



AMPLIACIÓN DE SISTEMAS OPERATIVOS Y REDES

Grados Ingeniería en Informática

Universidad Complutense de Madrid

TEMA 2. Encaminamiento en Internet.

PROFESORES:

Rafael Moreno Vozmediano

Rubén Santiago Montero

Juan Carlos Fabero Jiménez

Introducción: El problema del encaminamiento

- En una red de conmutación de paquetes, el **encaminamiento** consiste en encontrar un camino, desde el origen al destino, a través de nodos de conmutación o encaminadores (routers) intermedios.
- **Caminos alternativos**
 - Es necesario decidir cuál es el mejor camino posible (*camino más corto*)
 - El *camino más corto* minimiza una métrica de encaminamiento
- **Métricas de encaminamiento**
 - **Número de saltos:** tiene en cuenta el número de routers y/o redes intermedias que tiene que atravesar el paquete para alcanzar el destino.
 - **Distancia geográfica:** tiene en cuenta la distancia (en Km) que tiene que recorrer el paquete para alcanzar el destino
 - **Retardo promedio:** tiene en cuenta el retardo de las líneas. Dado que éste es proporcional a la distancia, esta métrica es similar a la anterior
 - **Ancho de banda:** tiene en cuenta la velocidad de transmisión de las líneas por las que tiene que circular el paquete.
 - **Nivel de tráfico:** tiene en cuenta el nivel de uso de las líneas, para intentar utilizar aquellas líneas con menor nivel de saturación.
 - Combinación lineal de varias métricas

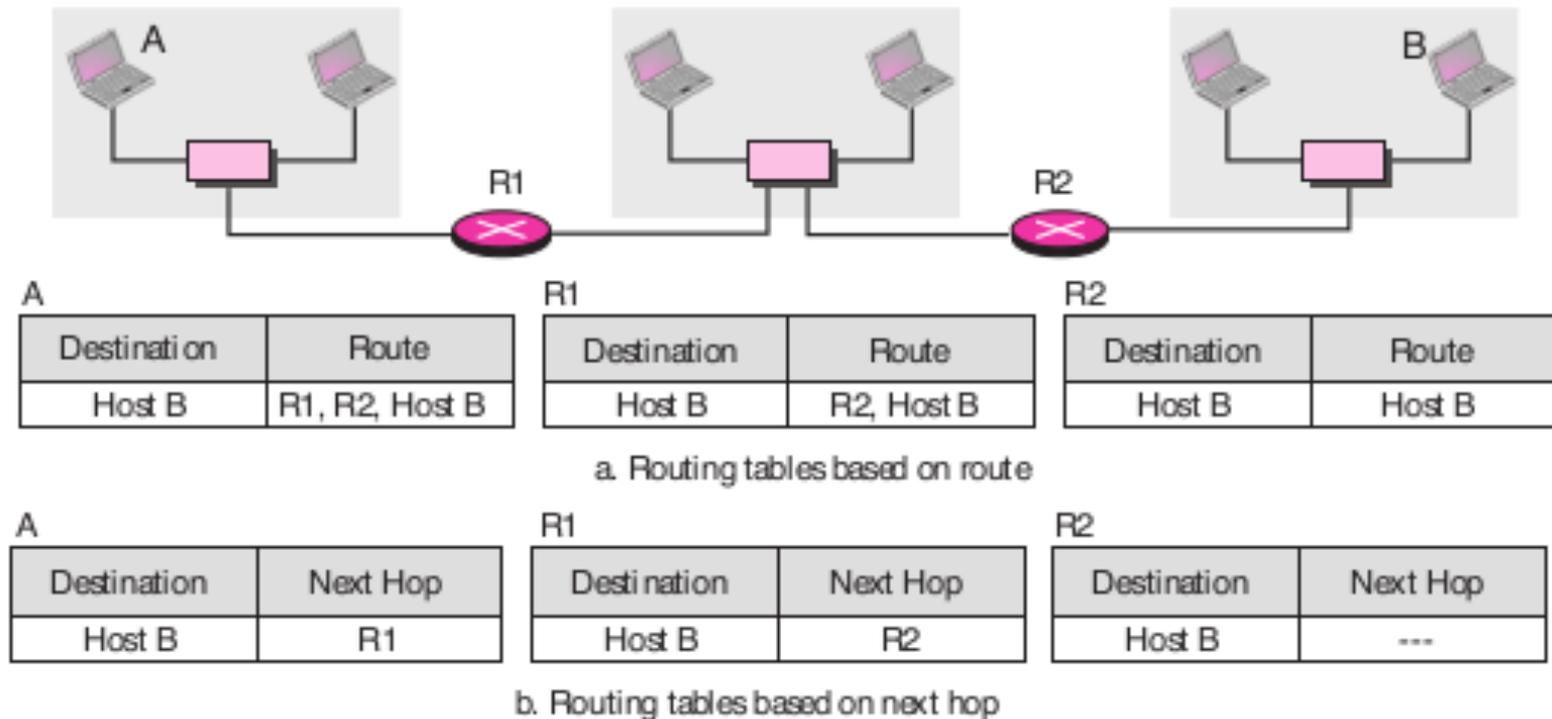
Retransmisión de Paquetes

- Cuando un encaminador recibe un paquete lo retransmite (*forward*) por el enlace adecuado para alcanzar el destino.
- La elección del enlace se realiza según:
 - **Tablas de encaminamiento.** Usando el campo dirección destino del paquete IP (no orientado a conexión)
 - Basados en el siguiente salto
 - Entradas en la tabla (camino) por host, red o por defecto
 - Las entradas de red pueden ser con o sin clase
 - **Etiquetas.** Cada datagrama IP se etiqueta y se conmuta según esa etiqueta (orientado a conexión).
 - Campo Identificador de Flujo en la cabecera IPv6
 - Reduce la complejidad de la tabla de encaminamiento
 - Se usa siempre el mismo circuito (entrega en orden y tiempo predecible)
 - MPLS (Multiprotocol Label Switching)

Tablas de Encaminamiento

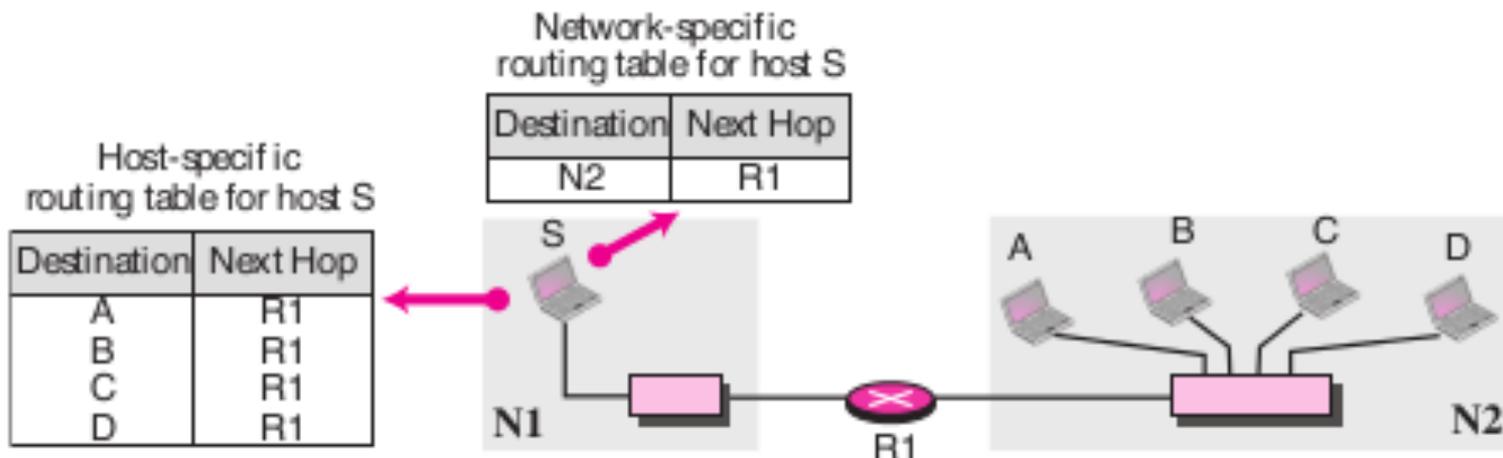
Next-Hop Routing

- Se basa en el ppio de optimización: Si el camino más corto entre dos encaminadores A y D es a través de B, entonces el camino más corto de B a D es a través de la misma ruta.
- Para encaminar un paquete a lo largo del camino más corto, sólo es necesario conocer la identidad del siguiente encaminador inmediato a lo largo del camino.



Tablas de Encaminamiento

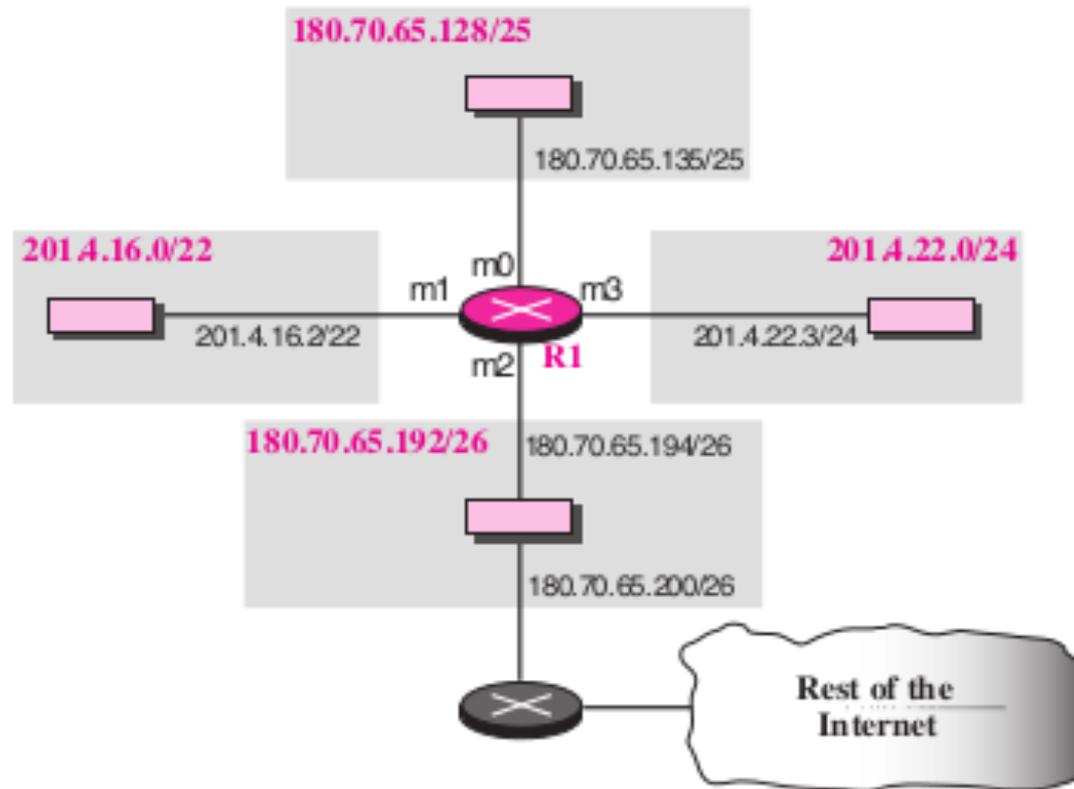
- En general una tabla de encaminamiento tiene información sobre:
 - Destino
 - Máscara o prefijo de red (CIDR)
 - Siguiete Salto
 - Coste asociado al camino
- Las entradas destino corresponden
 - Host específico (no es viable para el encaminamiento en internet)
 - Red. Cuando se usa redes sin clase hay que añadir los prefijos de red
 - Default. Camino para los paquetes que no encajen en ninguna entrada



Tablas de Encaminamiento

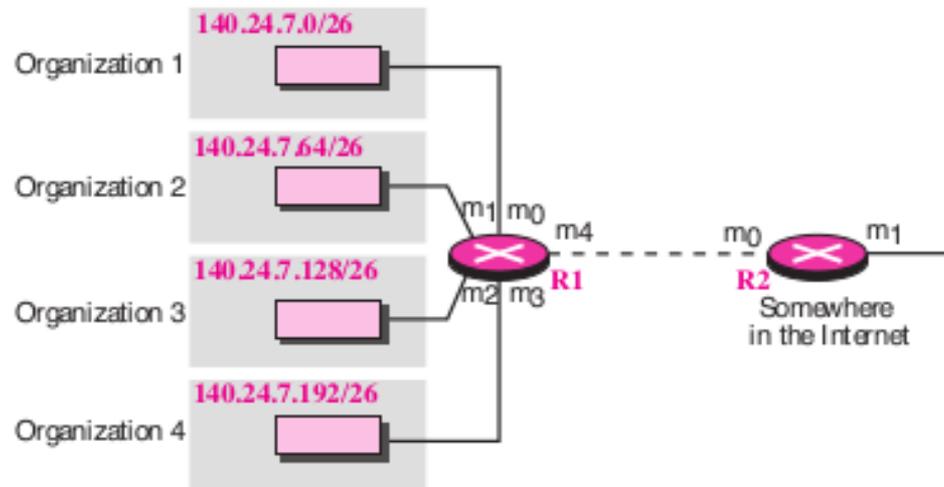
Ejemplo: Dada la siguiente topología de red:

- Determine la tabla de encaminamiento para el router R1
- Describir el procesamiento de dos paquetes con dirección destino 201.4.22.35 y 18.24.32.78, respectivamente



Tablas de Encaminamiento

- El encaminamiento escalable en Internet depende de controlar el tamaño de las tablas de rutas de los encaminadores.
- El encaminamiento con clase no es viable debido al gran número de redes (y por tanto entradas en las tablas) en Internet.
- El encaminamiento en Internet se basa
 - CIDR - permite agregar direcciones y resumir las entradas
 - Encaminamiento jerárquico que limita la información intercambiada en Internet.



Mask	Network address	Next-hop address	Interface
/26	140.24.7.0	-----	m0
/26	140.24.7.64	-----	m1
/26	140.24.7.128	-----	m2
/26	140.24.7.192	-----	m3
/0	0.0.0.0	default router	m4

Routing table for R1

Mask	Network address	Next-hop address	Interface
/24	140.24.7.0	-----	m0
/0	0.0.0.0	default router	m1

Routing table for R2

Técnicas encaminamiento

Encaminamiento local

- Estas técnicas no tienen en cuenta la topología global de la red y usan únicamente información local.
- Las técnicas más comunes son:
 - Encaminamiento aleatorio
 - Encaminamiento aislado
 - Inundación

Encaminamiento estático

- Las decisiones de encaminamiento consideran la topología de la red.
- Las tablas de encaminamiento se construyen manualmente y no se adaptan a los cambios de la red.

Encaminamiento dinámico

- Las tablas de encaminamiento se construyen de forma automática, mediante el intercambio periódico de información entre los encaminadores.
- Permite adaptar automáticamente el encaminamiento a los cambios en la topología de la red
- Las técnicas más comunes son:
 - Encaminamiento por vectores de distancia (ej. RIP)
 - Encaminamiento por estado de los enlaces (ej. OSPF)

Encaminamiento Local

Encaminamiento aleatorio

- Un encaminador selecciona aleatoriamente un camino de salida para retransmitir cada paquete entrante.
- Ventajas
 - Sencillo de implementar
 - Los encaminadores no necesitan usar información global sobre la red
- Desventajas
 - La ruta utilizada no será en general la del camino más corto
 - Pueden utilizarse rutas incorrectas que no permiten alcanzar el destino

Encaminamiento aislado

- La decisión de encaminamiento usa únicamente información local
- Ejemplos:
 - Enviar el paquete por la línea de salida de mayor ancho de banda.
 - Enviar el paquete por la línea de salida menos congestionada.
 - Enviar el paquete cada vez por una salida distinta en round-robin.
- Ventajas y desventajas
 - Igual que en el caso anterior

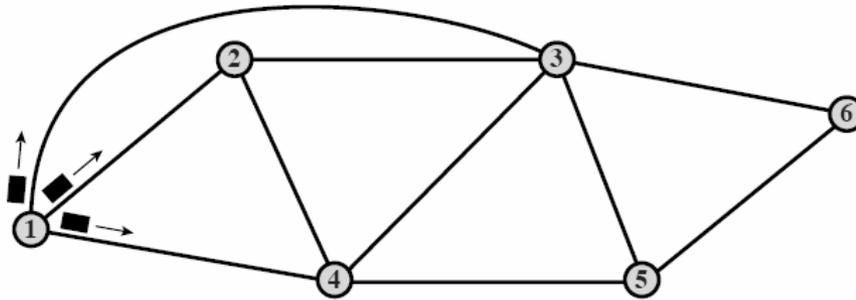
Encaminamiento Local

Encaminamiento por inundación

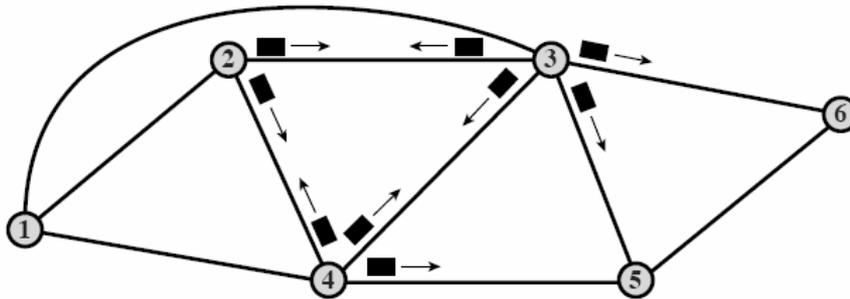
- Un encaminador origen envía cada paquete a todos sus vecinos, excepto al que envió originalmente el mensaje.
- El destinatario recibirá un número indeterminado de copias duplicadas (uso de identificador para descartar los duplicados)
- Optimizaciones
 - Almacenar el identificador de los paquetes retransmitidos para no repetir la retransmisión
 - Puede usarse el campo de cuenta de saltos en cada paquete
- Ventajas
 - Técnica muy robusta (se prueban todos los caminos posibles)
 - Garantiza que al menos una copia habrá usado el camino más corto
 - Se visitan todos los nodos (útil para propagar información)
- Desventajas
 - Gran número de paquetes duplicados que pueden llegar a saturar la red

Encaminamiento Local

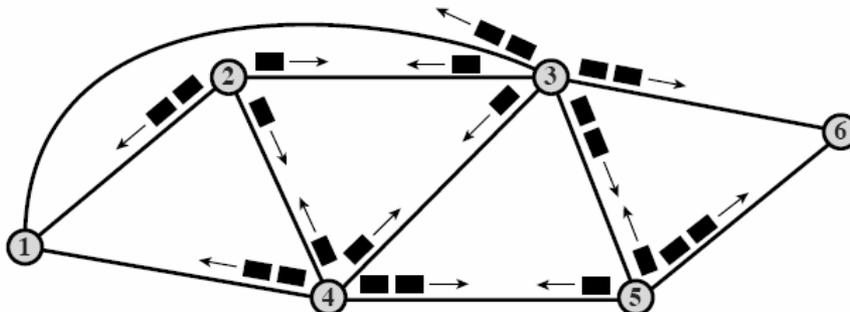
Ejemplo: encaminamiento por inundación



(a) First hop



(b) Second hop



(c) Third hop

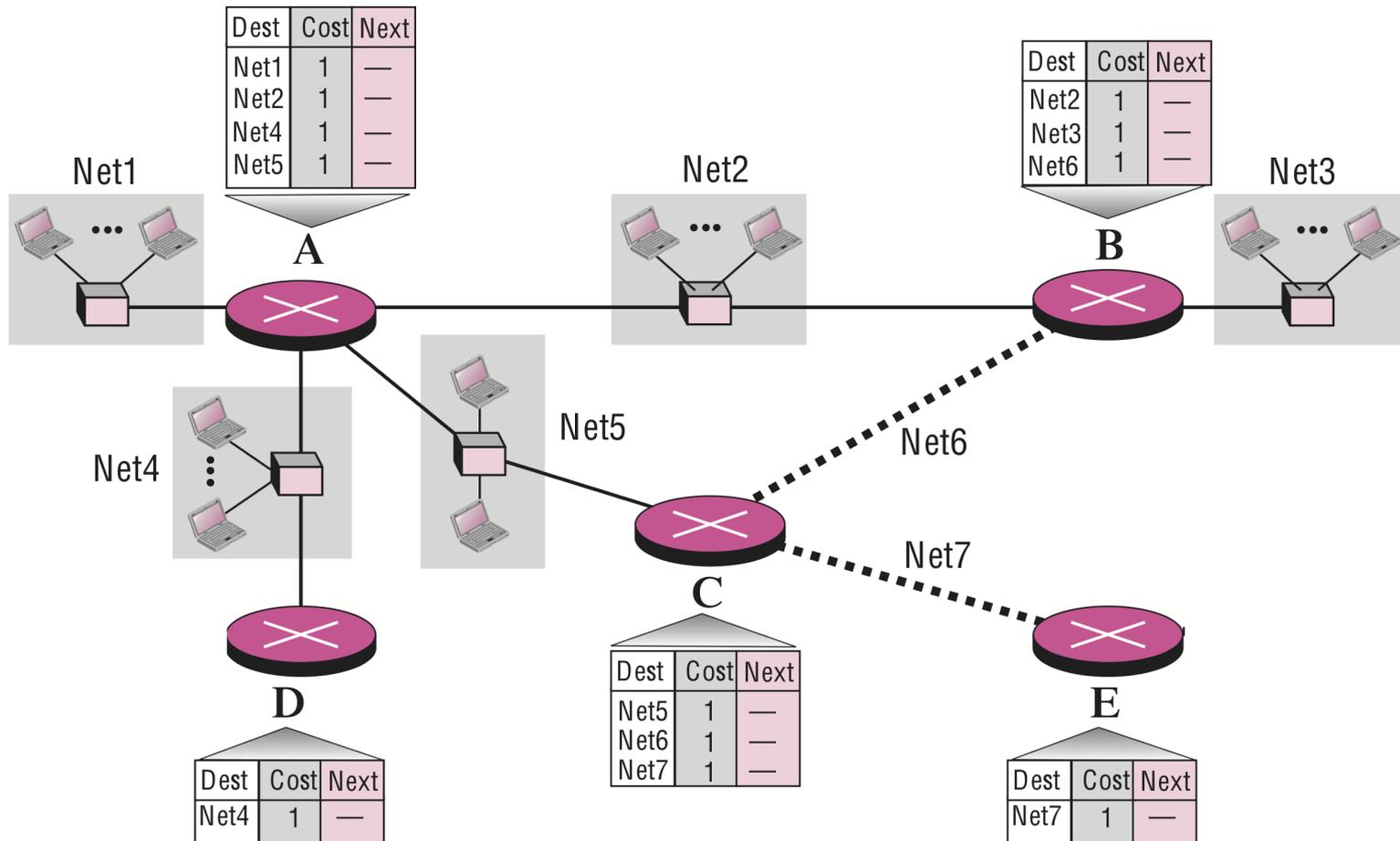
Vectores de Distancia

Fundamentos

- Cada encaminador mantiene una tabla de encaminamiento con una entrada por cada posible destino en la red
- Cada entrada de la tabla contiene:
 - El destino (normalmente una red o un host)
 - El siguiente nodo o encaminador para alcanzar dicho destino
 - La distancia o métrica al destino
- Para construir la tabla de encaminamiento los nodos intercambian periódicamente información con sus vecinos (vectores de distancia)
 - La distancia total a cada destino es la anunciada por el router más la distancia al router
 - Si la distancia total es menor a la entrada actual se sustituye.
- El método de encaminamiento por vectores de distancia también recibe el nombre de algoritmo de Bellman-Ford. El proceso iterativo de intercambio de tablas converge idealmente a los caminos óptimos.
- El coste usado es normalmente el número de saltos a la red.
- Ejemplo:RIP (Routing Information Protocol)

Vectores de Distancia

Ejemplo: Inicialmente los encaminadores sólo conocen sus rutas directas.

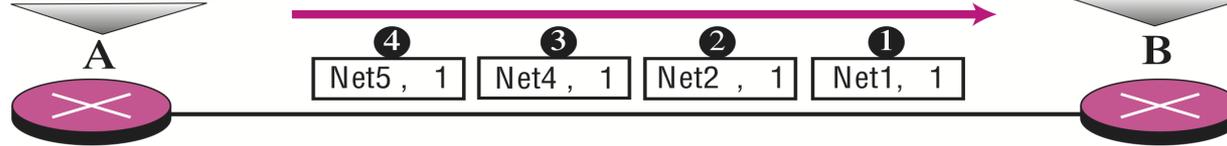


Vectores de Distancia

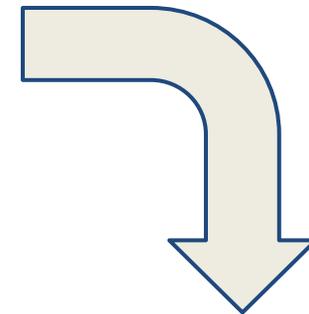
Ejemplo: Proceso de intercambio

Dest	Cost	Next
Net1	1	—
Net2	1	—
Net4	1	—
Net5	1	—

Dest	Cost	Next
Net2	1	—
Net3	1	—
Net6	1	—



Después del intercambio de todas las tablas



Routing Table B											
Dest	Cost	Next									
Net1	2	A									
Net2	1	—									
Net3	1	—									
Net6	1	—	Net6	1	—	Net4	2	A	Net4	2	A
After receiving record 1			After receiving record 2			After receiving record 3			After receiving record 4		

A

Dest	Cost	Next
Net1	1	—
Net2	1	—
Net3	2	B
Net4	1	—
Net5	1	—
Net6	2	C
Net7	2	C

B

Dest	Cost	Next
Net1	2	A
Net2	1	—
Net3	1	—
Net4	2	A
Net5	2	A
Net6	1	—
Net7	2	C

C

Dest	Cost	Next
Net1	2	A
Net2	2	A
Net3	2	B
Net4	2	A
Net5	1	—
Net6	1	—
Net7	1	—

D

Dest	Cost	Next
Net1	2	A
Net2	2	A
Net3	3	A
Net4	1	—
Net5	1	A
Net6	3	A
Net7	3	A

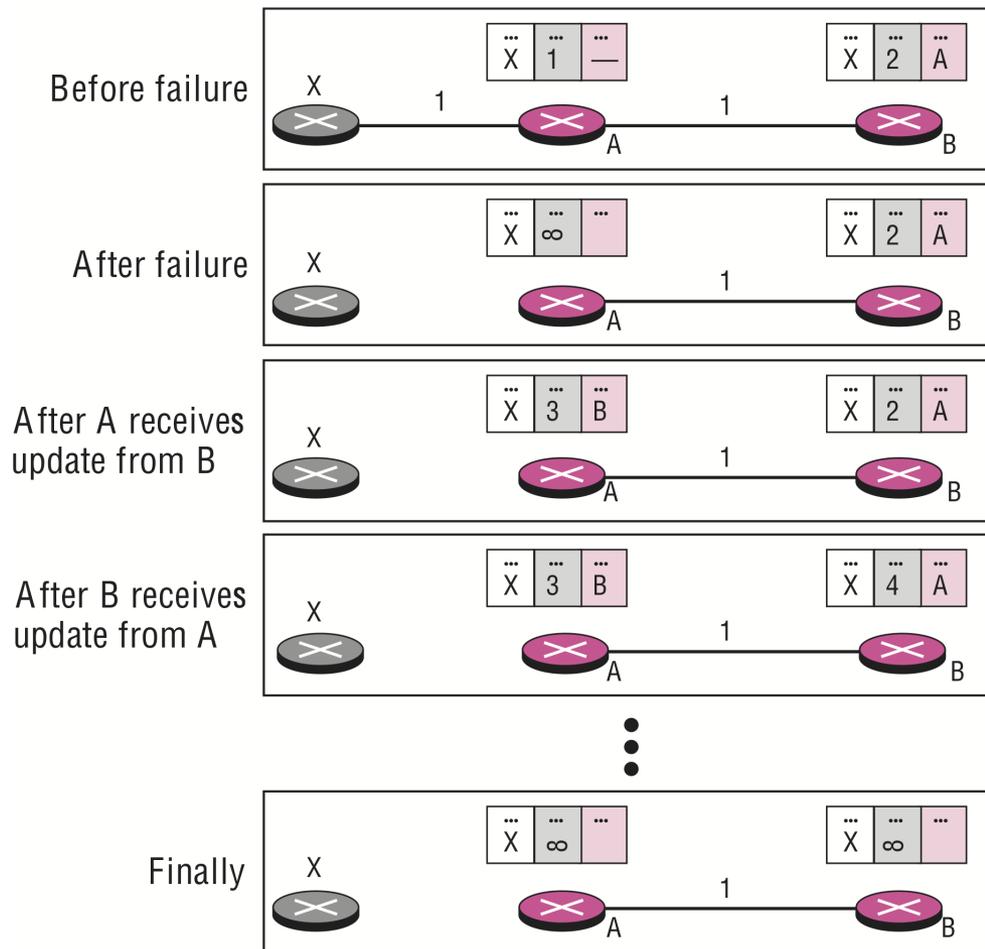
E

Dest	Cost	Next
Net1	3	C
Net2	3	C
Net3	3	C
Net4	3	C
Net5	2	C
Net6	2	C
Net7	1	—

Vectores de Distancia

Problemas de convergencia. Cuenta a infinito

- Los cambios en la topología de la red deben propagarse a todos los encaminadores. Cuando un enlace aumenta su distancia estos cambios tardan en propagarse.
- Las actualizaciones necesarias para comunicar un enlace caído puede no converger.



Vectores de Distancia

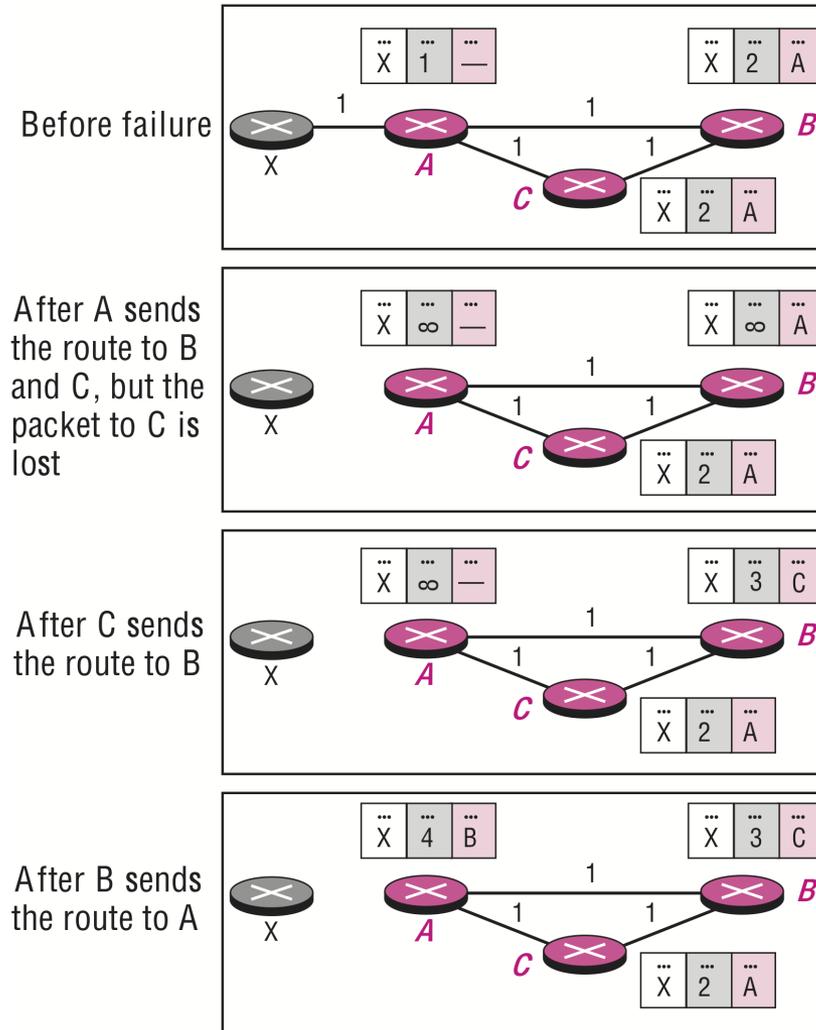
Cuenta a infinito. Soluciones

- Limitar el infinito. Por ejemplo en RIP, el límite de infinito se establece a 16 saltos.
- Técnica del **horizonte dividido (“split horizon”)**
 - Los destinos aprendidos a través de un determinado enlace nunca se difunden a través de dicho enlace
 - **Ejemplo:** El nodo B no enviará al nodo A información sobre el destino X
- Técnica del **horizonte dividido con respuesta envenenada**
 - Los destinos aprendidos a través de un determinado enlace sí se difunden a través de dicho enlace, pero con distancia infinita
 - **Ejemplo:** El nodo B anunciará al nodo A que el destino X está a distancia infinita
- Técnica **actualizaciones forzadas (triggered updates)**
 - Cuando un encaminador detecta una modificación en su tabla de rutas inmediatamente difunde esta información a sus vecinos
 - De esta forma los cambios en la topología se propagan de forma rápida a todos los puntos de la red.

Vectores de Distancia

Problemas de Convergencia. Bucles

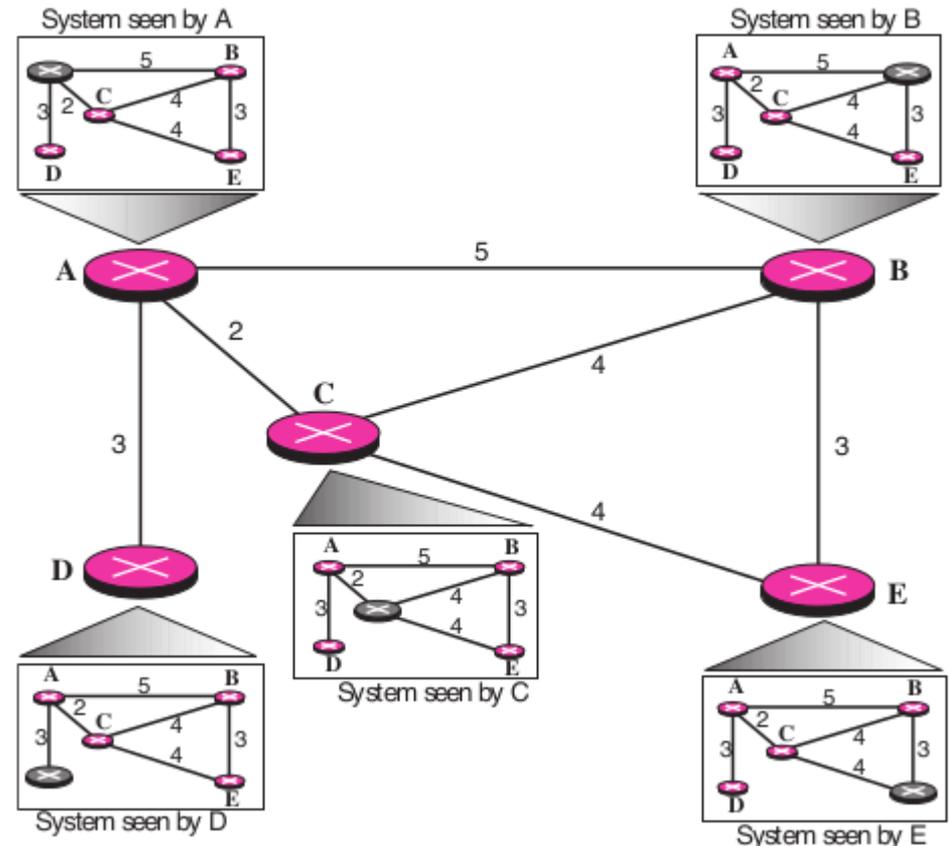
- En redes con bucles el algoritmo puede no converger
- Las técnicas de horizonte dividido no evitan el problema en este caso



Estado de Enlaces

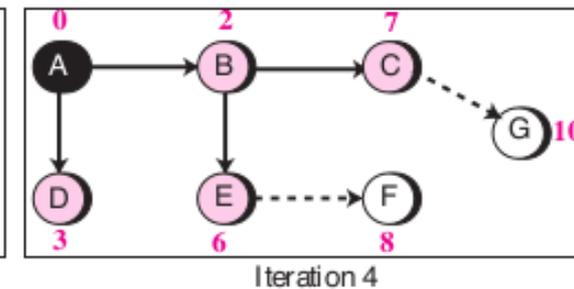
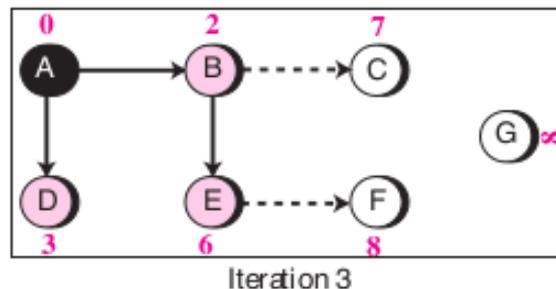
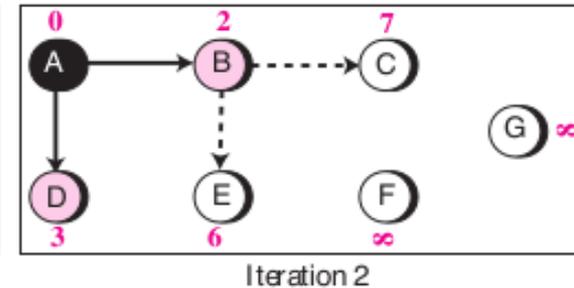
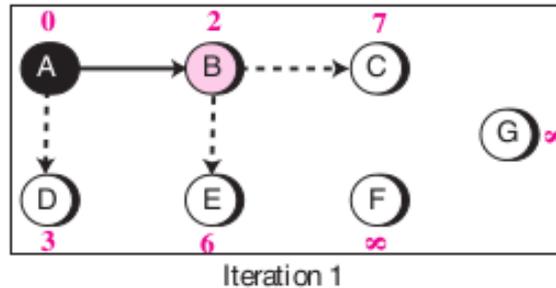
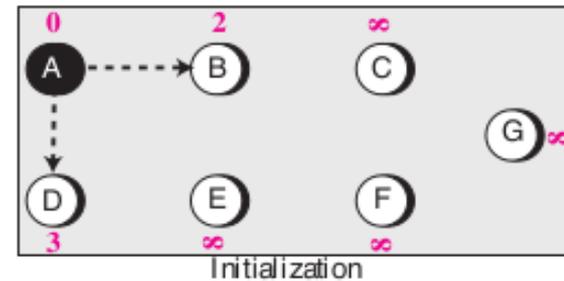
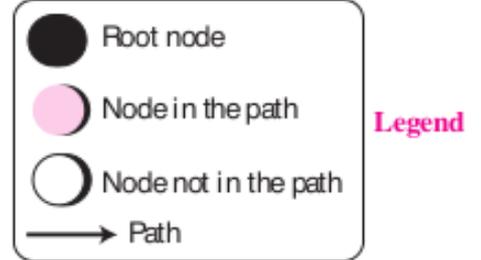
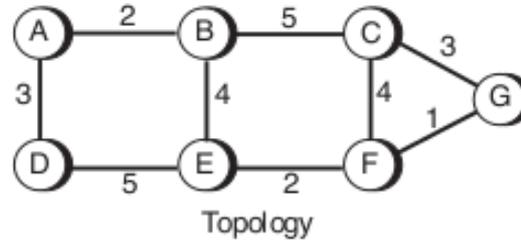
Fundamentos

- Cada encaminador mantiene una base de datos (link state database) con la información sobre la topología exacta de la red
- Para construir esta base de datos se utiliza el siguiente proceso:
 - Cada encaminador identifica sus nodos vecinos y distancia (estado de enlace)
 - Cada nodo anuncia esta información a **todos** los nodos de la red (inundación)
 - Usando la información completa de la red cada nodo construye un mapa o árbol de rutas de la red desde “su punto de vista”.
 - La construcción del árbol o mapa de rutas se basa en el algoritmo de Dijkstra
- Ejemplo: OSPF (Open Shortest Path First)



Estado de Enlaces

Ejemplo: Rutas del Nodo A y C



Encaminamiento en Internet

- Internet está organizada en **sistemas autónomos (AS)**
 - Un AS es una colección de redes y encaminadores gestionadas y administradas por una misma autoridad
- **Encaminadores internos** del AS
 - Interconectan únicamente redes dentro del propio AS
 - Sólo conocen en detalle la organización del AS local
 - Desconocen la organización detallada de otros AS's
 - Utilizan protocolos de encaminamiento denominados IGP (Interior Gateway Protocol)
- **Encaminadores** externos o frontera (border router)
 - Interconectan varios sistemas autónomos
 - Conocen el camino a al resto de sistemas autónomos de la red, pero no conocen en detalle cual es la organización inteena de los mismos
 - Utilizan protocolos de encaminamiento denominados EGP (Exterior Gateway Protocol)

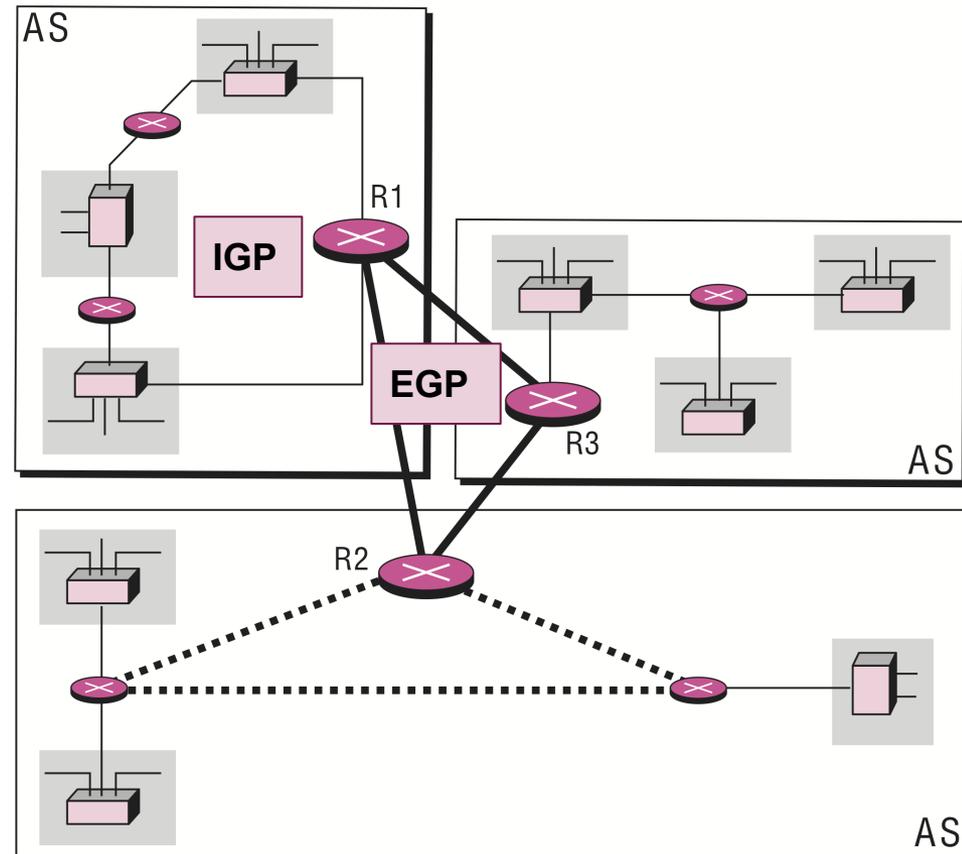
Encaminamiento en Internet

Protocolos Internos (IGP): Lo utilizan los routers internos, para el encaminamiento dentro de un AS

- RIP: Routing Information Protocol
- OSPF: Open Shortest Path First
- IGRP: Internal Gateway Routing Protocol (de CISCO)

Protocolos Externos (EGP): Lo utilizan los routers frontera, para el encaminamiento entre distintos AS's:

- EGP: External Gateway Protocol
- BGP: Border Gateway Protocol





AMPLIACIÓN DE SISTEMAS OPERATIVOS Y REDES

Grados Ingeniería en Informática

Universidad Complutense de Madrid

TEMA 2. Routing Information Protocol

PROFESORES:

Rafael Moreno Vozmediano

Rubén Santiago Montero

Juan Carlos Fabero Jiménez

Routing Information Protocol: RIP

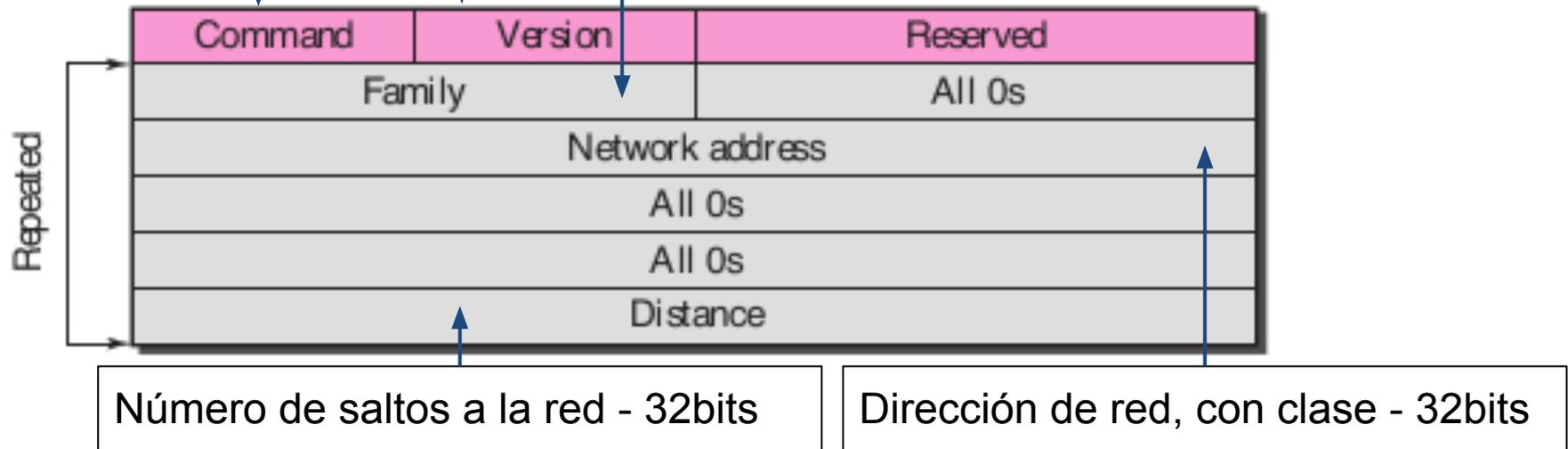
- Protocolo de encaminamiento interior (IGP) basado en vectores de distancia (algoritmo Bellman-Ford)
- Versiones y RFCs
 - RIP versión 1 → RFC 1058 (1993)
 - RIP versión 2 → RFC 2453 (1998)
 - RIPng for IPv6 → RFC 2080 (1997)
- Los vectores de distancia incluyen la siguiente información de encaminamiento:
 - La lista de destinos (redes) que son alcanzables por cada router
 - La distancia a la que se encuentran dichos destinos
- La métrica (distancia) utilizada en el protocolo RIP es el número de saltos
- Los vectores de distancia se difunden mediante broadcast (puerto UDP 520).
- El límite de infinito en RIP se establece en 16 saltos
- RIP puede utilizar los siguientes mecanismos
 - Horizonte dividido
 - Horizonte dividido con respuesta envenenada
 - Actualizaciones forzadas

RIP versión 1: Formato del Mensaje

Request (1) o Response (2) - 8bits

Version (1) ó Version(2) - 8bits

Protocolo: Para TCP/IP el valor es 2 - 16bits



Número de saltos a la red - 32bits

Dirección de red, con clase - 32bits

Mensajes de solicitud (REQUEST)

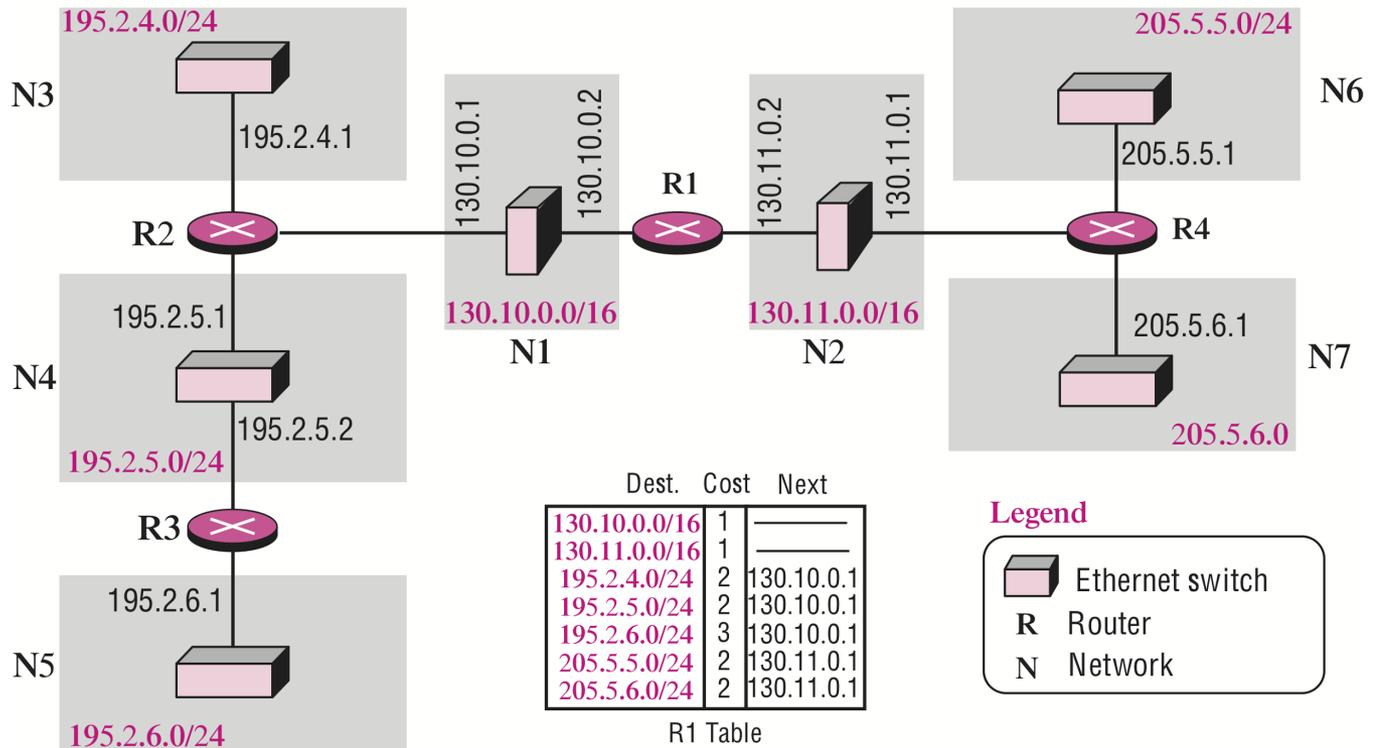
- Enviados por un router cuando se conecta a la red. Network Address: 0.0.0.0
- Enviados cuando caduca una entrada en la tabla. Network Address: Dir. Red

Mensajes de respuesta (RESPONSE)

- Periódicamente con los vectores de distancia
- En respuesta a una solicitud
- Actualización forzada, cuando cambia la distancia a la red

RIP versión 1: Ejemplo

Ejercicio: ¿Qué mensaje RIP (RESPONSE) enviará R1 a R2?



Dest.	Cost	Next
130.10.0.0/16	1	_____
130.11.0.0/16	1	_____
195.2.4.0/24	2	130.10.0.1
195.2.5.0/24	2	130.10.0.1
195.2.6.0/24	3	130.10.0.1
205.5.5.0/24	2	130.11.0.1
205.5.6.0/24	2	130.11.0.1

R1 Table

Dest.	Cost	Next
130.10.0.0/16	1	_____
130.11.0.0/16	2	130.10.0.2
195.2.4.0/24	1	_____
195.2.5.0/24	1	_____
195.2.6.0/24	2	195.2.5.2
205.5.5.0/24	3	130.10.0.2
205.5.6.0/24	3	130.10.0.2

R2 Table

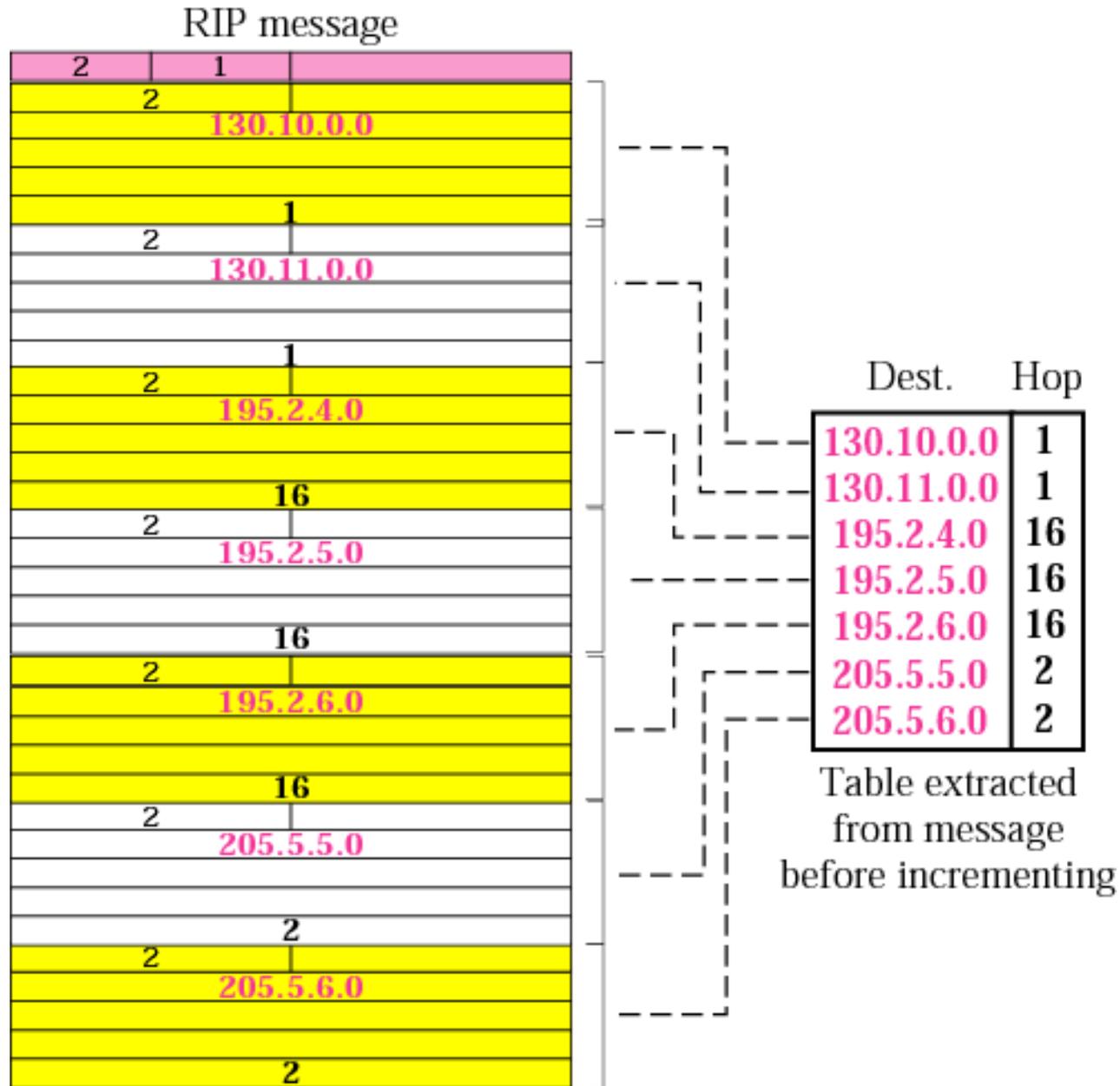
Dest.	Cost	Next
130.10.0.0/16	2	195.2.5.1
130.11.0.0/16	3	195.2.5.1
195.2.4.0/24	2	195.2.5.1
195.2.5.0/24	1	_____
195.2.6.0/24	1	_____
205.5.5.0/24	4	195.2.5.1
205.5.6.0/24	4	195.2.5.1

R3 Table

Dest.	Cost	Next
130.10.0.0/16	2	130.11.0.2
130.11.0.0/16	1	_____
195.2.4.0/24	3	130.11.0.2
195.2.5.0/24	3	130.11.0.2
195.2.6.0/24	4	130.11.0.2
205.5.5.0/24	1	_____
205.5.6.0/24	1	_____

R4 Table

RIP versión 1: Ejemplo



RIP versión 1: Temporizadores

Temporizador periódico (25-35 s)

- Intervalo de envío de mensajes RESPONSE para anunciar los vectores de distancia
- El protocolo RIP establece un valor de 30 s para este temporizador. En la práctica se usa un valor aleatorio entre 25 y 35 s.

Temporizador de expiración (180 s.)

- Controla el periodo de validez de una entrada de la tabla de encaminamiento.
- Si no se recibe actualización de la entrada durante un intervalo de 180 s (equivalente a 3 intervalos del temporizador periódico) la entrada deja de considerarse válida

Temporizador de “colección de basura” (120 s.)

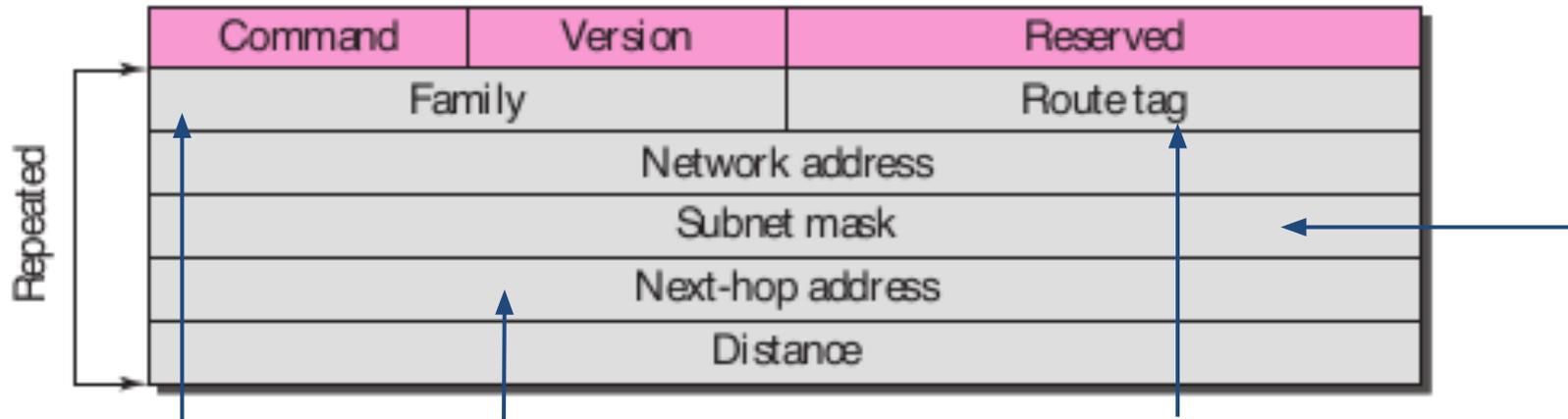
- Cuando una entrada de la tabla de rutas expira, el encaminador no la elimina inmediatamente de la tabla de encaminamiento
- La entrada se sigue anunciando con métrica 16 (destino inalcanzable) durante un periodo adicional de 120 s.

RIP versión 1: Limitaciones

- Puede generar **gran cantidad de tráfico broadcast**, debido a la difusión periódica de los vectores de distancia (mensajes RESPONSE)
- **No admite métricas alternativas** al número de saltos
- Una vez calculadas las tablas, **no se admiten caminos alternativos** para equilibrar la carga de la red
- Cuando la red crece, los cambios pueden tardar bastante **tiempo en propagarse** hasta todos los puntos de la red
- El **límite de infinito** se establece en 16. Redes grandes pueden necesitar más saltos
- No hay **soporte para CIDR**

RIP versión 2

- RIP versión 2 (RIP-2) es un protocolo de routing similar a RIP-1 que mejora algunas de las limitaciones de la versión 1:
 - Soporte para máscaras de red
 - Soporte para multicasting (224.0.0.1)
 - Soporte para autenticación



0xFFFF: Autenticación
0x0002: Encaminamiento

AS-number - separar RIP interno y externo
Algoritmo de autenticación:

- 0 -ninguno.
- 1 - contraseña en plano (16 bytes)

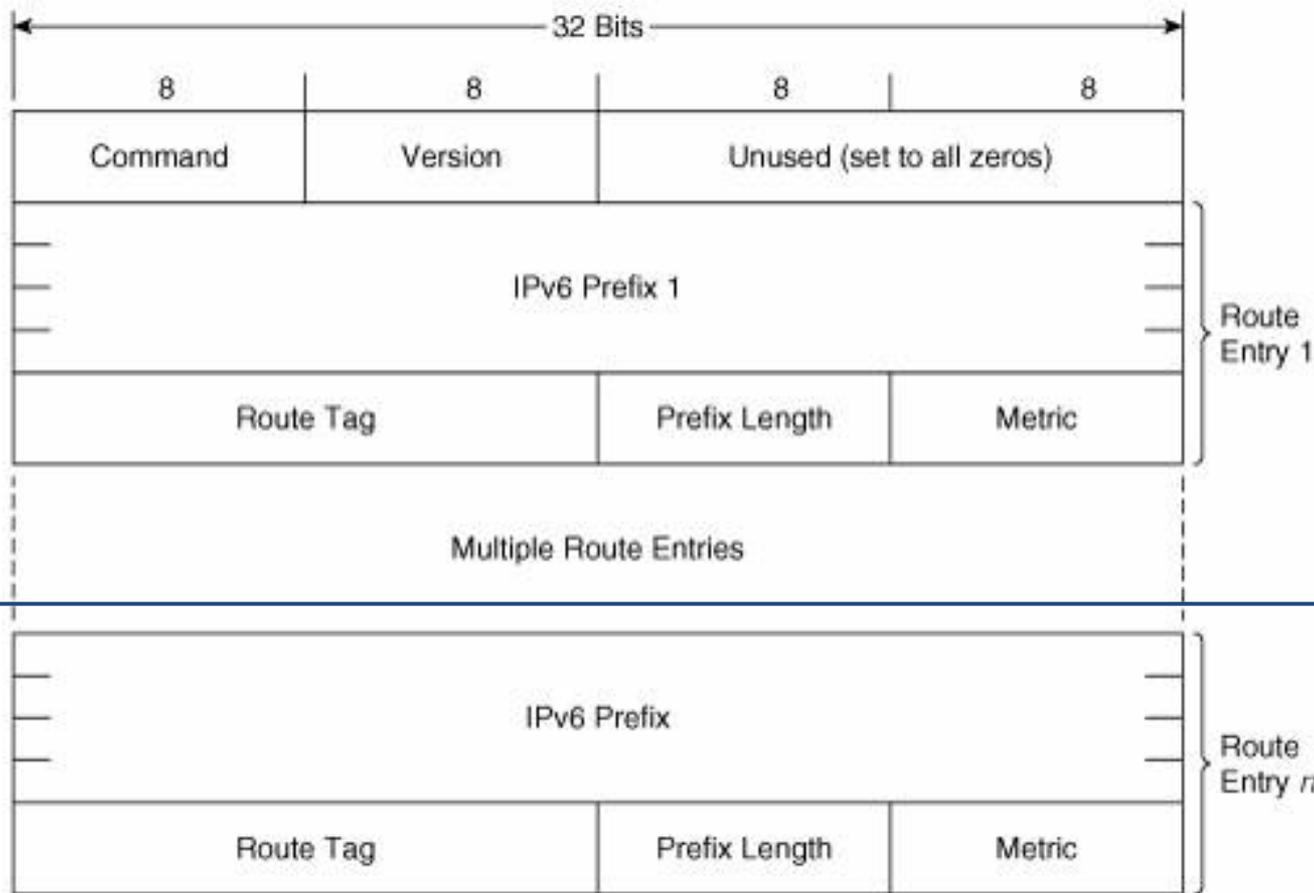
0.0.0.0, usar la dirección del remitente del mensaje

Next-hop, evita caminos no óptimos si hay routers que no usan RIP (informativo)

RIPng: RIP para IPv6

- RIPng (RIP new generation) es la adaptación del protocolo RIP-2 para soportar la compatibilidad con IPv6
- Diferencias con RIP-2
 - Los mensajes RIPng se encapsulan en datagramas UDP dirigidos al puerto 521 y se difunden a la dirección IPv6 multicast FF02::9
 - Los vectores de distancia contenidos en los mensajes de tipo RESPONSE, en lugar de direcciones de red IPv4, anuncian prefijos de red IPv6
 - La información de ruta contenida en un vector de distancia no incluye el campo “Next Hop”.
 - No utiliza información de autenticación como en RIP-2. En lugar de ello, RIPng utiliza los mecanismos de cifrado y autenticación disponibles en IPv6

RIPng: Formato del Mensaje



RTE (Route Table Entry) entrada de la tabla de rutas:

- IPv6 prefix (128bits): prefijo de red IPv6 de la red destino anunciada
- Prefix length (8bits): longitud del prefijo de red anunciado
- Route Tag y Metric igual que RIPv2