

# Ruteo de Paquetes

Ing .Gilberto Sánchez Quintanilla

## Introducción

- Uno de los aspectos más complejos y cruciales del diseño de redes de conmutación de paquetes es el **encaminamiento**.
- Las técnicas de encaminamiento implican cierto costo de procesamiento en cada nodo y, en ocasiones, también un costo en la transmisión, impidiéndose en ambos casos el funcionamiento eficiente de la red.

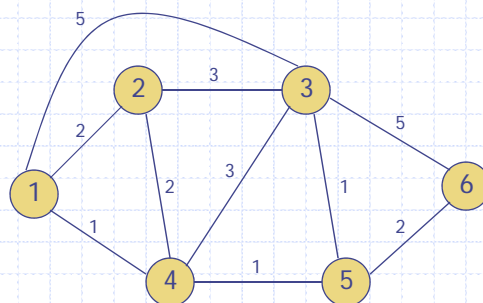
## Encaminamiento

### ■ Criterios de funcionamiento

- ♦ La elección de una ruta se fundamenta generalmente en algún criterio de funcionamiento.
- ♦ El más simple consiste en elegir el camino con menor número de saltos a través de la red.
- ♦ Una generalización del criterio de menor número de saltos lo constituye el encaminamiento de mínimo costo.

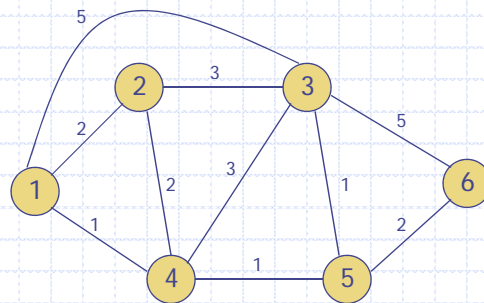
## Encaminamiento

- ♦ En este caso se asocia **un costo a cada enlace** y, para cualesquiera dos estaciones conectadas, **se elige aquella ruta a través de la red que implique el costo mínimo.**



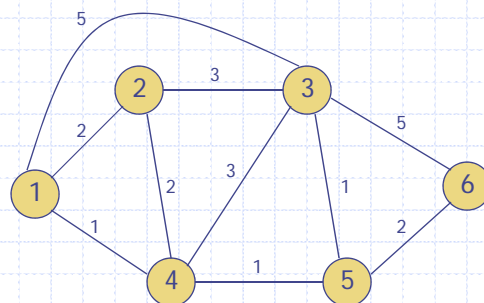
## Encaminamiento

- ♦ Ejemplo: Se muestra una red, en la que la línea entre cada par de nodos representa un enlace entre ellos, y los números asociados representan el costo actual del enlace.



## Encaminamiento

- ♦ El **camino más corto** (menor número de saltos) desde el nodo 1 hasta el nodo 6 es **1-3-6** (costo =  $5+5 = 10$ ), pero el de **mínimo costo** es **1-4-5-6** (costo =  $1+1+2 = 4$ ).



## Encaminamiento

- Los costos se asignan al enlace en función de los objetivos de diseño.
  - ♦ Por ejemplo: el costo podría estar inversamente relacionado con la velocidad (es decir, a mayor velocidad menor costo).
  - ♦ También el costo podría estar relacionado con el retardo actual de la cola asociado al enlace o el costo económico, como el uso de un enlace satelital.

## Encaminamiento

- Existen numerosas técnicas de encaminamiento para abordar las necesidades de encaminamiento en redes de conmutación de paquetes.

### **Encaminamiento estático.**

- ♦ Se configura una única y permanente ruta para cada par de nodos origen-destino en la red.
- ♦ Pudiéndose utilizar para ello cualquiera de los algoritmos de encaminamiento de mínimo costo.
- ♦ Las rutas son fijas mientras la topología lo sea.

# Encaminamiento

## Matriz de encaminamiento central

		Nodo Origen					
Nodo Destino	-	1	2	3	4	5	6
	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

## Encaminamiento estático

Tabla del nodo 1

Destino	Nodo siguiente
2	2
3	4
4	4
5	4
6	4

Tabla del nodo 2

Destino	Nodo siguiente
1	1
3	3
4	4
5	4
6	4

## Encaminamiento

### Encaminamiento estático

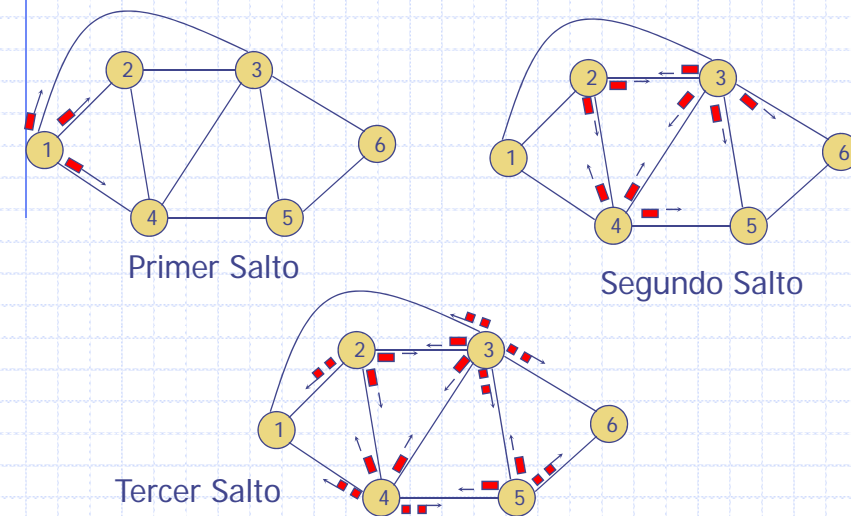
- ♦ Ventaja: Su simplicidad, además de su buen funcionamiento en redes fiables con carga estacionaria.
- ♦ Desventaja: Radica en la falta de flexibilidad, ya que no reacciona ante fallos ni congestión en la red.
- ♦ Una mejora al encaminamiento estático que soportaría la no disponibilidad temporal de nodos y enlaces, consiste en la especificación de nodos siguientes alternativos para cada destino. Por ejemplo: en el nodo 1 podría ser 4,3,2,3,3.

## Encaminamiento

### Inundación

- ♦ No precisa de ninguna información sobre la red.
- ♦ Un nodo origen envía un paquete a todos sus nodos vecinos, los cuales a su vez, los envían sobre todos los enlaces de salida, excepto por el que llegó.
- ♦ Por ejemplo en la siguiente red, si el nodo 1 desea enviar un paquete al nodo 6, debe enviar el paquete a los nodos 2,3 y 4. El nodo 2 envía una copia al nodo 3 y 4, el nodo 4 envía una copia a los nodos 2,3 y 5.

## Encaminamiento



## Encaminamiento

### Inundación

- ♦ Desventaja: Continua retransmisión de los paquetes.
- ♦ Se previene si cada nodo recuerda la identidad de los paquetes.
- ♦ Otra, es agregando una cuenta de saltos en cada paquete, este contador puede ponerse inicialmente a un valor máximo como es por ejemplo el diámetro de la red.

## Encaminamiento

### **La técnica de inundación presenta tres propiedades importantes:**

- ♦ Se prueban todos los posibles caminos entre los nodos origen y destino. De este modo se garantiza la recepción del paquete siempre que exista al menos una ruta entre origen y destino.
- ♦ Dado que se prueban todos los caminos, al menos una copia del paquete a recibir en el destino habrá usado una ruta de menor número de saltos.
- ♦ Se visitan todos los nodos que están directamente o indirectamente conectados al nodo origen.

## Encaminamiento

### **Encaminamiento aleatorio**

- ♦ En esta técnica, un nodo selecciona un único camino de salida para retransmitir un paquete entrante.
- ♦ El enlace de salida se selecciona de forma aleatoria, excluyendo el enlace por el que se recibió el paquete.
- ♦ No necesita información de la red
- ♦ La red debe transportar un tráfico superior al óptimo, aunque inferior al de la técnica de inundación.



## Encaminamiento

### Encaminamiento adaptable

- ♦ Prácticamente en todas las redes de conmutación de paquetes se utiliza algún tipo de técnica de encaminamiento adaptable; es decir, las decisiones de encaminamiento cambian a medida que lo hacen las condiciones de la red.
- ♦ **Fallos:** Cuando un nodo o línea principal fallan, no puede volver a ser usado como parte de la ruta.

## Encaminamiento

### Encaminamiento adaptable

- ♦ **Congestión:** Cuando una parte de la red sufre una congestión importante, es deseable encaminar a los paquetes de forma que se rodee la zona congestionada en lugar de realizar el encaminamiento a través de ella.
- ♦ Para hacer el encaminamiento adaptable es necesario que los **nodos intercambien información** acerca del estado **de la red**.

## Encaminamiento

### Encaminamiento adaptable

- ♦ **Desventajas:** Es más compleja, por lo que aumenta el coste de **procesamiento** en los nodos de la red.
- ♦ Depende de la información de estado obtenida en una parte de la red. Esta información constituye en si misma **trafico adicional** sobre la red, lo que supone cierta degradación de sus prestaciones.
- ♦ Puede **reaccionar demasiado rápido, provocando oscilaciones** y causando congestión, o demasiado lentamente, en cuyo caso no es valida.

## Encaminamiento

### Encaminamiento adaptable

- ♦ **Ventajas:** El usuario de la red percibe que las prestaciones mejoran con el uso de estas técnicas.
- ♦ Puede resultar de ayuda en el control de la congestión: dado a que este tipo de técnicas tiende a compensar la carga, puede retrasar la aparición de situaciones graves de congestión.

## Algoritmos de Mínimo Costo

### ◆ Ruteadores

- Los ruteadores operan en la capa de red y sus función básicas son:
  - ◆ Realizar el encaminamiento (ruteo) de los paquetes a través de los nodos intermedios.
  - ◆ Hacer transparente a las capas superiores la tecnología de red que esté utilizando.

## Algoritmos de Mínimo Costo

- Para realizar su función, un ruteador debe:
  - ◆ Revisar la información de la dirección destino (dirección lógica o dirección IP).
  - ◆ Buscar dicho destino en la tabla de ruteo y decidir cual es el siguiente ruteador al que hay que transmitir el paquete para que llegue a su destino.

## Algoritmos de Mínimo Costo

- Tipos de ruteo:

- ♦ **Ruteo estático:** Cuando las tablas de ruteo se llenan manualmente en cada ruteador y es necesario volver a llenarlas cuando existe un cambio en la topología.
- ♦ **Ruteo dinámico:** Cuando los ruteadores emplean información obtenida de la red, para llenar ellos mismos su tabla de ruteo.

## Algoritmos de Mínimo Costo

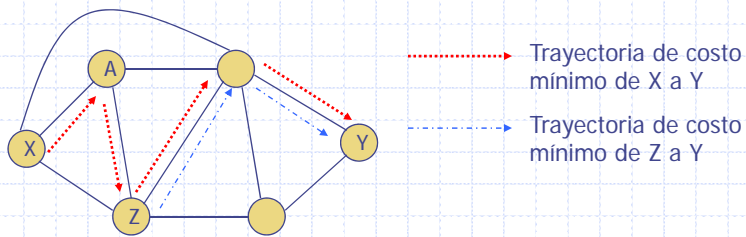
- Esta información que obtienen de la red, puede ser una **medición (métrica) del retardo de la longitud de los buffers intermedios**. O una **métrica dada por el administrador**, pudiendo así responder de manera automática a cambios en la topología.

## Algoritmos de Mínimo Costo

- De cualquier manera es común utilizar un algoritmo de costo mínimo para encontrar dichas tablas de ruteo.
- Un algoritmo de costo mínimo es aquel que encuentra la trayectoria de menor costo entre cualquier par de nodos.
- Donde el costo puede representar una combinación de retardo, utilización de los enlaces, costo económico, etc.
- Según el criterio del administrador de la red que asocia a cada enlace un costo.

## Algoritmos de Mínimo Costo

- Un principio de los algoritmos de costo mínimo es:
  - ♦ Si la trayectoria de menor costo desde el nodo X al nodo Y pasa por el nodo Z, entonces esta trayectoria de X a Y incluye a la trayectoria de menor costo desde el nodo Z al nodo Y.



## Algoritmos de Mínimo Costo

Tabla de ruteo del nodo X

Destino	Siguiente HOP	Costo
Z	A	5
Y	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....

## Algoritmos de Mínimo Costo

### ◆ Algoritmo de Dijkstra

#### ■ Definamos:

- ◆  $N$  = Número de nodos en la red
- ◆  $S$  = Nodo fuente
- ◆  $M$  = Conjunto de nodos incorporados por el algoritmo.
- ◆  $d_{ij}$  = Costo del enlace entre los nodos  $i$  y  $j$ ,  
 $d_{ii}=0$  y  $d_{ij} = \infty$  si los nodos **no se encuentran conectados directamente**,  $d_{ij} \geq 0$  si los nodos **se encuentran conectados directamente**.

## Algoritmos de Mínimo Costo

- ♦  $D_n$  = costo encontrado o en un curso obtenido por el algoritmo para el camino de menor costo desde el nodo  $s$  al nodo  $n$ .
- El algoritmo consta de tres pasos, repitiéndose los pasos 2 y 3 hasta que  $M=N$ , es decir, hasta que los caminos finales han sido asignados a todos los nodos de la red.

## Algoritmos de Mínimo Costo

### 1. Inicialización

- ♦  $M = \{s\}$ , solo el nodo fuente se encuentra en el conjunto  $M$ .  $D_n = d_{sn}$  para  $s \neq n$ ; el costo inicial de los caminos a los nodos vecinos es el costo de los enlaces.

### 2. Encontramos el nodo vecino

- ♦ Nodo que no este en  $M$  con el camino de menor costo y lo incorporamos a  $M$ , lo que puede expresarse como:

$$\text{Encontrar. } w \notin M \text{ tal que } D_w = \min_{j \notin M} D_j$$

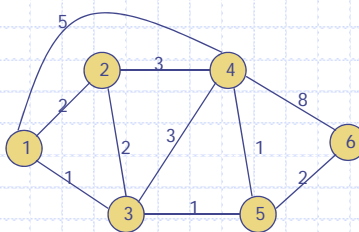
Añadir  $w \notin M$

## Algoritmos de Mínimo Costo

### 3. Actualizamos los caminos de costo mínimo

$$D_n = \min[D_n, D_w + d_{wn}] \text{ para todo } n \notin M$$

Ejemplo: Encontrar la tabla de ruteo del nodo 1 de la siguiente red.



## Algoritmos de Mínimo Costo

M	$D_2$	tray	$D_3$	tray	$D_4$	Tray	$D_5$	Tray	$D_6$	Tray
1	2	1-2	1	1-3	5	1-4	Infinito	-----	Infinito	-----
1,3	2	1-2	1	1-3	4	1-3-4	2	1-3-5	Infinito	-----
1,3,2	2	1-2	1	1-3	4	1-3-4	2	1-3-5	Infinito	-----
1,3,2,5	2	1-2	1	1-3	3	1-3-5-4	2	1-3-5	4	1-3-5-6
1,3,2,5,4	2	1-2	1	1-3	3	1-3-5-4	2	1-3-5	4	1-3-5-6
1,3,2,5,4,6	2	1-2	1	1-3	3	1-3-5-4	2	1-3-5	4	1-3-5-6



## Algoritmos de Mínimo Costo

Tabla de ruteo del nodo 1

Destino	Siguiente HOP	Costo
1	-	0
2	2	2
3	3	1
4	3	3
5	3	2
6	3	4

## Algoritmos de Mínimo Costo

### ◆ Algoritmo de Bellman-Ford

#### ■ Definamos:

- ◆  $S$  = Nodo fuente
- ◆  $d_{ij}$  = Costo del enlace entre los nodos  $i$  y  $j$ ,  
 $d_{ii}=0$  y  $d_{ij} = \infty$  si los nodos **no se encuentran conectados directamente**,  $d_{ij} \geq 0$  si los nodos **se encuentran conectados directamente**.
- ◆  $h$  = número máximo de enlaces en un camino en el paso actual del algoritmo.

## Algoritmos de Mínimo Costo

- ♦  $D_n^{(h)}$  = Costo en curso obtenido por el algoritmo para el camino más corto desde el nodo **s** al nodo **n** empleando **h** enlaces (o saltos) como máximo.
- El algoritmo consta de los siguientes pasos, repitiéndose el paso dos hasta que ninguno de los otros costos cambia.

## Algoritmos de Mínimo Costo

### 1. Inicialización

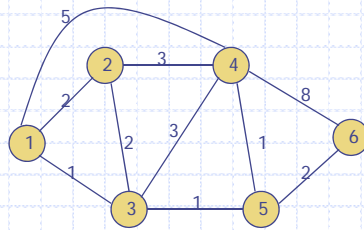
- ♦  $D_n^{(0)} = \infty$  para todo  $n \neq s$
- ♦  $D_s^{(h)} = 0$  para todo  $h$

### 2. Para cada sucesivo $h \geq 0$

- ♦  $D_n^{(h+1)} = j \min [D_j^{(h)} + d_{jn}]$  donde  $n$  = nodo destino

## Algoritmos de Mínimo Costo

- Encuentre la tabla de ruteo del nodo 1



## Algoritmos de Mínimo Costo

h	D <sub>1</sub>	Tray	D <sub>2</sub>	Tray	D <sub>3</sub>	Tray	D <sub>4</sub>	Tray	D <sub>5</sub>	Tray	D <sub>6</sub>	Tray
0	0	1	Infin.	---	Infin.	---	Infin.	---	Infin.	---	Infin.	---
1	0	1	2	1-2	1	1-3	5	1-4	Infin.	---	Infin.	---
2	0	1	2	1-2	1	1-3	4	1-3-4	2	1-3-5	13	1-4-6
3	0	1	2	1-2	1	1-3	3	1-3-5-4	2	1-3-5	3	1-3-5-6
4	0	1	2	1-2	1	1-3	3	1-3-5-4	2	1-3-5	3	1-3-5-6

## Algoritmos de Mínimo Costo

**Tabla de ruteo del nodo 1**

Destino	Siguiente HOP	Costo
1	-	0
2	2	2
3	3	1
4	3	3
5	3	2
6	3	4

## Tabla de ruteo IP

```
=====
Lista de interfaces
0x1 ..... MS TCP Loopback interface
0x20002 ...00 18 e7 33 3d c3 ..... Realtek RTL8185 54M Wireless LAN Network Ada
pter - Minipuerto del administrador de paquetes
=====

Rutas activas:
Destino de red      Máscara de red      Puerta de acceso      Interfaz      Métrica
0.0.0.0             0.0.0.0             192.168.2.2           192.168.2.60   25
127.0.0.0           255.0.0.0           127.0.0.1            127.0.0.1      1
192.168.2.0         255.255.255.0       192.168.2.60         192.168.2.60   25
192.168.2.60        255.255.255.255     127.0.0.1            127.0.0.1      25
192.168.2.255       255.255.255.255     192.168.2.60         192.168.2.60   25
224.0.0.0           240.0.0.0           192.168.2.60         192.168.2.60   25
255.255.255.255     255.255.255.255     192.168.2.60         192.168.2.60   1
Puerta de enlace predeterminada: 192.168.2.2
=====

Rutas persistentes:
ninguno
```

## Tabla de ruteo

### ■ Ruta predeterminada

- ◆ 0.0.0.0 con 0.0.0.0
- ◆ Es la ruta más coincidente cuando no hay otras coincidencias.
- ◆ Si se elige la ruta predeterminada, el paquete se reenvía a la dirección IP de la puerta de enlace predeterminada (192.168.2.2), mediante la interfaz asignada (192.168.2.60)

Destino de red	Máscara de red	Puerta de acceso	Interfaz	Métrica
0.0.0.0	0.0.0.0	192.168.2.2	192.168.2.60	25

## Tabla de ruteo

### ■ Ruta de red de bucle invertido (local host)

- ◆ Coincide con cualquier dirección IP del intervalo 127.0.0.0 y 127.255.255.255
- ◆ Todas las direcciones IP que empiezan con 127 se reservan para local host.
- ◆ Todos los datagramas IP de ese intervalo se reenvían a la dirección de local host 127.0.0.1 mediante la interfaz de bucle invertido.

Destino de red	Máscara de red	Puerta de acceso	Interfaz	Métrica
127.0.0.0	255.0.0.0	127.0.0.1	127.0.0.1	1

## Tabla de ruteo IP

### ■ Ruta de red conectada directamente

- ◆ Subred 192.168.2.0 con 255.255.255.0
- ◆ Es una ruta de la subred conectada localmente.
- ◆ Cuando se elige esta ruta, el datagrama IP se reenvía a la dirección IP de destino mediante la interfaz asignada a la dirección IP.

Destino de red	Máscara de red	Puerta de acceso	Interfaz	Métrica
192.168.2.0	255.255.255.0	192.168.2.60	192.168.2.60	25

## Tabla de ruteo IP

### ■ Ruta de host local

- ◆ 192.168.2.60 con 255.255.255.255
- ◆ Una ruta de host para la dirección IP asignada.
- ◆ Todo el tráfico dirigido a la dirección de host local se reenvía a la dirección reservada de bucle invertido 127.0.0.1, mediante la interfaz de bucle invertido.

Destino de red	Máscara de red	Puerta de acceso	Interfaz	Métrica
192.168.2.60	255.255.255.255	127.0.0.1	127.0.0.1	25

## Tabla de ruteo de IP

- Ruta de difusión dirigida a todas las terminales
  - ♦ Una ruta de host para la dirección de difusión dirigida a todas las terminales para el ID de red de clase B 192.168.2.0/24. Los paquetes destinados a la dirección de difusión, dirigidos a todos los host de la subred 192.168.2.0, se envían como difusión de nivel MAC (D.D. = FF:FF:FF:FF:FF:FF), mediante la interfaz asignada a la dirección IP 192.168.2.60.

Destino de red	Máscara de red	Puerta de acceso	Interfaz	Métrica
192.168.2.255	255.255.255.255	192.168.2.60	192.168.2.60	25

## Tabla de ruteo IP

- Ruta de dirección de multidifusión
  - ♦ 224.0.0.0 con 240.0.0.0 o 224.0.0.0/4
  - ♦ Se utiliza para coincidir con todas las direcciones de clase D reservadas para el tráfico IP de multidifusión.
  - ♦ Los paquetes IP de multidifusión se envían como multidifusiones de nivel MAC, utilizando la interfaz asignada a la dirección IP.

Destino de red	Máscara de red	Puerta de acceso	Interfaz	Métrica
224.0.0.0	240.0.0.0	192.168.2.60	192.168.2.60	25

## Tabla de ruteo IP

### ■ Ruteo de difusión limitada

- ♦ 255.255.255.255/32
- ♦ Es una ruta de host para la dirección de difusión limitada. Los paquetes no salen de la subred.
- ♦ Los datagramas dirigidos a la dirección de difusión limitada se envían como difusión de nivel MAC mediante la interfaz asignada a la dirección IP.

Destino de red	Máscara de red	Puerta de acceso	Interfaz	Métrica
255.255.255.255	255.255.255.255	192.168.2.60	192.168.2.60	1