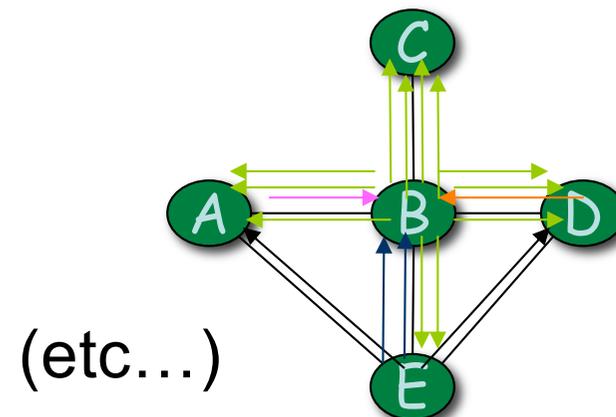
# Inundación

- No requiere información sobre la red
- Cada nodo retransmite por todos los enlaces menos por el que recibió el paquete
- Llegarán múltiples copias de los paquetes al destino (identificadores para reconocerlas)
- Ejemplo



# Inundación

- No requiere información sobre la red
- Cada nodo retransmite por todos los enlaces menos por el que recibió el paquete
- Llegarán múltiples copias de los paquetes al destino (identificadores para reconocerlas)
- Ejemplo

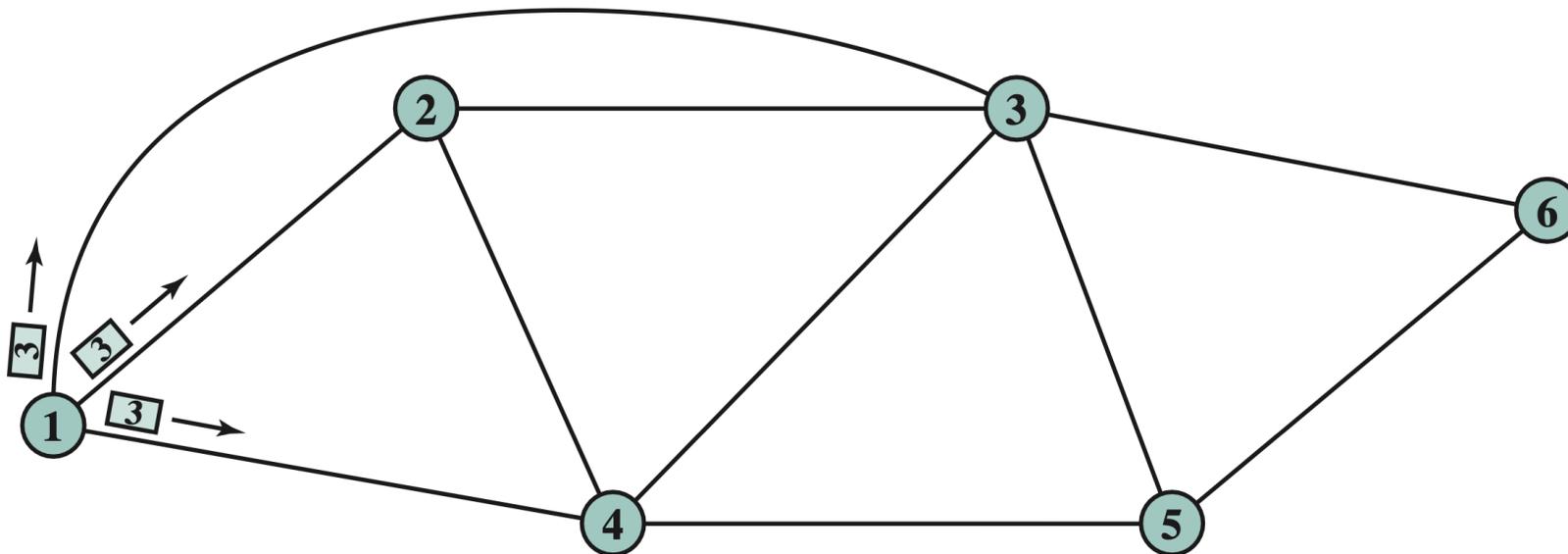


# Inundación

- No requiere información sobre la red
- Cada nodo retransmite por todos los enlaces menos por el que recibió el paquete
- Llegarán múltiples copias de los paquetes al destino (identificadores para reconocerlas)
- En un ciclo
  - Pueden quedarse indefinidamente
  - Crece su número
  - Resolver con TTL o reconociendo duplicado

# TTL

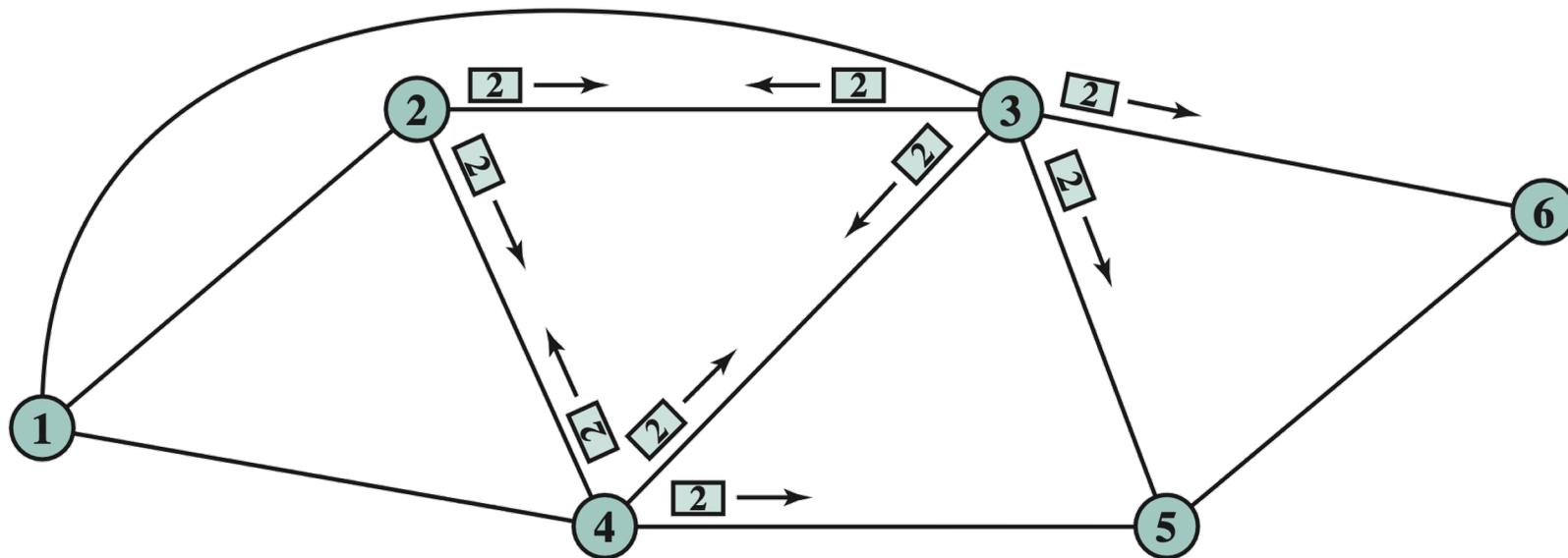
- Muy habitual en la cabecera de un protocolo de nivel de red
- Tiempo o número de saltos
- Decrementado en cada conmutador que procese esa capa
- Paquete descartado al llegar a 0
- El encaminamiento distribuido puede producir temporalmente bucles
- El TTL resuelve (o alivia) problemas por transitorios en el cálculo del encaminamiento



(a) First hop

# TTL

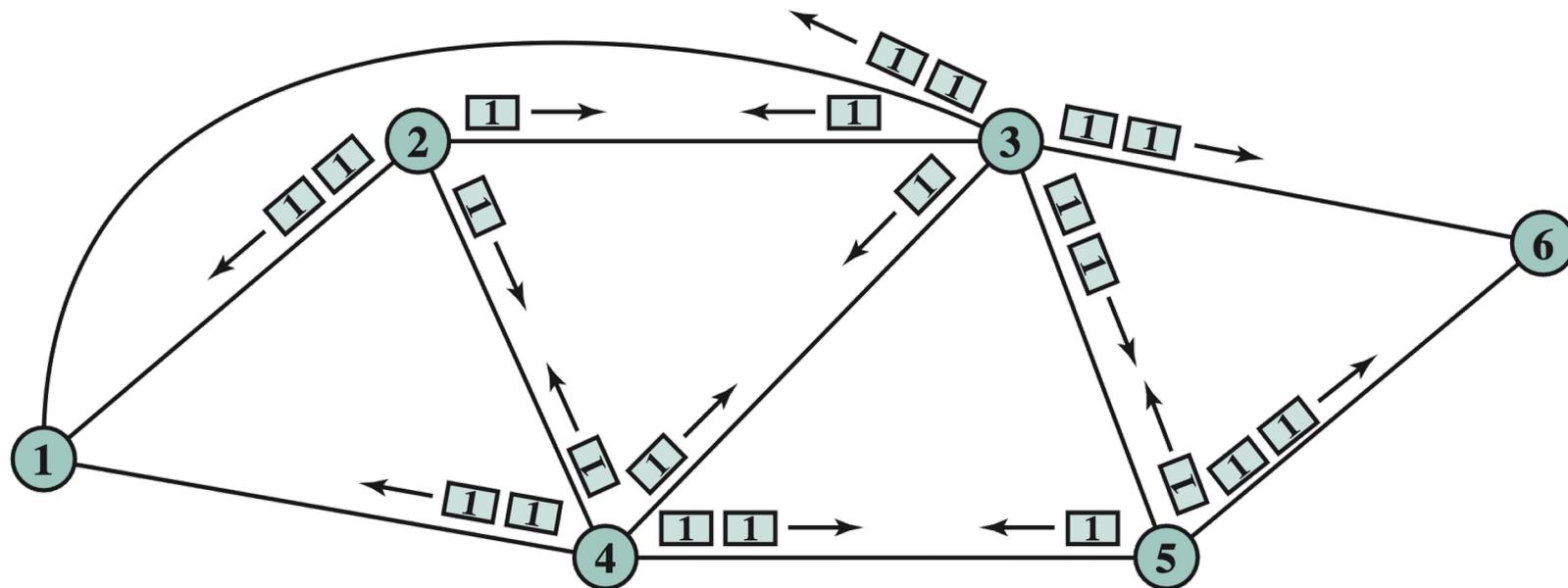
- Muy habitual en la cabecera de un protocolo de nivel de red
- Tiempo o número de saltos
- Decrementado en cada conmutador que procese esa capa
- Paquete descartado al llegar a 0
- El encaminamiento distribuido puede producir temporalmente bucles
- El TTL resuelve (o alivia) problemas por transitorios en el cálculo del encaminamiento



(b) Second hop

# TTL

- Muy habitual en la cabecera de un protocolo de nivel de red
- Tiempo o número de saltos
- Decrementado en cada conmutador que procese esa capa
- Paquete descartado al llegar a 0
- El encaminamiento distribuido puede producir temporalmente bucles
- El TTL resuelve (o alivia) problemas por transitorios en el cálculo del encaminamiento



(c) Third hop

upna

Universidad Pública de Navarra  
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS Y SERVICIOS  
*Área de Ingeniería Telemática*

# Encaminamiento aleatorio

# Encaminamiento aleatorio

- No requiere información sobre la red
- Reenvío por un solo enlace, aleatorio, excluyendo el enlace por el que se ha recibido el paquete
- La probabilidad de usar cada enlace puede ser diferente e incluso depender de parámetros del mismo (velocidad, retardo)
- Menos tráfico que con inundación
- Tiempo (número de saltos) hasta destino indeterminado

upna

Universidad Pública de Navarra  
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS Y SERVICIOS  
*Área de Ingeniería Telemática*

# Encaminamiento adaptativo

# Encaminamiento adaptativo

- Cambiar las rutas a medida que cambian las condiciones de la red
- Recálculo ante fallos o ante congestión
- Prácticamente siempre lo vamos a querer
- Complejo
- Requiere intercambiar información sobre el estado de nodos y enlaces
- Si la actualización es poco frecuente reacciona lento
- Si se actualiza muy frecuentemente puede ser carga apreciable
- Puede llevar a oscilaciones en el tráfico

upna

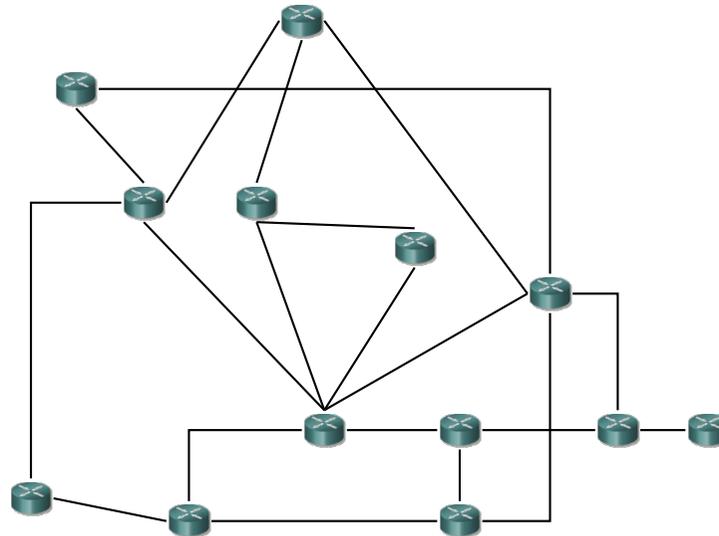
Universidad Pública de Navarra  
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS Y SERVICIOS  
*Área de Ingeniería Telemática*

# Clasificación

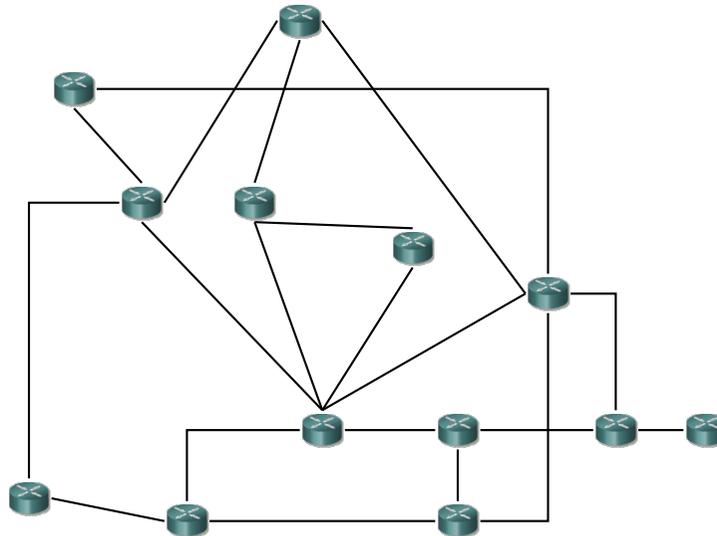
# Plano de datos/control

- Cálculo centralizado:
  - Comunicación de información de nodos, enlaces y su estado con nodo central
  - Mediante mensajes de un protocolo (plano de control)
  - Puede incluir la especificación (o no) de cómo calcular los caminos
  - Puede incluir cómo notificar a los nodos de los caminos a emplear



# Plano de datos/control

- Cálculo distribuido mediante plano de control
  - Los nodos tendrán forma de descubrir a sus vecinos
  - Descubrir los enlaces que existen
  - Comunicar su presencia
  - Eso suele implicar un protocolo
  - El cual suele también especificar el cálculo de los caminos (o rutas)
- Cálculo distribuido mediante plano de datos
  - Técnicas de inundación o encaminamiento aleatorio
  - Por ejemplo, Ethernet conmutada combina inundación con aprendizaje



# Source routing

- El origen del paquete decide el camino
- Puede ir en el propio paquete
- Gran responsabilidad para la fuente
- La red debe confiar
- Con diferentes administradores de redes incluso técnicas más simples son complicadas

# Problemas básicos

- ¿Qué camino sigue el tráfico en una red?
- ¿Cómo cambiar la configuración de enrutamiento para lograr otros caminos?