# Protocolos de Encaminamiento

## **RESUMEN**



- 1 Introducción: Conceptos y Objetivos
- 2 Clasificación de Procedimientos de Encaminamiento
- 3 Algoritmo de Vector de Distancia
- 4 Algoritmo de Estado de Enlaces
- 5 Encaminamiento Jerárquico
- 6 Dominio de Encaminamiento o Sistema Autónomo
- 7 Encaminamiento IP: IGP y EGP
- 8 IGP (Internal Gateway Protocol)

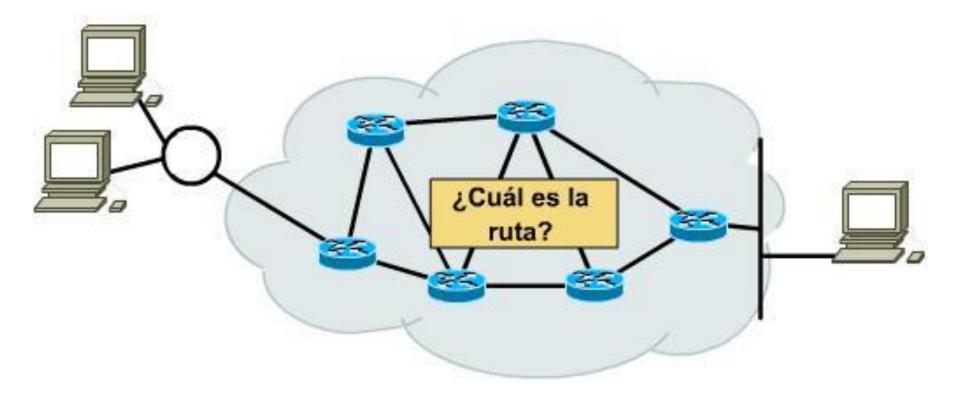
# Funciones básicas que debe soportar una red

- Encaminamiento
  - Básicamente dos técnicas:
    - **♣ E.E** (Estado de Enlaces Link state)
    - **♣ V.D** (Vector Distancia Distance Vector)
  - **↓** Criterios de Encaminamiento:
    - ♣ Retardo, Número de saltos, Throughput, Factores administrativos (Es lo que se conoce como la métrica).
    - ♣ Comprende un Protocolo de Encaminamiento y un Algoritmo de Encaminamiento (encargado de resolver las mejores rutas).
- **Control de Congestión** (cuando llega mucho tráfico a un nodo)
- **4** Direccionamiento
- Segmentación

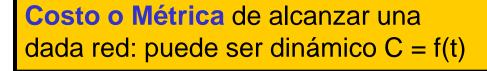
**Encaminamiento (Routing): Definiciones (I)** 

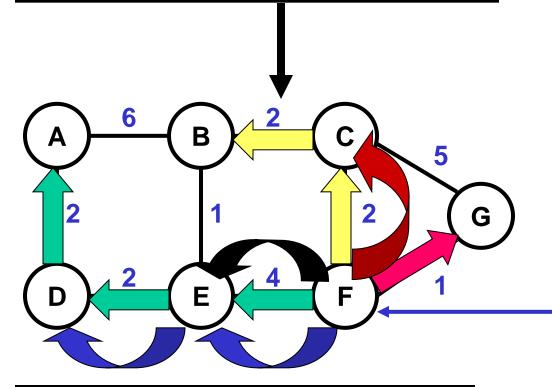
# **Objetivo:**

Búsqueda de las rutas en una red que, para todo origen y destino, satisfagan una serie de condiciones. Por ejemplo, rutas de mínimo costo económico, de mínimo retardo, de máximo Throughput o que satisfagan algún criterio administrativo.



#### **Encaminamiento (II)**



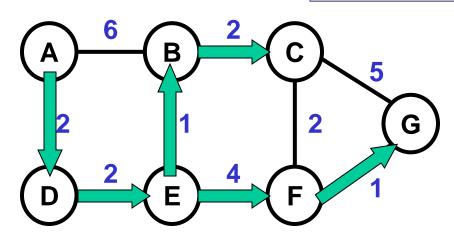


<u>Métrica</u>: magnitud a optimizar (retardo, throughput, citerio económico, número de saltos, etc.)

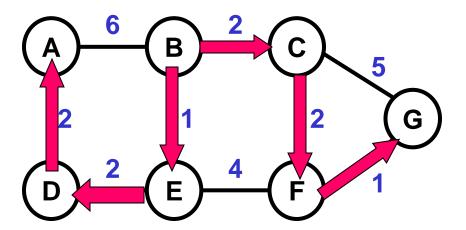
## **Tabla de Encaminamiento**

Nodo F		
Destino	Siguiente	Métrica
Α	E	8
В	С	4
С	С	2
D	E	6
E	E	4
F	F	0
G	G	1

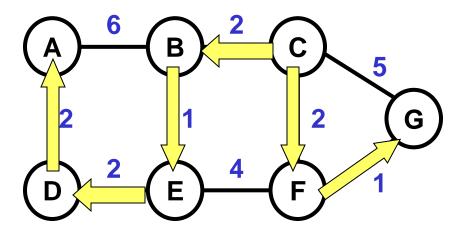
## **Encaminamiento: (III)**



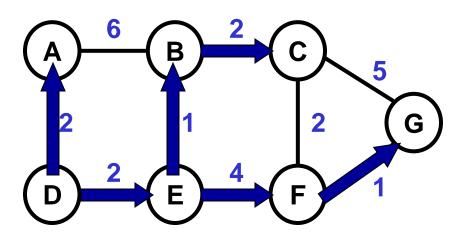
Árbol de encaminamiento nodo A



Árbol de encaminamiento nodo B

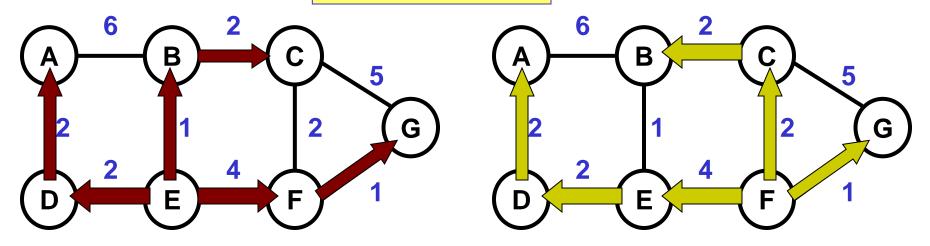


Árbol de encaminamiento nodo C



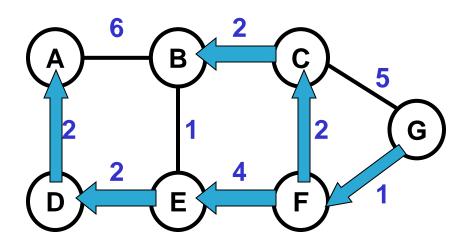
Árbol de encaminamiento nodo D

## **Encaminamiento: (IV)**



Árbol de encaminamiento nodo E

Árbol de encaminamiento nodo F



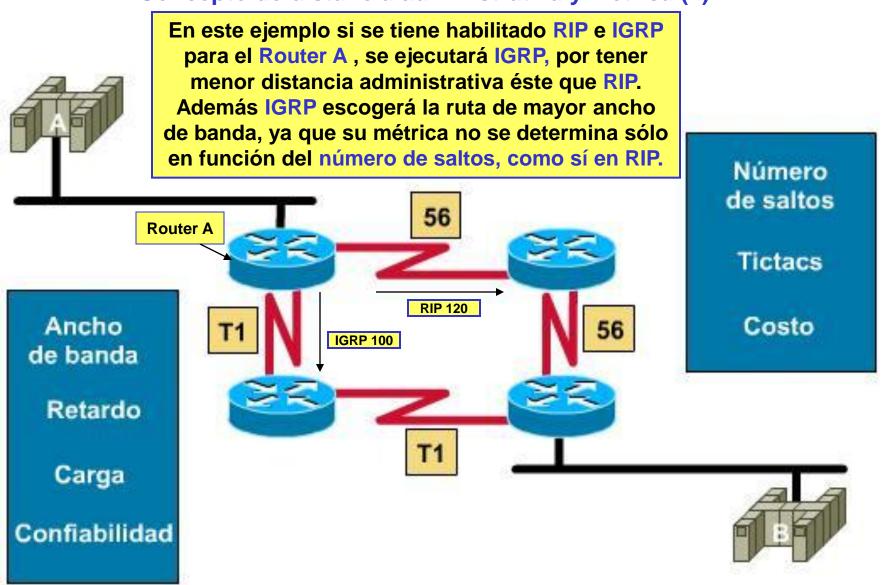
Árbol de encaminamiento nodo G

## Concepto de distancia administrativa y Métrica (I)

La distancia administrativa es un **parámetro** que mide la **confianza** otorgada a cada **fuente** de información de encaminamiento. Se entiende por fuente de información desde una **interfaz** directamente conectada, una **ruta estática** o bien directamente un **protocolo**. Cada protocolo de encaminamiento lleva asociado un número denominado "**distancia administrativa**". Los valores más bajos significan una **mayor fiabilidad**. Ocurre que un router puede ejecutar **varios protocolos** en paralelo, obteniendo por lo tanto información de cómo alcanzar una red por varias fuentes (**RIP**, **IGRP**, **BGP**, **OSPF**, etc). En estos casos el router utilizará aquella ruta que provenga de la fuente con **menor distancia administrativa**. A continuación se muestra una tabla con las distancias administrativas definidas para cada protocolo.

Fuente de información	Distancia administrativa por defecto	
Interfaz directamente conectada	0	
Ruta estática	1	
Resumen EIGRP	5	
BGP externo	20	
EIGRP interno	90	
IGRP	100	
OSPF	110	
IS-IS	115	
RIP	120	
EIGRP externo	170	
BGP interno	200	
Desconocido. Red inalcanzable	255	

## Concepto de distancia administrativa y Métrica (II)



Propiedades deseables de la función de encaminamiento (I)

Rápida Convergencia

Optimización

**Flexibilidad** 

**Eficiencia** 

**Solidez** 

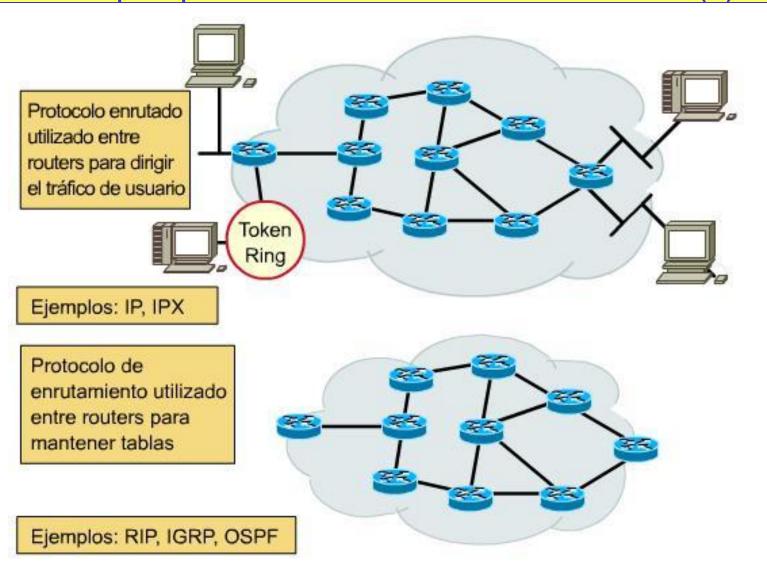
## Propiedades deseables de la función de encaminamiento (II)

- ♣ Rápida Convergencia: Los protocolos de enrutamiento deben converger rápidamente. Convergencia es la velocidad y la capacidad de un grupo de dispositivos de networking que ejecutan un protocolo de enrutamiento específico para concordar acerca de la topología de una red luego de que se produce un cambio en dicha topología. Cuando se produce un problema en la red, tal como un cambio en la topología de la red, que hace que las rutas dejen de funcionar o queden disponibles, los routers distribuyen mensajes de actualización de enrutamiento. Los mensajes de actualización de enrutamiento se envían a las redes, y de tal modo hacen que las rutas óptimas se vuelvan a calcular y eventualmente hacen que todos los routers concuerden en estas rutas. Los protocolos de enrutamiento que convergen lentamente pueden provocar loops de enrutamiento o la interrupción del servicio de la red.
- **♣ Optimización:** Se refiere a la capacidad del protocolo de enrutamiento para seleccionar la mejor ruta. La **mejor ruta** depende de las **métricas** y de las asignaciones de valor de la métrica que se usan para hacer el cálculo. Por ejemplo, un protocolo de enrutamiento puede usar el número de saltos y el retardo, pero puede asignar un valor más importante al retardo en el cálculo de dicha métrica.

## Propiedades deseables de la función de encaminamiento (III)

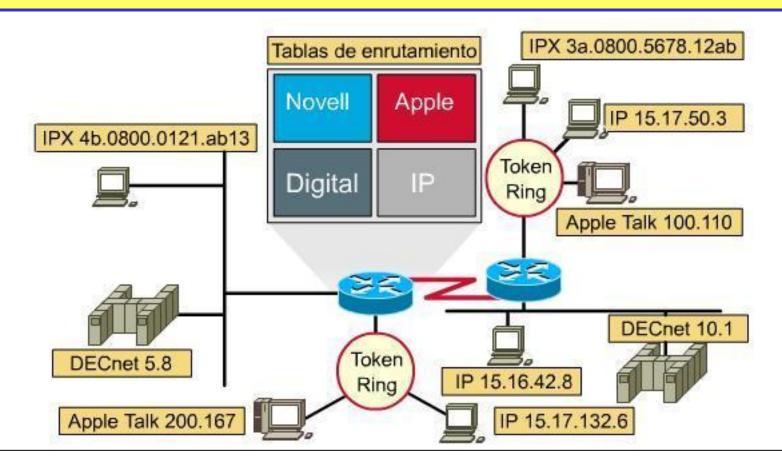
- ♣ Flexiilidad: Los protocolos de enrutamiento también deben ser flexibles. En otras palabras, deben adaptarse de forma rápida y precisa a una serie de diferentes circunstancias de la red. Por ejemplo, supongamos que un segmento de red deja de funcionar. Varios protocolos de enrutamiento rápidamente seleccionan la segunda mejor ruta para todas las rutas que normalmente utilizan un segmento determinado. Los protocolos de enrutamiento se pueden programar para adaptarse a los cambios en el ancho de banda de la red, el tamaño de la cola del router, el retardo de la red y otras variables.
- ♣ Eficiencia: El diseño de los protocolos de enrutamiento también busca que sean lo más simples y eficientes que sea posible. La eficiencia es particularmente importante cuando el software que implementa el protocolo de enrutamiento se debe ejecutar en un computador con recursos físicos limitados.
- ♣ Solidez: Los protocolos de enrutamiento deben ser sólidos. En otras palabras, deben ejecutarse correctamente aún ante circunstancias inusuales o imprevistas, tales como fallas del hardware, condiciones de carga elevada e implementaciones incorrectas. Como los routers están ubicados en los puntos de unión de la red, pueden provocar problemas considerables cuando fallan. Los mejores protocolos de enrutamiento a menudo son aquellos que con el tiempo han demostrado su eficiencia y que se han mantenido estables bajo una serie de diferentes condiciones de la red.

#### Otro concepto importante: Protocolo ruteado vs. Protocolo ruteable (IV)



#### Otro concepto importante: Protocolo ruteado vs. Protocolo de ruteable (V)

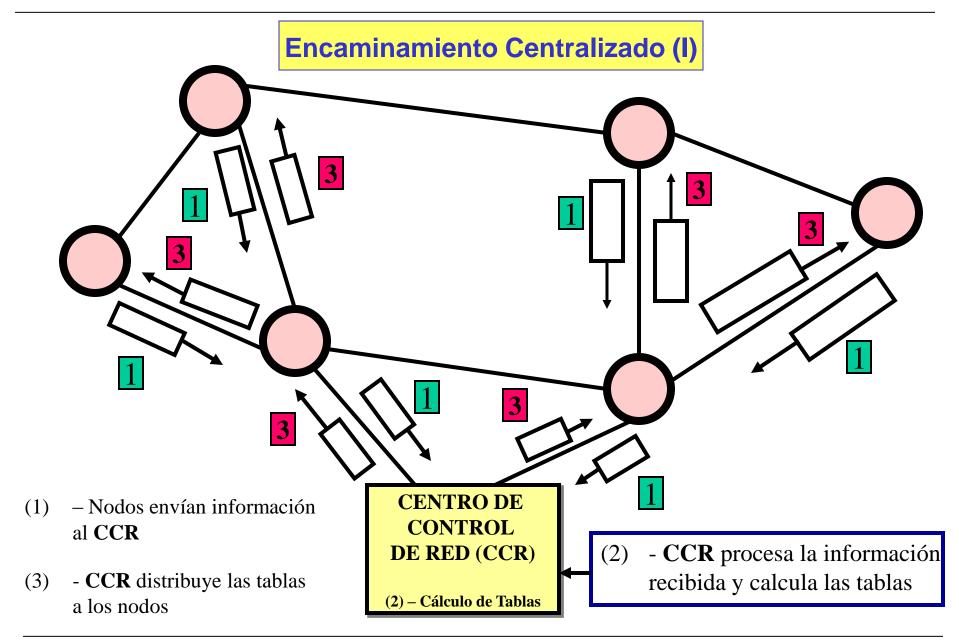
Los routers pueden soportar varios protocolos de enrutamiento independientes y mantener tablas de enrutamiento para varios protocolos enrutados. Esta capacidad le permite al router entregar paquetes de varios protocolos enrutados a través de los mismos enlaces de datos.



## **RESUMEN**

- 1 Introducción: Conceptos y Objetivos
- Clasificación de Procedimientos de Encaminamiento
  - 3 Algoritmo de Vector de Distancia
  - 4 Algoritmo de Estado de Enlaces
  - 5 Encaminamiento Jerárquico
  - 6 Dominio de Encaminamiento o Sistema Autónomo
  - 7 Encaminamieno IP: IGP y EGP
  - 8 IGP (Internal Gateway Protocol)

#### Clasificación de Procedimientos de Encaminamiento



# **Encaminamiento Centralizado (II)**

# Ventajas:

- Cálculo centralizado de rutas
- Visión global de la red

# Desventajas:

- ♣ Vulnerabilidad. Posible punto frágil del sistema, si se cae el CCR se pierde todo el encaminamiento.
- Sobrecarga de tráfico en las cercanías del CCR
- Inconsistencias debidas a diferencias en retardos

## **Encaminamiento Distribuido (III)**

Cada nodo intercambia información con otros nodos y a partir de ella calcula sus tablas de encaminamiento.

# Dos tipos:

♣ Vectores de distancia. Cada nodo calcula las rutas a partir de la información suministrada por los vecinos topológicos (visión parcial del estado de la red).

♣ Estado de enlaces. Cada nodo informa al resto del estado de sus enlaces. Con la información recibida construye un "mapa" completo de la red y sobre él ejecuta un algoritmo de cálculo de rutas (visión global del estado de la red).

## **RESUMEN**

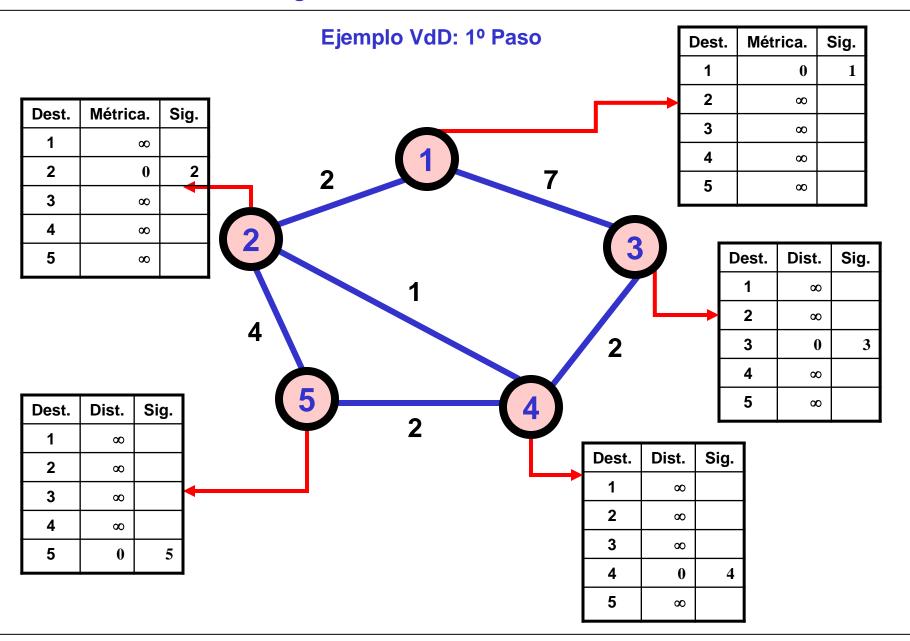
- 1 Introducción: Conceptos y Objetivos
- 2 Clasificación de Procedimientos de Encaminamiento

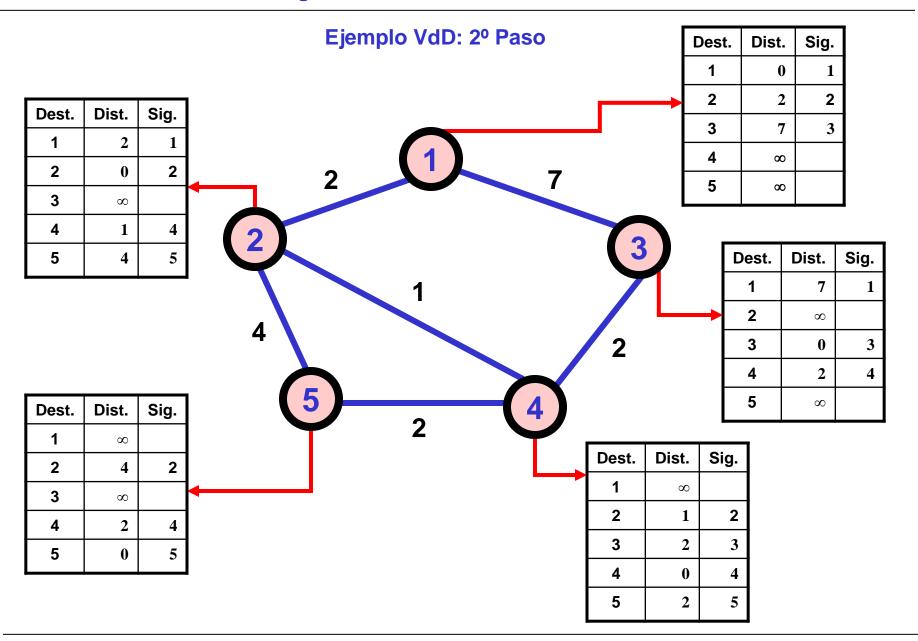


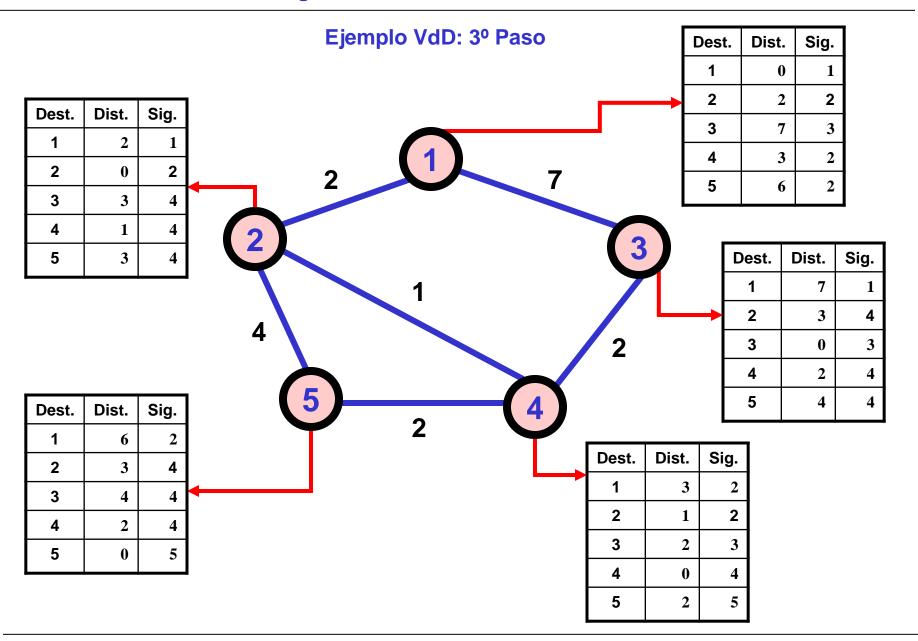
- 3 Algoritmo de Vector de Distancia Bellman-Ford
- 4 Algoritmo de Estado de Enlaces Dijsktra
- 5 Encaminamiento Jerárquico
- 6 Dominio de Encaminamiento o Sistema Autónomo
- Encaminamieno IP: IGP y EGP
- 8 IGP (Internal Gateway Protocol)

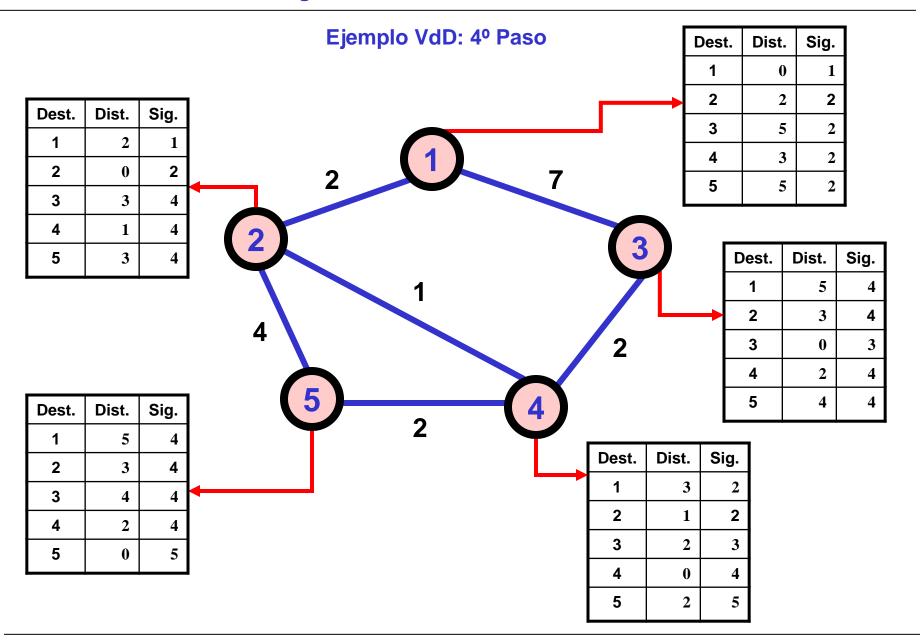
## Características:

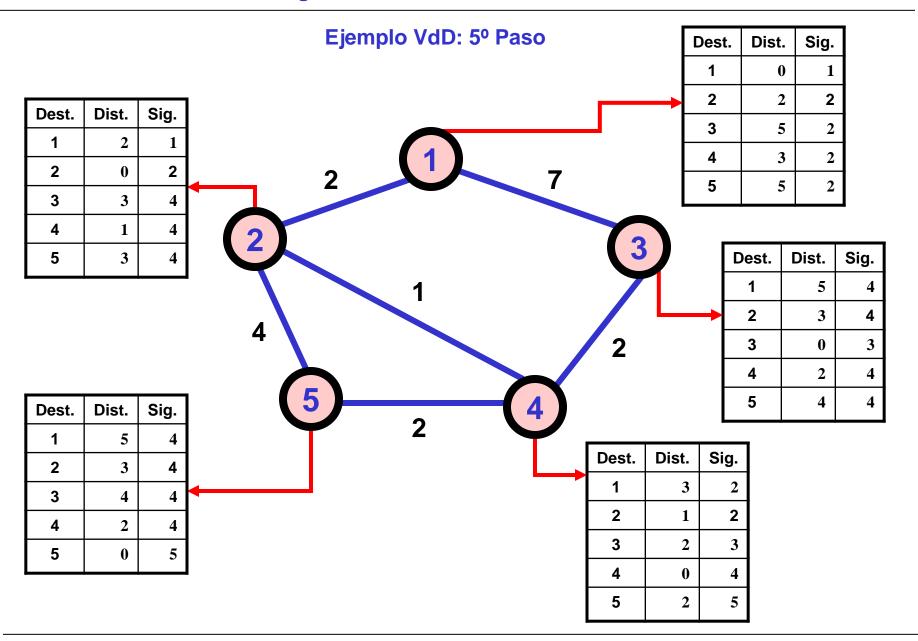
- Cada nodo posee un identificador distinto.
- ♣ Al inicio, el vector de distancias (VdD) de un nodo contiene distancia 0 hacia si mismo e infinita hacia el resto.
- ♣ Cada nodo transmite su VdD hacia sus vecinos (periódicamente o cuando hay cambios).
- ♣ Cada nodo guarda el VdD más reciente recibido de cada vecino.
- ♣ Cada nodo recalcula su propio VdD en función de lo que le informan sus vecinos. Lo realiza cuando:
  - Recibe un VdD de un vecino distinto del que él tiene almacenado.
  - Se "cae" un enlace o cambia de costo.











### Vector de Distancia

# Ventajas:

- Muy sencillo
- Muy robusto
- Tablas pequeñas

# Desventajas:

- Convergencia lenta
- Pueden aparecer bucles (existen mecanismos correctores)
- Crecimiento difícil

**Vector de Distancia** 

- Protocolos:
  - RIP
  - **HELLO**
  - **4** IGRP y EIGRP
- Mejoras:
  - SPLIT HORIZON ENVENENAMIENTO DE RUTAS (Poisson y Reverse Poisson) – Temporizadores

## **RESUMEN**

- 1 Introducción: Conceptos y Objetivos
- 2 Clasificación de Procedimientos de Encaminamiento
- 3 Algoritmo de Vector de Distancia
- Algoritmo de Estado de Enlaces
  - 5 Encaminamiento Jerárquico
  - 6 Dominio de Encaminamiento o Sistema Autónomo
  - 7 Encaminamieno IP: IGP y EGP
  - 8 IGP (Internal Gateway Protocol)

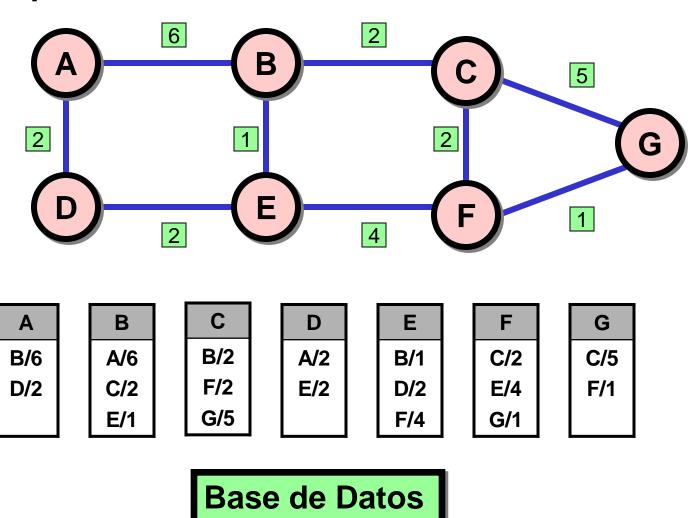
#### Estado de Enlaces

## Características:

- ♣ Cada nodo construye un paquete denominado Link State Packet (LSP) que contiene la lista de sus vecinos y el costo de alcanzarlos.
- Los LSP de cada nodo se distribuyen mediante un mecanismo de broadcast al resto de nodos de la red.
- ♣ Cada nodo recibe los LSP del resto de nodos y con ellos construye un mapa global de la red.
- ♣ Sobre el mapa global de la red se calculan las mejores rutas mediante Dijkstra o cualquier otro algoritmo.

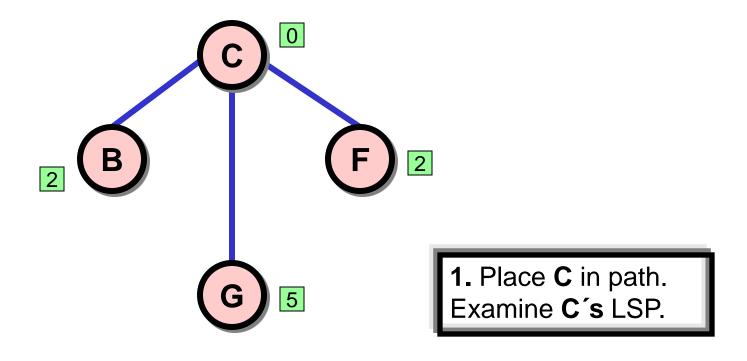
## Estado de Enlaces

# Ejemplo:

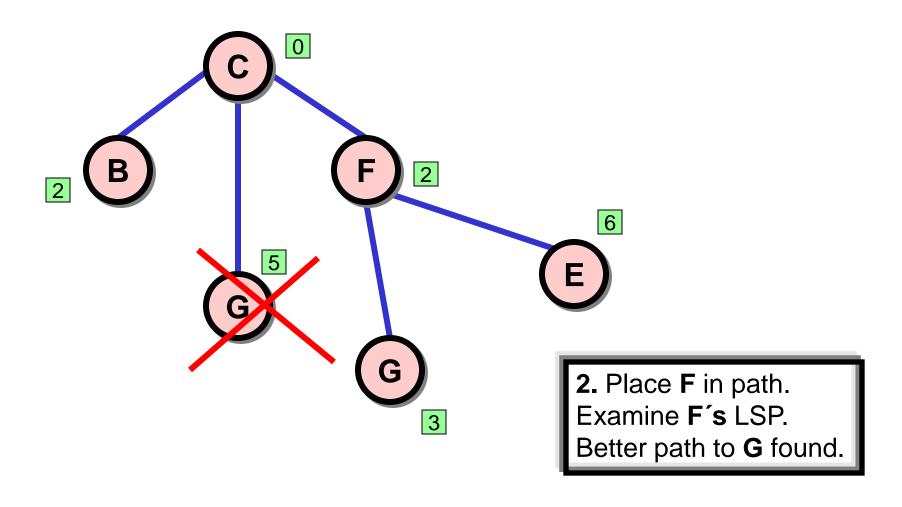


## Algoritmo de Estado de Enlaces

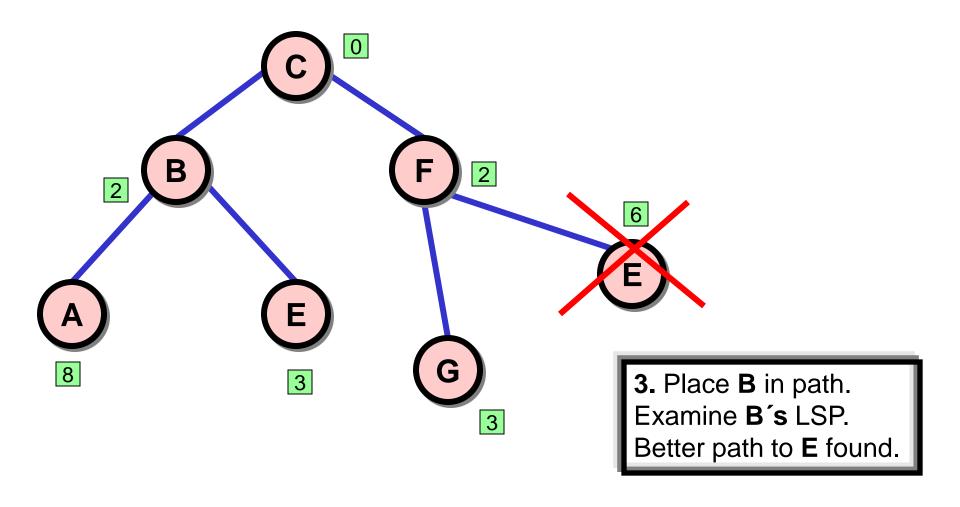
# Algoritmo Dijkstra: 1º Paso



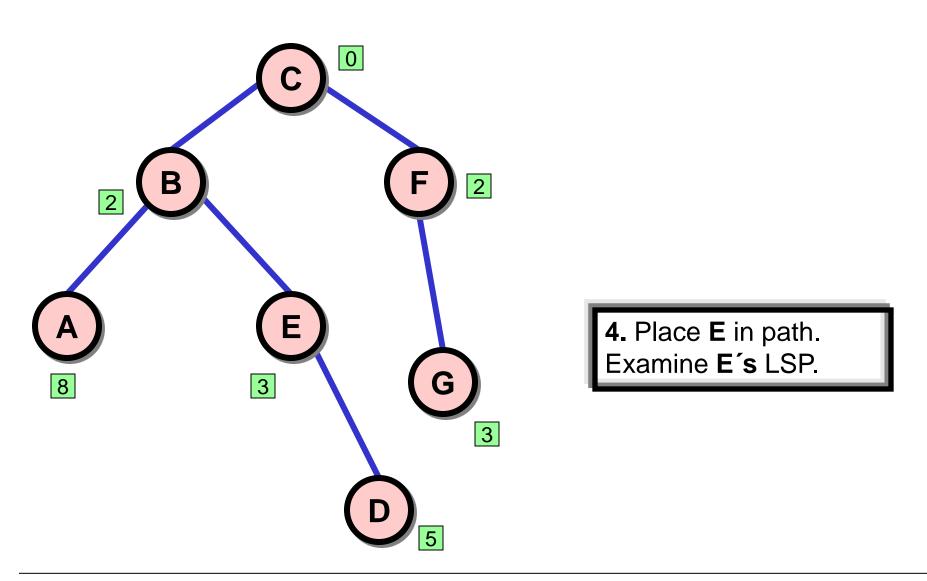
# Algoritmo Dijkstra: 2º Paso



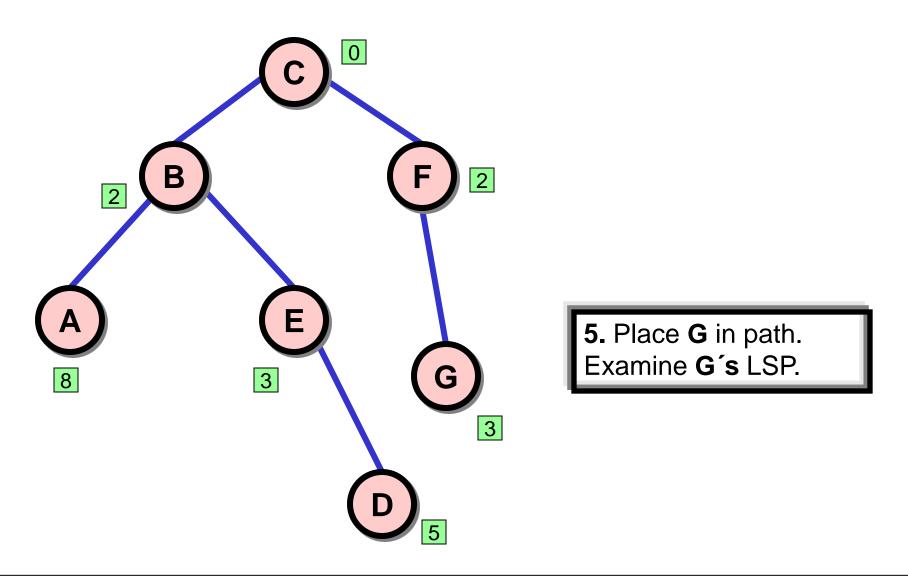
# Algoritmo Dijkstra: 3º Paso



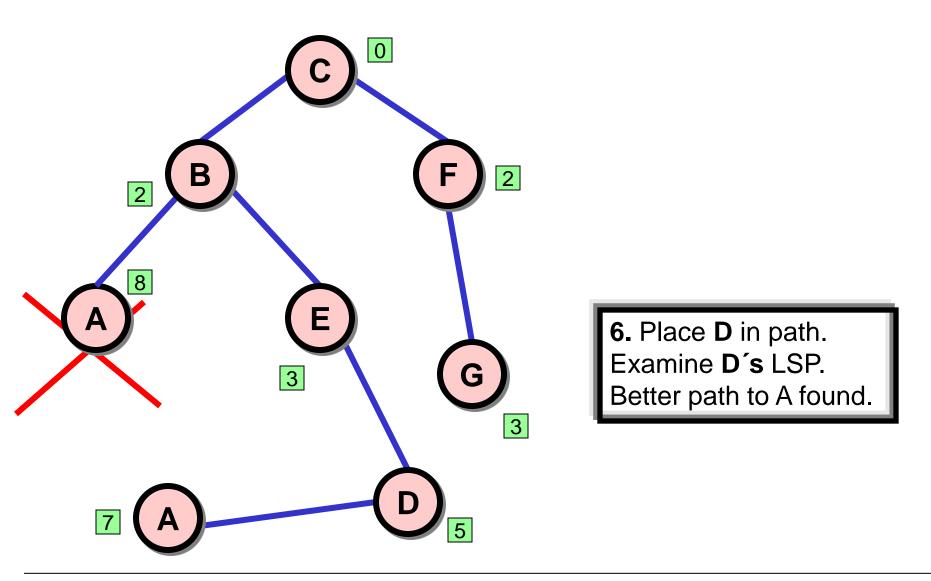
# Algoritmo Dijkstra: 4º Paso



# Algoritmo Dijkstra: 5º Paso

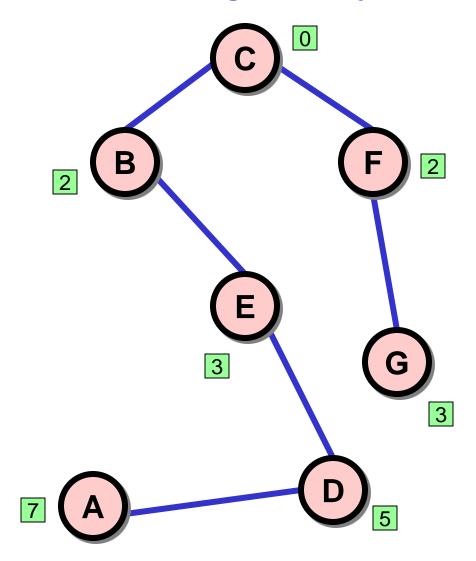


# Algoritmo Dijkstra: 6º Paso



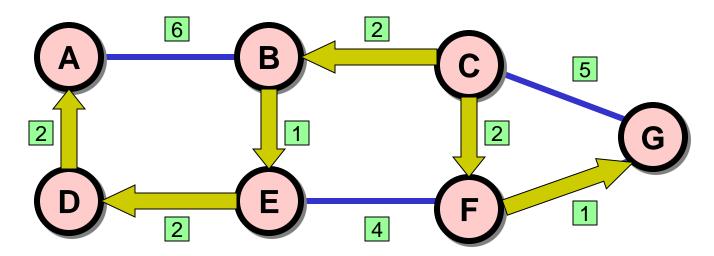
## Algoritmo de Estado de Enlaces

# Algoritmo Dijkstra: 7º Paso



7. Place A in path. Examine A's LSP. No nodes left. Terminate.

# Árbol de expansión de C



# Algoritmo de Distribución de LSPs

- 4 Es la parte más crítica del algoritmo basado en estado de enlaces.
- 4 Cada LSP se envía al resto mediante un algoritmo de inundación:
  - ♣ Un nodo reenvía cada LSP recibido a través de todos sus interfaces, salvo por la que lo recibió.

# Ventajas:

- Convergencia rápida
- Crecimiento fácil
- Detección y corrección de problemas más sencilla

# Desventajas:

- La difusión del estado de los enlaces puede ser complicada
- Cada nodo debe conocer la topología completa de la red (Se requieren tablas grandes).

# **RESUMEN**

- 1 Introducción: Conceptos y Objetivos
- 2 Clasificación de Procedimientos de Encaminamiento
- 3 Algoritmo de Vector de Distancia
- 4 Algoritmo de Estado de Enlaces
- **Encaminamiento Jerárquico** 
  - 6 Dominio de Encaminamiento o Sistema Autónomo
  - 7 Encaminamieno IP: IGP y EGP
  - 8 IGP (Internal Gateway Protocol)
  - 9 EGP ( External Gateway Protocol )

#### **Encaminamiento Plano**

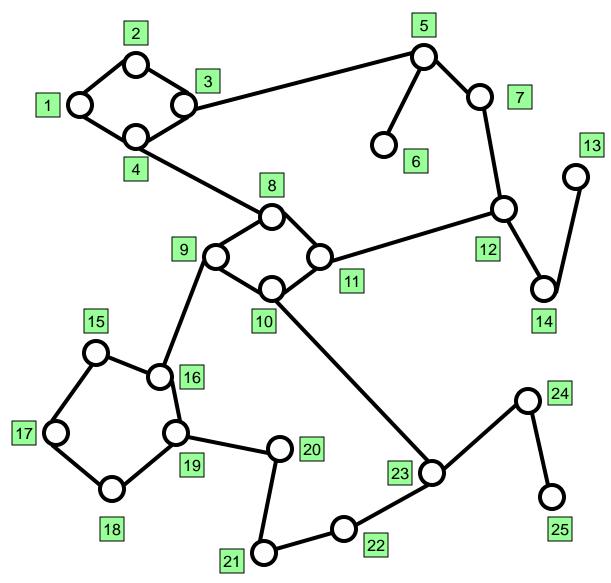
- ♣ El tamaño de las tablas de encaminamiento dependen linealmente del tamaño de la red.
- ♣ El efecto es que crece el consumo de recursos:
  - **4** CPU
  - Ancho de Banda
  - Capacidad de Almacenamiento
  - ♣ Se hace necesario jerarquizar las redes.

### **Encaminamiento Plano**

## Tablas del nodo 1

Destino	Siguiente nodo	
1	1	
2	2	
3	2	
4	4	
5	2	
6	2	
•		
24	4	
25	4	

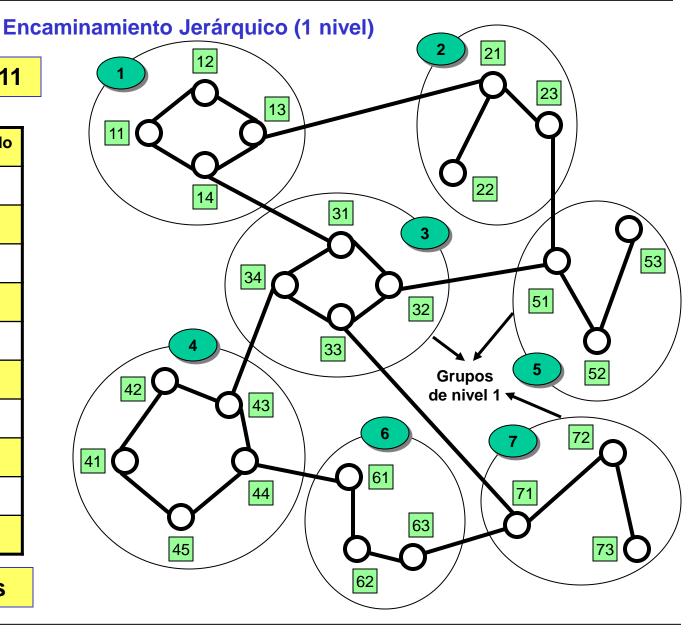
**Total: 25 entradas** 



## Tablas del nodo 11

Destino	Siguiente nodo		
11	11		
12	12		
13	12		
14	14		
2	12		
3	14		
•			
•	•		
6	14		
7	14		

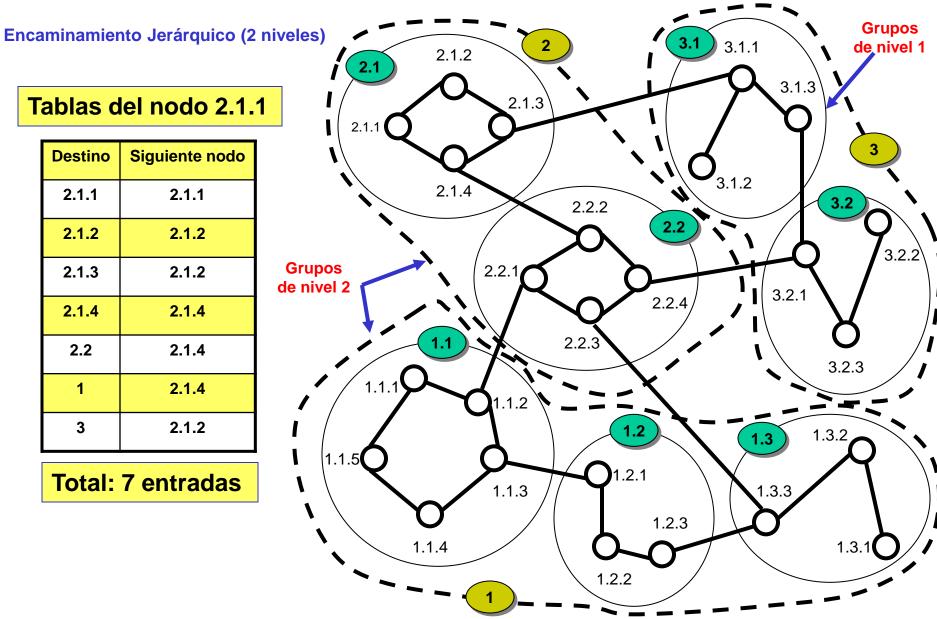
**Total: 10 entradas** 





Destino	Siguiente nodo		
2.1.1	2.1.1		
2.1.2	2.1.2		
2.1.3	2.1.2		
2.1.4	2.1.4		
2.2	2.1.4		
1	2.1.4		
3	2.1.2		

**Total: 7 entradas** 

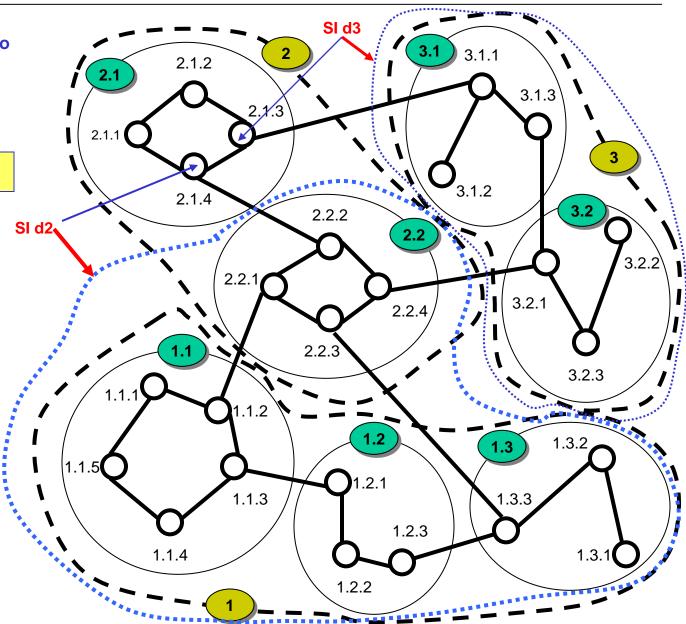




## Tablas del nodo 2.1.1

Destino	Siguiente nodo	
2.1.1	2.1.1	
2.1.2	2.1.2	
2.1.3	2.1.2	
2.1.4	2.1.4	
SI d2	2.1.4	
SI d3	2.1.3	

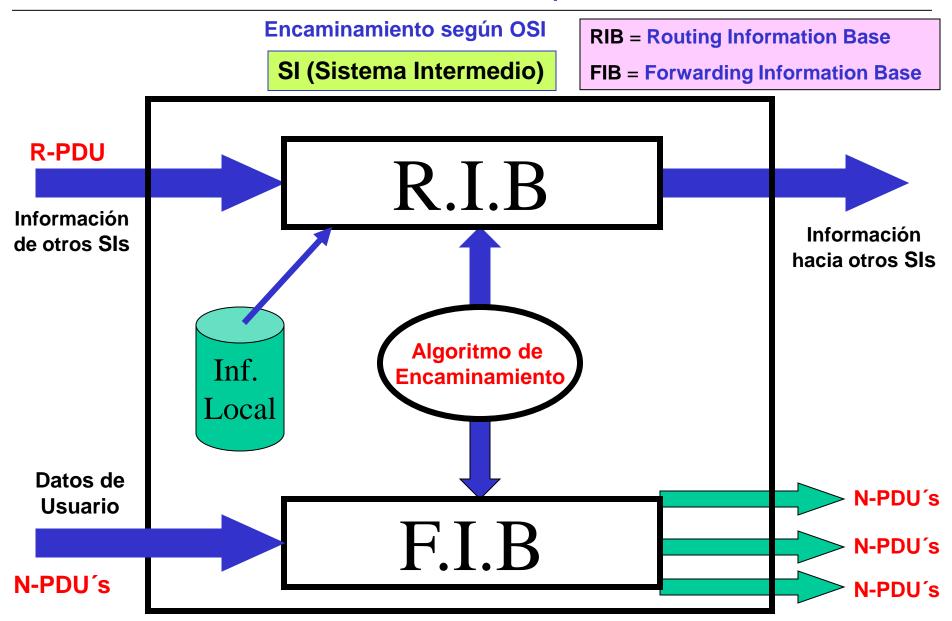
**Total: 6 entradas** 



- **Ventaja**: Reducción del tamaño de las tablas
- ♣ Desventaja: Aumento de la longitud de los caminos por la pérdida de precisión del encaminamiento. Pérdida de dinamismo.

Tipo de Encaminamiento	Número de Rutas	Reducción
Encaminamiento No Jerárquico	625	0 %
Jerárquico (1 nivel)	250	60 %
Jerárquico (2 niveles)	175	72 %
Jerárquico (2 niveles) con Sistemas Designados	150	76 %

Si aumenta el número de jerarquías disminuye el tamaño de las tablas (hasta un límite).



# **RESUMEN**

- 1 Introducción: Conceptos y Objetivos
- 2 Clasificación de Procedimientos de Encaminamiento
- 3 Algoritmo de Vector de Distancia
- 4 Algoritmo de Estado de Enlaces
- 5 Encaminamiento Jerárquico
- Dominio de Encaminamiento o Sistema Autónomo
  - The second of th
  - 8 IGP (Internal Gateway Protocol)

#### Dominio de Encaminamiento o Sistema Autónomo

#### **Encaminamiento en Internets**

• En un conjunto de redes (nets), los dispositivos de encaminamiento (routers) son responsables de recibir y reenviar los paquetes a través del conjunto de redes interconectadas. Cada router realiza la decisión de encaminamiento basándose en el conocimiento que se tiene sobre la topología y las condiciones del conjunto de redes. En un conjunto de redes sencillo, es posible utilizar un esquema de encaminamiento fijo. En conjuntos de redes más complejos, se necesita un grado de cooperación dinámica entre los routers. En particular, se deben evitar aquellas porciones de red que han sufrido un fallo y se deberían evitar aquellas porciones de red que sufren congestión.

#### Dominio de Encaminamiento o Sistema Autónomo:

Conjunto de Redes gestionadas por una Administración común y que comparten una estrategia de encaminamiento común.

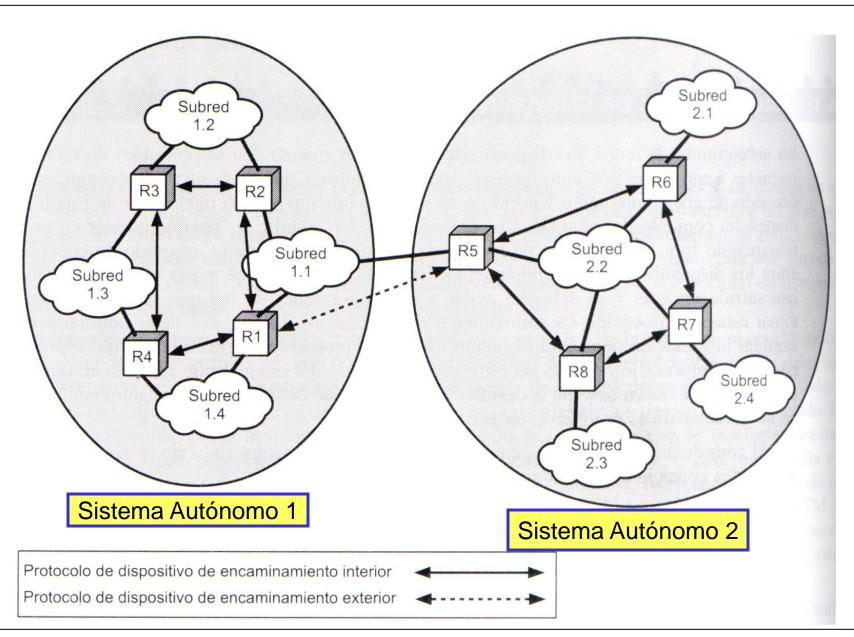
## **♣** Dos tipos de encaminamiento:

- Encaminamiento intra-dominio o intra SA
- Encaminamiento inter-dominio o inter SA

#### Dominio de Encaminamiento o Sistema Autónomo

- Un sistema autónomo (AS, Autonomous System) posee las siguientes características:
  - 1. Un **AS** consta de un grupo de sistemas de encaminamiento intercambiando información a través de un **protocolo de encaminamiento común**.
  - 2. Un **AS** es un conjunto de redes y dispositivos de encaminamiento **gestionados por una única organización**.
  - 3. Excepto en momentos de fallos, un **AS** está conectado, esto es existe un camino entre cualquier par de nodos.
- ♣ Un protocolo interior de encaminamiento (IRP, Interior Router Protocol) pasa la información de encaminamiento entre los routers dentro de un sistema autónomo. El protocolo que se usa dentro de un AS no necesita estar implementado fuera del AS. Esta flexibilidad permite que los IRP se hagan a medida para aplicaciones y requisitos específicos.
- ♣ Podría ocurrir que un conjunto de redes esté construido con más de un AS. Por ejemplo, todas las LAN de un emplazamiento, como puede ser un complejo de oficinas o un campus, se unen por routers para formar un AS. Este sistema se podría unir a otros AS a través de una red WAN. En este caso, los algoritmos y las tablas de encaminamiento usadas por los routers en un AS necesitan al menos de un nivel mínimo de información referente a las redes fuera del AS a las que se puede acceder. El protocolo que se utiliza para pasar información de encaminamiento entre AS diferentes se conoce como protocolo de dispositivo de encaminamiento exterior (ERP, Exterior Router Protocol).

### Dominio de Encaminamiento o Sistema Autónomo



En términos generales, los protocolos IRP y ERP tienen una característica de alguna forma diferente. Un protocolo IRP necesita construir un modelo más bien detallado de la interconexión de los dispositivos de encaminamiento dentro de un AS para poder calcular el camino con el menor costo desde un dispositivo de encaminamiento dado a cualquier red dentro del AS. Un protocolo ERP permite el intercambio de un resumen de información de alcanzabilidad entre AS administrados de forma separada. Normalmente, el uso de esta información de resumen significa que un protocolo ERP es más simple y utiliza menos información detallada que un protocolo IRP.

# **RESUMEN**

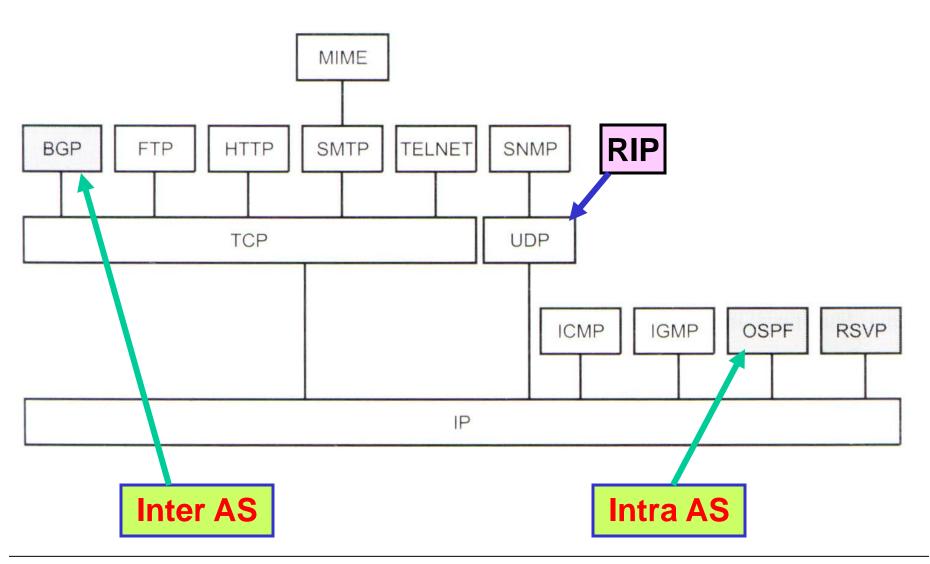
- 1 Introducción: Conceptos y Objetivos
- 2 Clasificación de Procedimientos de Encaminamiento
- 3 Algoritmo de Vector de Distancia
- 4 Algoritmo de Estado de Enlaces
- 5 Encaminamiento Jerárquico
- 6 Dominio de Encaminamiento o Sistema Autónomo
- Encaminamieno IP: IGP y EGP
  - B IGP (Internal Gateway Protocol)

### **Encaminamieno IP: IGP y EGP**

- Dos tipos: EGP e IGP
  - External Gateway Protocol (EGP): protocolo de encaminamiento entre sistemas autónomos.
  - Ejemplos: EGP, BGP, IDPR.
- Internal Gateway Protocol (IGP): protocolo de encaminamiento dentro de un Sistema Autónomo.
- Ejemplos:
  - Gateway to Gateway Protocol (GGP)
  - Routing Information Protocol (RIP)
  - HELLO (usado en NSFnet)
  - IGRP (propietario de CISCO Systems)
  - Open Short Path First Protocol (OSPF)

## **Encaminamieno IP: IGP y EGP**

# Mapa de Protocolos de Interconexión entre redes



# **RESUMEN**

- 1 Introducción: Conceptos y Objetivos
- 2 Clasificación de Procedimientos de Encaminamiento
- 3 Algoritmo de Vector de Distancia
- 4 Algoritmo de Estado de Enlaces
- 5 Encaminamiento Jerárquico
- 6 Dominio de Encaminamiento o Sistema Autónomo
- 7 Encaminamieno IP: IGP y EGP
- | IGP (Internal Gateway Protocol)

# **RESUMEN**



- 8.1 RIP (Routing Information Protocol)
- 8.2 IGRP (InterGateway Routing Protocol)
- 8.3 OSPF (Open Short Path First Protocol)

# **Routing Information Protocol (RFC 1058)**

- Características (I):
  - Vector de distancia
  - Métrica = número de saltos (de 1 a 15, 16 es infinito)
  - Cada 30 segundos los Routers difunden por broadcast su vector de distancias: conjunto de pares (dir. IP, distancia en número de saltos)
  - Los Routers vecinos escuchan los mensajes RIP y actualizan sus tablas.

RFC 1058 (Historic) – ftp://ftp.rfc-editor.org/in-notes/rfc1058.txt

# Características (II):

♣ Existe un proceso de borrado de rutas cada 180 segundos cuando no se recibe un update de la ruta hacia una dada red (Temporizador Hold-down).

# Dos tipos de paquetes:

- **Request**: enviados por los routers que acaban de conectarse o su información ha caducado.
- **Response**: enviados periódicamente, en respuesta a un **Request** o cuando cambia alguna métrica o costo.
- Los Paquetes en RIP se envían a través de una dirección de broadcast (Dirección IP = 255.255.255.255).

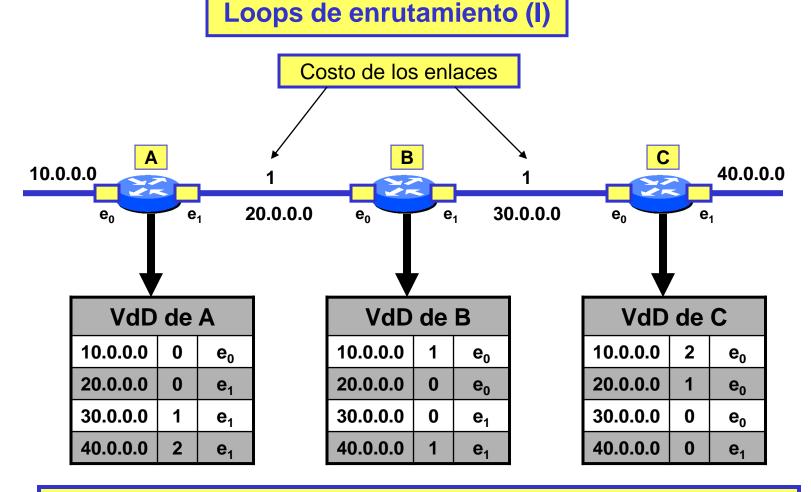
# **Formato Mensaje RIP**

COMANDOS	VERSIÓN	A CERO		
IDENTIFICADOR FAMILIA DE RED 1		A CERO		
DIRECCIÓN IP RED 1				
A CERO				
A CERO				
MÉTRICA HACIA RED 1				
IDENTIFICADOR FAMILIA DE RED 2		A CERO		
DIRECCIÓN IP RED 2				
A CERO				
A CERO				
MÉTRICA HACIA RED 2				

Obsérvese que RIP I no incluía nada acerca de Subnetting.

Hasta 25 veces

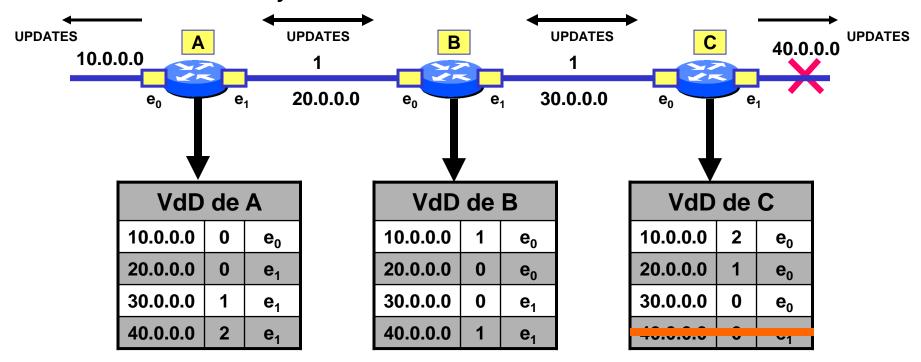
• • •



Sin ningún cambio en la topología de red las tablas de enrutamiento permanecen sin alteraciones. Dichas tablas son intercambiadas entre los routers vecinos cada 30 segundos.

# Loops de enrutamiento (II)

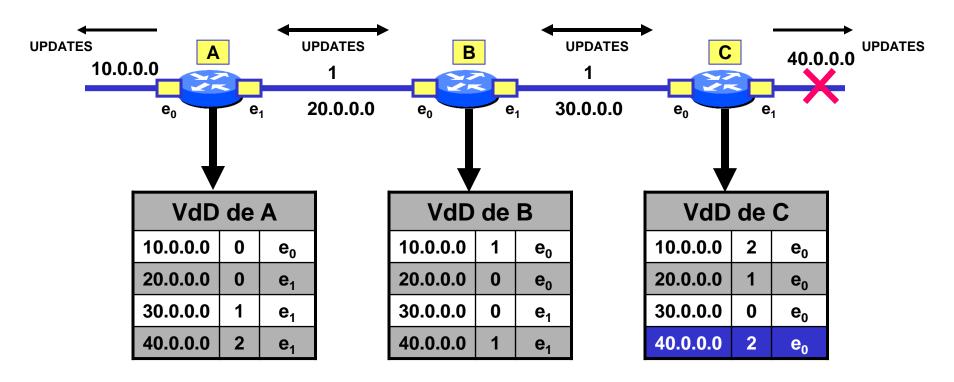
- **♣** Supongamos que la red **40.0.0.0** deja de funcionar.
- **♣ C** detecta esta situación y borra inmediatamente la ruta hacia la red 40.0.0.0 de su VdD



Cuando un router recibe el vector distancia de un router vecino, lo compara con el propio y sólo lo actualiza cuando haya una mejor métrica.

# Loops de enrutamiento (III)

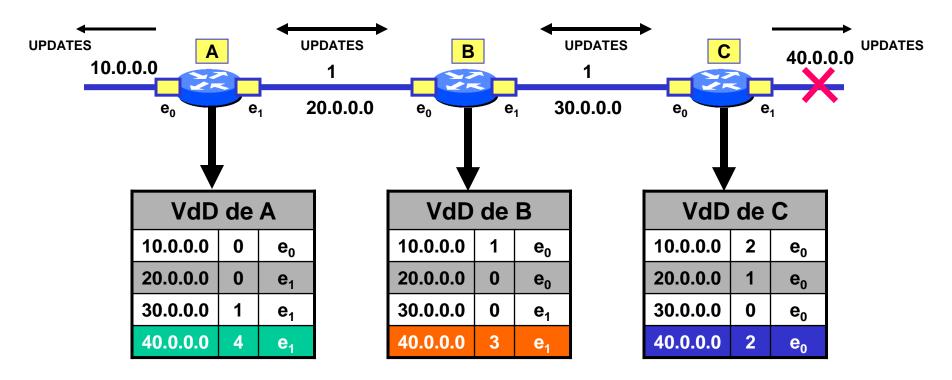
♣ A y B no se enteran del fallo de la red 40.0.0.0, A piensa que puede seguir llegando a la red 40.0.0.0 a través del router B.



♣ Por otro lado cuando C recibe el vector distancia de B actualiza su tabla creyendo que hay una nueva ruta para llegar a la red 40.0.0.0, y lo hace añadiéndole 1 al costo de la métrica informada por B.

# Loops de enrutamiento (IV)

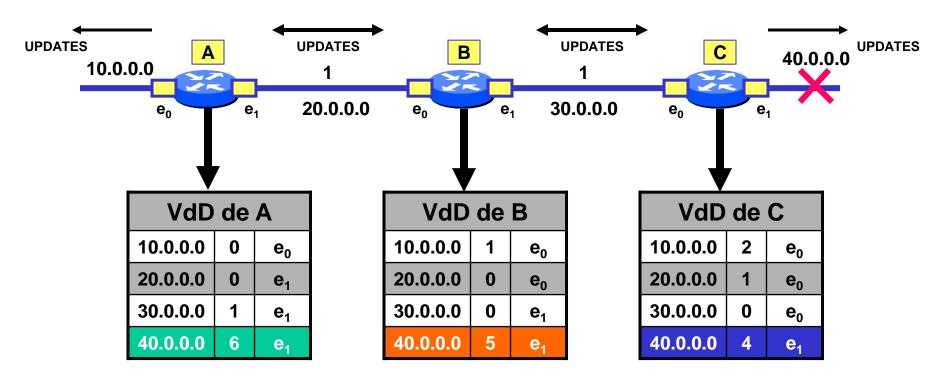
**♣ B** vuelve a recibir un update de **C** con una nueva métrica acerca de la red **40.0.0.0**, por lo que actualiza su vector distancia.



♣ Idéntica situación se da para el router A cuando B le informa la nueva métrica a la ruta 40.0.0.0

# Loops de enrutamiento (V)

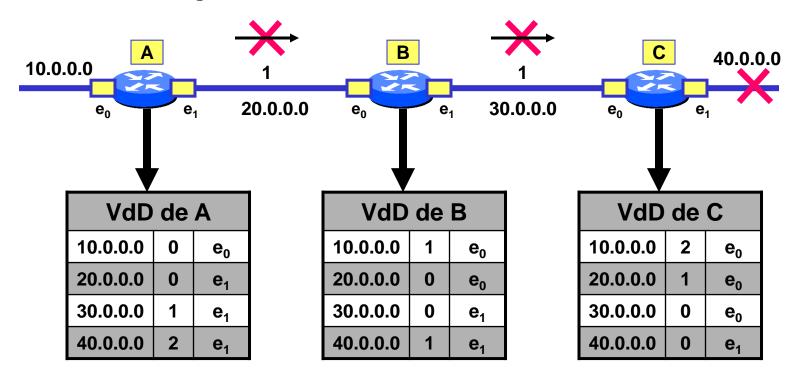
**♣** Por lo tanto A, B y C se la pasan intercambiando rutas inexistentes hacia una red inalcanzable, como lo es la red 40.0.0.0



**♣** Este proceso de loop de enrutamiento se denomina cuenta hacia el infinito. En RIP cuando esta cuenta llega a 16, se concluye que la red está caída.

# Solución a los problemas de loops de enrutamiento: SPLIT HORIZON

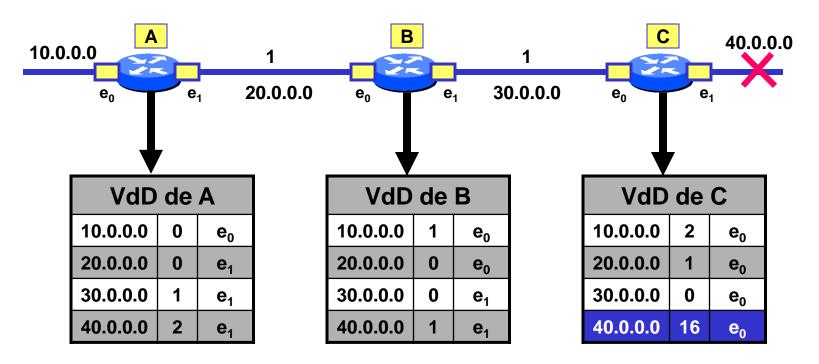
**♣** La idea consiste en no transmitir el vector distancia por la interfaz de la cual se aprendió de cómo llegar a una dada red.



♣ Por ejemplo B aprendió de C cómo llegar hacia la red 40.0.0.0, por lo tanto B no puede enseñarle a C acerca de cómo alcanzar la red 40.0.0.0. En los routers CISCO el SPLIT HORIZON está habilitado por default.

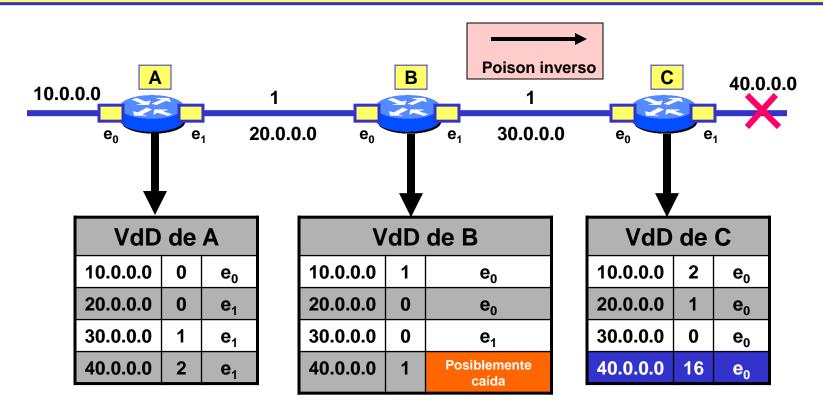
# Prevención de loops de enrutamiento con envenenamiento de ruta (I)

**♣** Es una variante del SPLIT HORIZON que consiste en asignar una métrica de valor infinito a la ruta que conduce a la red caída. En el caso de RIP se le asignará valor 16.



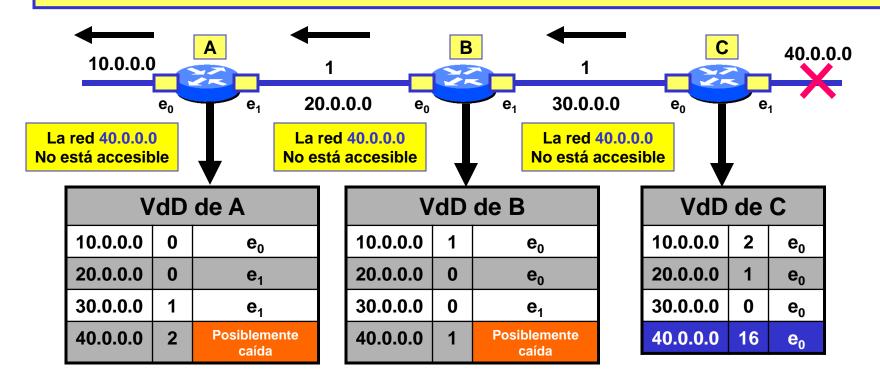
**♣** El Router C al envenenar la ruta hacia la red 40.0.0.0 deja de ser vulnerable a actualizaciones incorrectas donde está involucrada dicha red, provenientes de routers vecinos que pretenden informar de rutas alternativas válidas.

## Prevención de loops de enrutamiento con envenenamiento de ruta (II)



**♣** Cuando el router B recibe el vector distancia de C y ve que la métrica hacia la red **40.0.0.0** es infinita, envía una actualización denominada "Poison inverso" hacia el router C notificándole que se dio cuenta que dicha red está inaccesible.

## Mantenimiento de rutas mediante actualizaciones desencadenadas



En este caso a diferencia de los ejemplos anteriores la actualización desencadenada se genera en el preciso momento en que se produce un cambio en la topología, no hace falta esperar el update de 30 segundos como en RIP, o de 90 segundos como en IGRP. La ruta envenenada se propaga hacia todos los routers que involucran a la red caída, colocando en la tabla de ruteo de cada dispositivo que la ruta hacia la red caída está "posiblemente down".

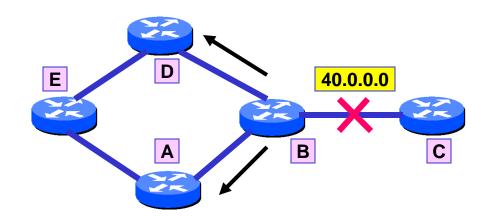
### Mantenimiento de rutas mediante actualizaciones desencadenadas

#### Inconvenientes:

- Las actualizaciones desencadenadas serían suficientes si se pudiera garantizar que toda la cadena de actualizaciones llegue de forma inmediata a todos los routers involucrados. Sin embargo, pueden surgir dos serios inconvenientes:
- Los paquetes que contienen el mensaje de actualización podrían ser descartados o dañados por algún enlace de la red.
- 2. Las actualizaciones desencadenadas no suceden de forma instantánea. Es posible que un router no haya recibido aún la actualización desencadenada y genere una actualización regular en el momento incorrecto, causando que la ruta defectuosa sea reinsertada en un vecino que hubiese recibido ya la actualización desencadenada.

Combinando las actualizaciones desencadenadas con los temporizadores se obtiene un esquema que permite evitar estos inconvenientes.

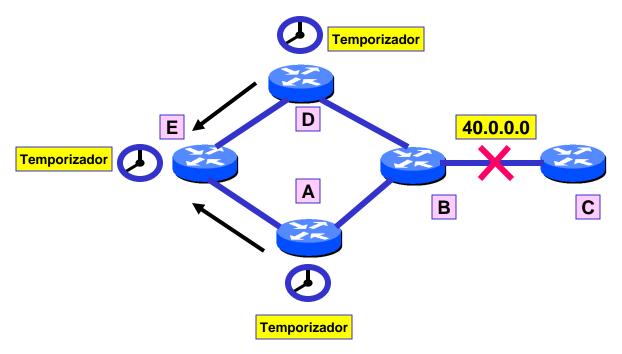
Mantenimiento de rutas mediante temporizadores con actualizaciones desencadenadas (I)



Debido a que la regla del temporizador establece que cuando una ruta que arriba a un router no será aceptada si posee una métrica igual o peor para el mismo destino en un período de tiempo determinado, la actualización desencadenada tiene tiempo suficiente para propagarse a toda la red.

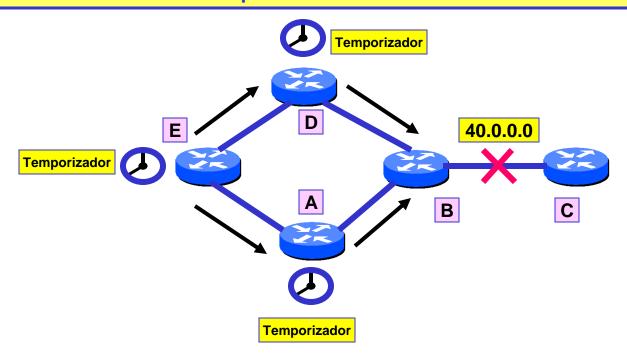
Apenas B detecta un fallo en la red 40.0.0.0 elimina la ruta de su tabla de ruteo y envía una actualización desencadenada a A y D, envenenando la ruta a la red 40.0.0.0, mediante la indicación de una métrica infinita a dicha red.

Mantenimiento de rutas mediante temporizadores con actualizaciones desencadenadas (II)



Los routers A y D al recibir dicha actualización desencadenada establecen sus temporizadores y registran a la red 40.0.0.0 como "posiblemente caída". Asimismo D y A envían hacia el router E una nueva actualización desencadenada indicándole a dicho router la posible inoperabilidad de la red 40.0.0.0. El router E establece también su propio temporizador para dicha red 40.0.0.0

Mantenimiento de rutas mediante temporizadores con actualizaciones desencadenadas (III)

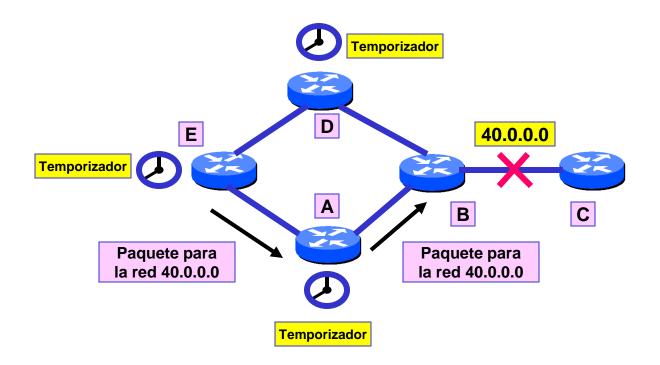


El router A y D envían un "Poison inverso" al router B, estableciendo de esta manera que la red 40.0.0.0 está inaccesible. Como el router E había recibido también una actualización desencadenada entonces responde con un "Poison inverso" hacia A y D respectivamente.

Los routers A, D y E mantendrán sus temporizadores hasta que tenga lugar alguno de los siguientes eventos:

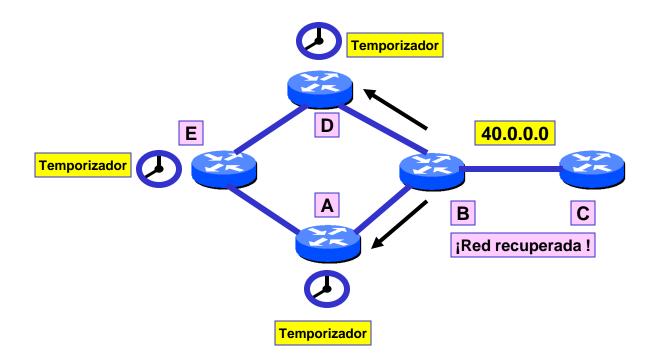
- 1. El temporizador expire
- 2. Se reciba otra actualización indicando una nueva ruta con una mejor métrica
- 3. Un temporizador de descarga (flushed), que es el tiempo que se mantiene una ruta antes de ser eliminada de la tabla de ruteo, quite la ruta de la tabla de enrutamiento.

Mantenimiento de rutas mediante temporizadores con actualizaciones desencadenadas (IV)



Durante el período de temporización, los routers A, D y E suponen que el estado de la red no ha cambiado desde su estado original e intentan dirigir paquetes a la red 40.0.0.0. En este ejemplo vemos como el router E dirige un paquete hacia la red 40.0.0.0; este paquete alcanzará al router B, sin embargo como el router B no tiene ninguna ruta hacia la red 40.0.0.0 descartará dicho paquete y generará un mensaje ICMP correspondiente a "red inalcanzable".

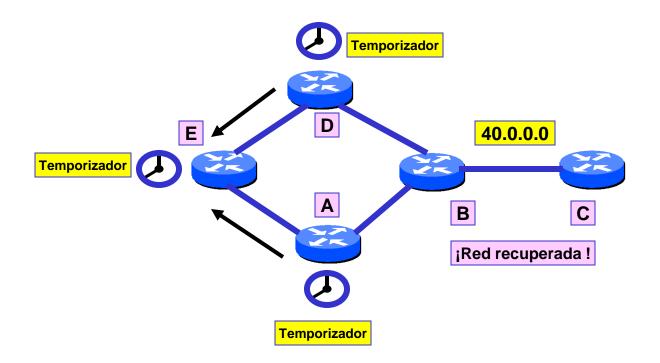
Mantenimiento de rutas mediante temporizadores con actualizaciones desencadenadas (V)



Una vez que la red **40.0.0.0** se restablece, el router **B** envía una actualización desencadenada a los routers **A** y **D**, notificando que dicho enlace está activo. Tras expirar el temporizador, los routers **A** y **D** agregan de nuevo la ruta a la red **40.0.0.0** en la tabla de encaminamiento como red accesible.

Es más hasta que el temporizador venza, si bien la red aparecerá como "posiblemente caída", si se hiciera un ping se observaría que se llega a dicha red (en Cisco U.U.U).

Mantenimiento de rutas mediante temporizadores con actualizaciones desencadenadas (VI)



Finalmente los routers A y D envían al router E una actualización donde se establece que la red 40.0.0.0 está de nuevo operativa, y el router E actualiza su tabla de encaminamiento una vez que expira su temporizador, restableciendo la ruta hacia dicha red.

Si la red se recupera entre el *hold-down* y el *flushed* el restablecimiento en la tabla de ruteo es inmediato.



## Ventajas:

- Muy sencillo
- Muy utilizado
- Soporta hasta 6 rutas de igual métrica

## Desventajas:

- Diferencias entre implementaciones
- Convergencia lenta (inconsistencias transitorias)
- Puede crear bucles de enrutamiento
- Carga las redes (debido al envío periódico cada 30 segundos de información mediante la direción de broadcast 255.255.255.255)
- La métrica no tiene en cuenta la velocidad de los enlaces, las cargas, etc.
- No soporta Subnetting (Sí ya en RIP 2). En IPv6 se llama RIPng.

# **RESUMEN**

- 8.1 RIP (Routing Information Protocol)
- 8.2 IGRP (InterGateway Routing Protocol)
  - 8.3 OSPF (Open Short Path First Protocol)

# Cálculo de la métrica para IGRP (I)

$$M \'{e}trica = \left[ K_1 \ x \ Ancho \ de \ banda + \frac{K_2 \ x \ Ancho \ de \ banda}{256 - carga} + K_3 \ x \ retardo \right] x \frac{K_5}{fiabilidad + K_4}$$

- ♣ Ancho de banda (BW): Se expresa en kbps y constituye el menor de los anchos de banda involucrados en una ruta a lo largo de diferentes enlaces entre el origen y el destino. Se calcula como 10<sup>7</sup> / [BW (kbps)]. El ancho de banda real del enlace puede cambiarse mediante el comando bandwidth. En una línea serial el valor por default es de 1544 kbps, que corresponde a la velocidad de una trama T1. Se usa por default y vale 1. El factor que lo pondera es K₁.
- **Retardo (DLY):** Es la **sumatoria** de todos los retardos involucrados a lo largo de todos los enlaces de una ruta para ir desde el origen al destino. Se expresa en unidades de **10** μ**s**. Se usa por **default** y vale **1**. El factor que lo pondera es **K**<sub>3</sub>.
- **Load**: Representa la peor carga del enlace medida extremo a extremo. Se cuantifica de 1 a 255, donde 255 equivale a una carga del 100%. El factor que lo pondera es K₂. Por default es igual a 0.
- **♣ Fiabilidad (Rely):** Determina la fiabilidad del enlace extremo a extremo en base a los mensajes de actividad. Se cuantifica de 1 a 255, donde 255 equivale a una fiabilidad del 100%. El factor que lo pondera es K₄. Por default es igual a 0.
- ♣ MTU: Es el máximo tamaño de paquete que se puede enviar por un enlace sin fragmentar. Se cuantifica tomando el MTU más pequeño de entre todos los enlaces. El factor que lo pondera es K<sub>5</sub>. Por default es igual a 0.

# Cálculo de la métrica para IGRP (II)

Nota importante: sólo en el caso en que  $K_5$  no sea igual a  $\mathbf{0}$ , deberá multiplicarse el corchete de la expresión de la métrica por el valor indicado. Por lo tanto la expresión del cálculo de la métrica que el router emplea por default tiene en cuenta sólo el **Ancho de banda** y el **retardo**.

Métrica = 
$$[K_1 \times Ancho de banda + K_3 \times retardo]$$

- ♣ El comando para cambiar la forma predeterminada que tiene IGRP para calcular la métrica es "metric weights 0 k1 k2 k3 k4 k5". En general cambiar estos parámetros no es una buena idea (puede acabar fácilmente con bucles y otros comportamientos inusuales). Para dejar los valores predeterminados usar la instrucción "metric weights 0 1 0 1 0 0".
- ♣ Para ver los valores del ancho de banda y del retardo se utiliza el comando show interfaces. A continuación citamos un ejemplo de salida de este comando:

#### 2501# show interfaces serial 0

# Cálculo de la métrica para IGRP (III)

Serial0 is up, line protocol is up

Hardware is HD64570

Internet address is 192.168.1.2/24

MTU 1500 bytes, BW 1544 Kbit, DLY 20000 usec, rely 255/255, load 1/255

... (se ha omitido parte de la salida)

DCD=up DSR=up DTR=up RTS=up CTS=up

2501#

Estas señales en UP
Expresan que la interfaz se halla
levantada

#### 2501# show interfaces ethernet 0

Ethernet0 is up, line protocol is up

Hardware is Lance, address is 0000.0c4a.75c6 (bia 0000.0c4a.75c6)

Internet address is 20.0.0.1/8

MTU 1500 bytes, BW 10000 Kbit, DLY 1000 usec, rely255/255, load 1/255

#### 2522# show interfaces serial 2

Serial2 is up, line protocol is up

Hardware is CD2430 in sync mode

Internet address is 192.168.3.1/24

MTU 1500 bytes, BW 115 Kbit, DLY 20000 usec, rely 255/255, load 1/255

# Cálculo de la métrica para IGRP (IV)

2501# show ip route

Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP

D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area

N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2

E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP

i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, \* - candidate default

U - per-user static route, o - ODR

Gateway of last resort is not set

- C 20.0.0.0/8 is directly connected, Ethernet0
- I 10.0.0.0/8 [100/8576] via 192.168.1.1, 00:00:03, Serial0 [100/8576] via 192.168.2.1, 00:00:03, Serial1
- C 192.168.1.0/24 is directly connected, Serial0
- C 192.168.2.0/24 is directly connected, Serial1
- I 192.168.3.0/24 [100/90956] via 192.168.1.1, 00:00:03, Serial0

[100/90956] via 192.168.2.1, 00:00:03, Serial1

I 30.0.0.0/8 [100/91056] via 192.168.1.1, 00:00:03, Serial0

[100/91056] via 192.168.2.1, 00:00:03, Serial1

10.0.0.0 .1 2522 S0 S1 192.168.1.0 /24 192.168.3.0 /24 192.168.2.0 /24 1601 2501 **e**<sub>0</sub> .1  $e_0$ 20.0.0.0 30.0.0.0

2501#

# **RESUMEN**

- 8.1 RIP (Routing Information Protocol)
- 8.2 IGRP (InterGateway Routing Protocol)

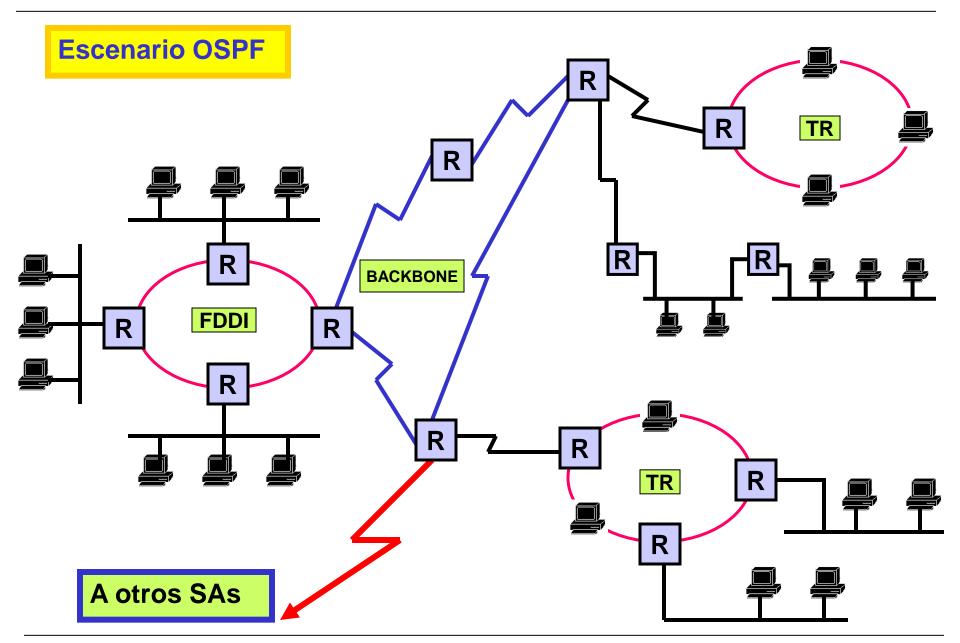


# Open Shortest Path First (RFC 1247, versión 2)

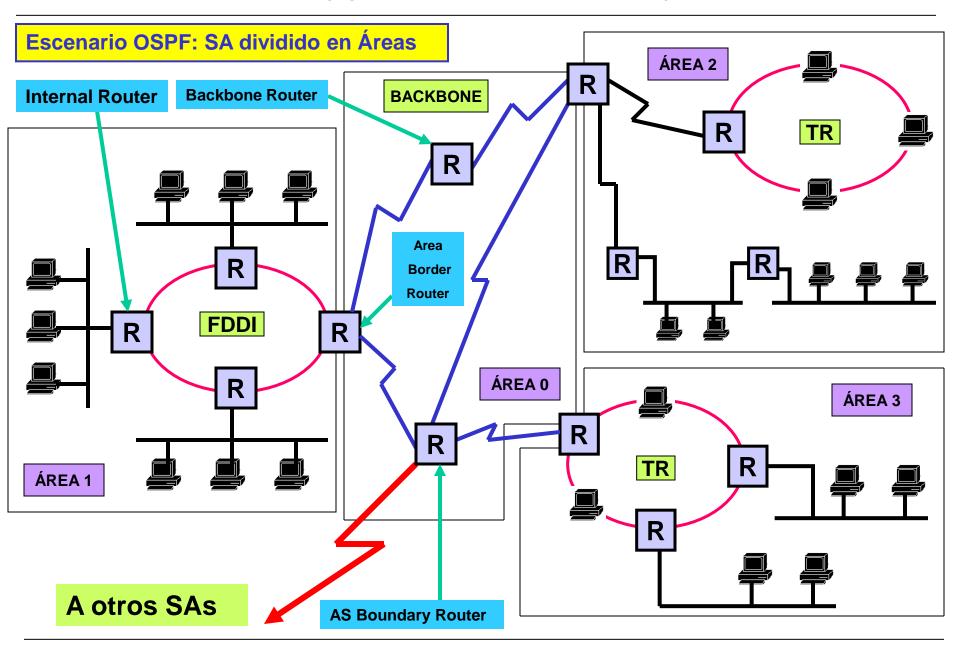
- Características generales:
  - Desarrollado por IETF (Internet Engineering Task Force)para redes IP
  - Interior Gateway Protocol
  - Estado de Enlaces
  - IP Subnetting (direcciones + máscaras)
  - Encaminamiento multimétrica

- Características Generales (cont.)
  - Encaminamiento jerárquico (AS divididos en áreas)
  - Inyección de rutas externas
  - Descubrimiento dinámico de SIs
  - Adaptación a redes locales
  - Soporte para autentificación: Los protocolos anteriores como el RIP e incluso la primera versión de OSPF no soportaban "password", por lo tanto cualquier host pirata podía "escuchar" los paquetes de tráfico correspondientes al enacaminamiento.

## **OSPF (Open Short Path First Protocol)**



## **OSPF (Open Short Path First Protocol)**



## **OSPF (Open Short Path First Protocol)**

- Backbone: Parte de la red que interconecta todas las áreas del AS.
- ♣ Sólo los **Board Routers** y los **Backbone Routers** conocen todas las direcciones en sus tablas de encaminamiento.
- ♣ El área 3 se denomina Stub Área, ya que el único router que la conecta al Backbone, posee un solo enlace con los Routers que conforman el área 0 (es decir el Backbone).

Terminología OSPF

♣ Autonomous System, Backbone, Area, Stub Area, Link State Advertisement (LSA).

- Tipos de Routers:
  - ✓ Internal
  - ✓ Area Border
  - ✓ Backbone
  - **✓** AS Boundary

- Tipos de Redes:
  - ✓ Point to Point (p.e. E1)
  - ✓ Broadcast (p.e Ethernet, Novell)
  - ✓ Non-broadcast (p.e. X-25)

## Mantenimiento de rutas mediante temporizadores

- Cuando un router recibe una actualización procedente de un vecino indicando que una red que antes estaba accesible ahora no lo está, el router marca la ruta como no accesible y pone un marcha un temporizador.
- 2. Si llega una actualización de un router vecino con una métrica mejor que la que estaba previamente guardada para una red específica, el router marca la red como accesible y quita el temporizador.
- 3. En caso que en cualquier instante antes de que expire el tiempo del temporizador, se reciba una actualización de un router vecino con una métrica peor o igual, la actualización será ignorada.
- 4. Durante el período de vigencia del temporizador, las rutas aparecen en la tabla de enrutamiento como "posiblemente caídas".