

La fuente original de gran parte de las imágenes presentadas en esta lección son cortesía del texto docente "Redes y Transmisión de Datos" P. Gil, J. Pomares, F. Candelas. Servicio de Publicaciones Universidad de Alicante.

Redes (9359). Curso 2010-11

Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas (plan 2001)



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Departament de Física, Enginyeria de Sistemes i Teoria del Senyal
Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal

Pablo Gil Vázquez (Pablo.Gil@ua.es)

Grupo de Innovación Educativa en Automática

© 2010 GITE – IEA



Redes (9359). Curso 2010-11

Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas (plan 2001)

BLOQUE I: INTRODUCCIÓN.

Tema 1: Introducción a las redes de computadores.

BLOQUE II. NIVEL FÍSICO.

Tema 2: Transmisión de señales.

Tema 3: Codificación de la información.

Tema 4: Medios de transmisión.

BLOQUE III. NIVEL DE ENLACE.

Tema 5: Diseño del nivel de enlace y control de errores.

Tema 6: Control de flujo en el nivel de enlace.

Tema 7: Protocolos estandarizados del nivel de enlace.

BLOQUE IV. NIVEL DE RED.

Tema 8: Diseño del nivel de red.

Tema 9: Encaminamiento en el nivel de red



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Departament de Física, Enginyeria de Sistemes i Teoria del Senyal
Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal

Pablo Gil Vázquez (Pablo.Gil@ua.es)

Grupo de Innovación Educativa en Automática

© 2010 GITE – IEA



1. Introducción.

2. Tipos y protocolos de encaminamiento.

- 2.1. Protocolos 'GATEWAY' Interior (IGP)
- 2.2. Protocolos 'GATEWAY' Exterior (EGP)
- 2.3. Protocolos basados en estado del enlace.
- 2.4. Protocolos basados en vector de distancia.

3. Algoritmos de calculo de ruta para encaminamiento.

- 3.1. Algoritmo de Dijkstra (estado de enlace).
- 3.2. Algoritmo de Bellman-Ford (vector de distancia).

4. Protocolos de Encaminamiento estandarizados.

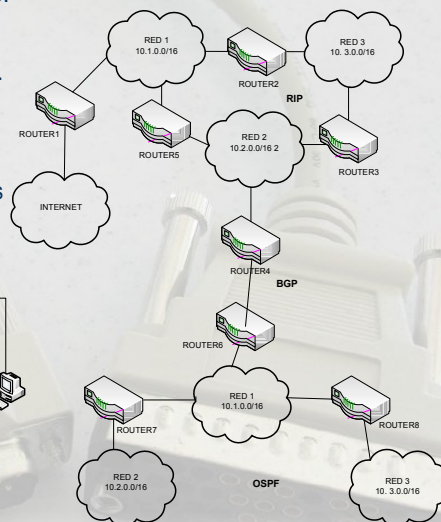
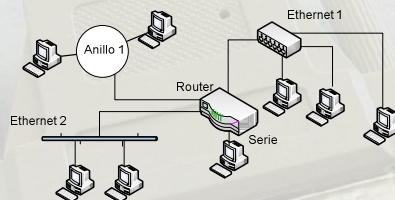
- 4.1. OSPF
- 4.2. RIP

Las funciones más importantes del nivel de red son:

- Encaminamiento de la información.
- Control de la congestión.

Definición de encaminamiento:

- Calcular la ruta óptima de los paquetes para que lleguen a su destino.



Imágenes cortesía de "Redes y Transmisión de datos". P. Gil y otros. Servicio de Publicaciones Universidad de Alicante.

1. Introducción.

2. Tipos y protocolos de encaminamiento.

- 2.1. Protocolos 'GATEWAY' Interior (IGP)
- 2.2. Protocolos 'GATEWAY' Exterior (EGP)
- 2.3. Protocolos basados en estado del enlace.
- 2.4. Protocolos basados en vector de distancia.

3. Algoritmos de calculo de ruta para encaminamiento.

- 3.1. Algoritmo de Dijkstra (estado de enlace).
- 3.2. Algoritmo de Bellman-Ford (vector de distancia).

4. Protocolos de Encaminamiento estandarizados.

- 4.1. OSPF
- 4.2. RIP

- *Protocolos de 'gateway' interior (IGP: Interior Gateway Protocol).*
 - Se usan para intercambiar información de enrutamiento dentro de un mismo sistema de red autónomo. Un sistema autónomo, no es más que un conjunto de redes administradas bajo un mismo dominio (es decir, por un mismo administrador).
 - Se suelen emplear en redes LAN.
 - Ejemplos: RIP y OSPF.
- *Protocolos de 'gateway' exterior (EGP: Exterior Gateway Protocol).*
 - Se usan para intercambiar información de enrutamiento entre distintos sistemas de red autónomos.
 - Se suelen emplear en redes WAN.
 - Ejemplos: BGP.

- Ejemplo IGP: RIP (Routing Information Protocol) es un protocolo de encaminamiento dinámico usado en redes gestionadas por una única organización (LAN).

- Su descripción y análisis está publicada en RFC1721-1723 para la v.2 y RFC1058 para la v.1.

- Ejemplo EGP: BGP (Border Gateway Protocol) es un protocolo de encaminamiento usado con conjuntos de redes gestionadas por distintas organizaciones (WAN).

- Se emplean arquitectura TCP/IP.
- Estándar de encaminamiento en Internet.
- Su descripción para la v.4. en RFC 1771.

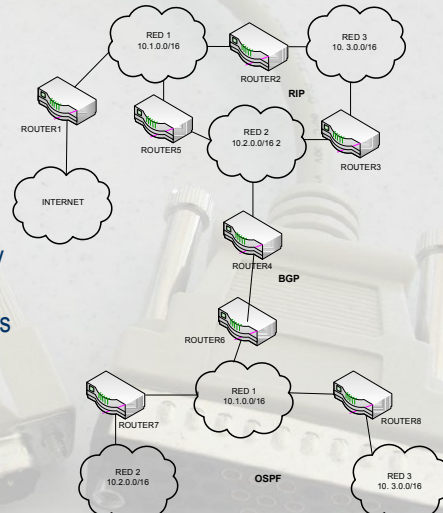


Imagen cortesía de "Redes y Transmisión de datos". P. Gil y otros. Servicio de Publicaciones Universidad de Alicante.

- *Protocolos basados en vector de distancia.*

- Éste tipo de protocolos permiten calcular la distancia para llegar a un nodo destino situado en cualquier red, y la dirección necesaria para llegar hasta ese nodo destino. Ejemplos: RIP e IGRP.
- Las rutas calculadas por unos routers pueden ser empleadas por otros.
- Los routers se intercambian periódicamente la información de rutas que disponen. Algoritmos de cálculo de ruta: Bellman-Ford

- *Protocolos basados en estado del enlace.*

- Se crean tablas de encaminamiento basándose en información de la topología, a partir de paquetes denominados de estado de enlace que se intercambian todos los routers que forman la red para describir y determinar el estado de los distintos enlaces. Ejemplos: OSPF
- La ventaja de estos protocolos es que cada router calcula de manera independiente la ruta óptima hacia un nodo destino. Esto permite que la ruta calculada por un router no depende de la calculada por otro. Algoritmo de cálculo de ruta: Dijkstra.

1. Introducción.

2. Tipos y protocolos de encaminamiento.

- 2.1. Protocolos 'GATEWAY' Interior (IGP)
- 2.2. Protocolos 'GATEWAY' Exterior (EGP)
- 2.3. Protocolos basados en estado del enlace.
- 2.4. Protocolos basados en vector de distancia.

3. Algoritmos de calculo de ruta para encaminamiento.

- 3.1. Algoritmo de Dijkstra (estado de enlace).
- 3.2. Algoritmo de Bellman-Ford (vector de distancia).

4. Protocolos de Encaminamiento estandarizados.

- 4.1. OSPF
- 4.2. RIP

- *Número de saltos*: Número de 'routers' o encaminadores por los que pasará un paquete.
- *Ancho de banda*: Capacidad de datos del enlace. Es decir, velocidad de transmisión máxima que soporta el enlace.
- *Carga*: Número de paquetes que están gestionando un router o que está soportando un enlace en un determinado instante de tiempo.
- *Coste*: Valor arbitrario que suele basarse en un valor ponderado o no obtenido a partir del ancho de banda del enlace, el coste económico o cualquier otra medida y que es asignado por el administrador del sistema autónomo.
- *Tasa de errores*: Número de bits erróneos que se producen en cada enlace.
- *MTU*: Longitud máxima de datos de la trama de nivel de enlace que puede ser aceptada por todos los enlaces de la ruta.

- Algoritmos de coste mínimo:
 - Algoritmos de trayectoria más corta en coste: Dijkstra.
 - Algoritmos de enrutamiento por vector de distancia: Bellman-Ford.
- Los algoritmos usados en conmutación de paquetes y redes de tipo INTERNET basan sus decisiones en criterios de mínimo coste.
- Una variante de estos algoritmos es usado en INTERNET por el protocolo RIP.

- Algoritmo de Dijkstra: Algoritmo de mínimo coste entre un nodo origen y uno destino.

VARIABLES:

- $n \in N$: conjunto de nodos de la red
- s : nodo origen
- T : lista de nodos incorporados por el algoritmo
- $w(i,j)$: coste del enlace **directo** del nodo i al nodo j .
- $L(n)$: Coste en curso desde el nodo s al nodo n .
- Caminos desde s al resto de nodos de N .

PASOS:

- 1.- INICIO:
 - $T = \{s\}$ y $L(n) = w(s,n)$, con $n \neq s$.
- 2.- NODO SIGUIENTE:
 - Encontrar el nodo $x \in N$, $L(x) = \min L(j)$ con $x, j \notin T$.
 - Añadir x a T : $T = \{s, \dots, x\}$
- 3.- ACTUALIZAR EL CAMINO DE COSTE MINIMO.
 - Calcular $L(n) = \min\{L(n), L(x) + w(x,n)\}$ con $n \notin T$.
- 4.- FINAL: Cuando todos los nodos han sido añadidos a T .

Ejemplo

(a) Algoritmo de Dijkstra (s = 1)

Iteración	T	L(2)	Ruta	L(3)	Ruta	L(4)	Ruta	L(5)	Ruta	L(6)	Ruta
1	{1}	2	1-2	5	1-3	1	1-4	∞	—	∞	—
2	{1, 4}	2	1-2	4	1-4-3	1	1-4	2	1-4-5	∞	—
3	{1, 2, 4}	2	1-2	4	1-4-3	1	1-4	2	1-4-5	∞	—
4	{1, 2, 4, 5}	2	1-2	3	1-4-5-3	1	1-4	2	1-4-5	4	1-4-5-6
5	{1, 2, 3, 4, 5}	2	1-2	3	1-4-5-3	1	1-4	2	1-4-5	4	1-4-5-6
6	{1, 2, 3, 4, 5, 6}	2	1-2	3	1-4-5-3	1	1-4	2	1-4-5	4	1-4-5-6

Imagen de la imagen original cortesía de "Comunicaciones y Redes de Computadores" Williams Stallings. Ed. Prentice Hall. 6ª Edición (pág. 323).

Ejemplo

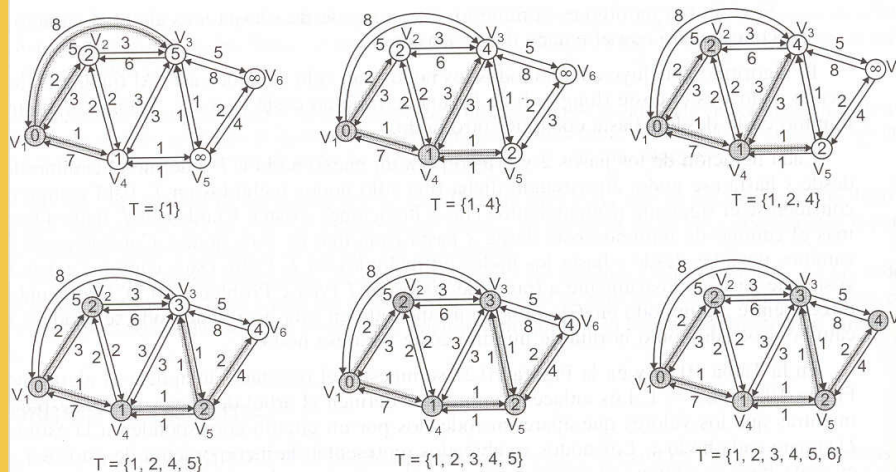


Imagen de la imagen original cortesía de "Comunicaciones y Redes de Computadores" Williams Stallings. Ed. Prentice Hall. 6ª Edición (pág. 324).

- Algoritmo de Bellman-Ford: Algoritmos de mínimo coste entre un nodo origen y uno destino con la condición de que estos a lo sumo tengan un número determinado de enlaces.

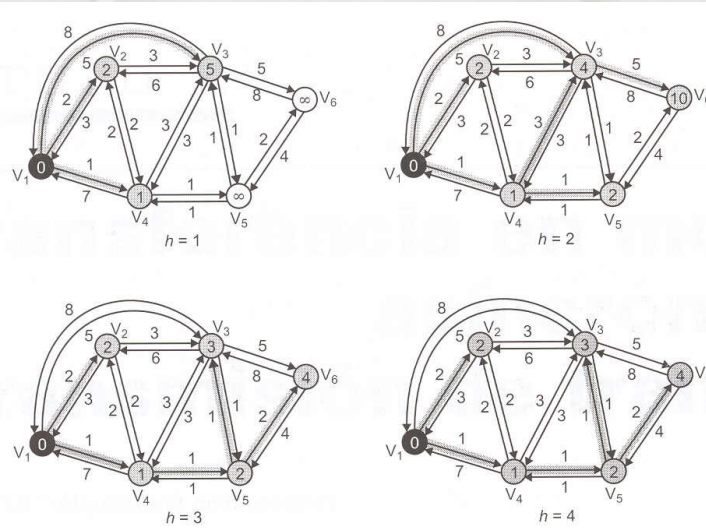
(b) Algoritmo de Bellman-Ford ($s = 1$)

h	$L_h(2)$	Ruta	$L_h(3)$	Ruta	$L_h(4)$	Ruta	$L_h(5)$	Ruta	$L_h(6)$	Ruta
0	∞	—	∞	—	∞	—	∞	—	∞	—
1	2	1-2	5	1-3	1	1-4	∞	—	∞	—
2	2	1-2	4	1-4-3	1	1-4	2	1-4-5	10	1-3-6
3	2	1-2	3	1-4-5-3	1	1-4	2	1-4-5	4	1-4-5-6
4	2	1-2	3	1-4-5-3	1	1-4	2	1-4-5	4	1-4-5-6

Imagen de la imagen original cortesía de "Comunicaciones y Redes de Computadores" Williams Stallings. Ed. Prentice Hall. 6ª Edición (pág. 323).

Ejemplo

Imagen de la imagen original cortesía de "Comunicaciones y Redes de Computadores" Williams Stallings. Ed. Prentice Hall. 6ª Edición (pág. 325).



1. Introducción.
2. Tipos y protocolos de encaminamiento.
 - 2.1. Protocolos 'GATEWAY' Interior (IGP)
 - 2.2. Protocolos 'GATEWAY' Exterior (EGP)
 - 2.3. Protocolos basados en estado del enlace.
 - 2.4. Protocolos basados en vector de distancia.
3. Algoritmos de calculo de ruta para encaminamiento.
 - 3.1. Algoritmo de Dijkstra (estado de enlace).
 - 3.2. Algoritmo de Bellman-Ford (vector de distancia).
4. Protocolos de Encaminamiento estandarizados.
 - 4.1. OSPF.
 - 4.2. RIP.

- OSPF (Open Shortest Path First):
 - Diseñado para solventar problemas de RIP.
 - Actualmente funciona la versión 2 sobre IPv4 y 3 sobre IPv6.
 - Empleado en redes LAN de gran tamaño.
 - Permite encriptación MD5 para autenticación.
 - Normativa de IETF que define el protocolo RFC 2328 y 2740.
 - Basado en estado de enlace para calcular ruta óptima.
 - Diferencias con RIP:
 - RIP permite a un nodo encaminador enviar sus propias rutas únicamente a sus nodos vecinos adyacentes, el protocolo OSPF permite a un nodo enviar publicaciones del estado del enlace, a cualquier nodo perteneciente a la misma jerarquía (Ver más adelante el concepto de área). En ambos casos se emplean paquetes multidifusión de IP. En OSPF la dirección IP de multidifusión es 224.0.0.5.

Características OSPF:

- OSPF divide un sistema autónomo (red con un mismo administrador) en unidades jerárquicas de menor tamaño. Estas unidades se conocen con el nombre de áreas.
 - Un *área* no es más que un subconjunto de nodos encaminadores y estaciones conectados dentro de un mismo sistema autónomo.
 - Un área es una red más pequeña que constituye un subconjunto de aquella a partir de la cual partió la división.
- Los cambios que se produzcan en la topología de un área no afectan al rendimiento de otras áreas, puesto que OSPF gestiona el encaminamiento de cada área de forma independiente.
- Puede emplear varios criterios para la métrica: mínimo retardo, máxima productividad, etc.
 - Es frecuente usar como métrica un valor numérico que se calcula en base al ancho de banda del interfaz.

Tipos de áreas OSPF:

- **Backbone:** Constituye el núcleo central de una red encaminada con OSPF.
 - Este área se caracteriza porque mantiene una conexión física o lógica con todas y cada una de las demás áreas en las que se ha jerarquizado la red.
- **Stub:** Hace referencia a todas aquellas áreas que no pueden recibir rutas procedentes de redes externas.
 - Se consideran redes externas todas aquellas que son gestionadas por protocolos de encaminamiento distintos a OSPF y están fuera de la jerarquía de red.
- **Not-so-stubby (NSSA):** Son áreas stub que pueden importar rutas externas y enviarlas a un área de backbone, pero que sin embargo no puede exportar rutas externas procedentes del backbone hacia otras áreas.

■ Tipos de encaminadores OSPF:

- **Nodo encaminador Interior:**
 - Son aquellos en los que todos sus interfaces pertenecen a una misma área de la jerarquía, y además la base de datos de estados de enlace (LSD) es idéntica.
- **Nodo encaminador de Backbone:**
 - Son aquellos en los que al menos un interface pertenece al área de Backbone, también conocida como área cero.
- **Nodo encaminador de Frontera (ABR: Area Border Router):**
 - Son los encaminadores que tienen interfaces conectados a diferentes áreas.

■ Acciones de Funcionamiento de OSPF:

- *Crear estados de los enlaces* a los que conecta cada nodo.
 - A partir de estos estados cada nodo construye paquetes LSA (Link-State Advertisement) o paquetes de estado de sus enlaces. Estos paquetes se emplean para que los nodos se intercambian la información de los enlaces a los que están conectados. El paquete de estado de enlace, LSA, suele transportar gran cantidad de información.
- *Enviar paquetes LSA a cada nodo adyacente mediante el método de inundación*, generalmente cada 10 segundos.
 - Cada nodo que recibirá paquetes LSA.
 - Los compara con la copia que pueda tener almacenada, descarta el más viejo y almacena el nuevo.
 - Envía copia de nuevo por cada interfaz por el método de inundación.
 - Al final, cada nodo tendrá una copia de toda la topología completa, esta copia constituye una base de datos de los enlaces de la misma (LSD, Link-State Database).

▪ **Acciones de Funcionamiento de OSPF:**

- *Formar un árbol del camino más corto para cada nodo.*
 - Calcular mediante el algoritmo de Dijkstra el camino mínimo entre un nodo encaminador (nodo raíz en el árbol) y el resto de nodos encaminadores (nodos hojas en el árbol). El árbol representa la ejecución del algoritmo de Dijkstra. Los nodos encaminadores que tienen activado el protocolo OSPF almacenan información sobre el estado de los enlaces y ejecutan el algoritmo de Dijkstra para calcular la ruta más corta de un nodo a cualquier otro.
- *Calcular la tabla de encaminamiento basada en el árbol de camino más corto.*
 - A partir del árbol de Dijkstra para cada nodo, se construye una tabla de encaminamiento empleando la ruta de camino más corto en coste para ir de un nodo a otro.

▪ **Fijar métrica (coste de los enlaces) en OSPF:**

- *Dispone de 5 servicios que determinan múltiples formas de calcular la métrica. Estos se clasifican como:*
 - *TOS 0 (Type of Service):* Métrica asociada por el administrador de la red.
 - *TOS 2:* Métrica empleada si se asigna coste económico al uso de la red.
 - *TOS 4:* Métrica basada en el historial reciente de fallos en la red o tasa de paquetes erróneos.
 - *TOS 8:* Métrica basada en la capacidad del enlace.
 - *TOS 16:* Métrica basada en el retardo de propagación y retardo de los buffers de interfaces.

▪ Tipos de paquetes en OSPF:

▪ Los mensajes OSPF se encapsulan sobre datagramas IP:

- *Hello*: Permiten que un nodo encaminador detecte cambios. Cuando en los nodos encaminadores se activa OSPF se envían mensajes de este tipo.
- *DD (Database description) o LSD*: Descripción de la base de datos. Estos mensajes se envían cuando se activa un enlace entre dos nodos encaminadores. Se emplea para sincronizar la información topológica que poseen ambos.
- *LSR (Link State Request)*: Solicitud de información. Mensajes que un nodo encaminador emplea para solicitar información topológica a otro encaminador adyacente.
- *LSU (Link State Update)*: Actualización de información. Es el mensaje respuesta a un LSR y pueden contener uno o varios paquetes LSA. La confirmación de actualización se realiza con un mensaje *Link State Acknowledgment*.
- *LSA (Link State Advertisement)*: Existen cinco tipos distintos de mensajes LSA: mensajes *router links*, *network links*, dos mensajes del tipo *summary link*, uno para notificar el coste de alcanzar una subred situada fuera de un área y otro para notificar el coste de alcanzar un encaminador de frontera. Finalmente, se dispone de un mensaje *AS external link* el cual es generado por encaminadores de frontera y transmitidos por inundación al resto.

▪ Paquetes LSA:

▪ Información que transporta:

- La identidad de cada nodo y la lista de enlaces a los que está conectado para poder definir la topología de la red del dominio.
- El número de secuencia y la edad para distinguir los nuevos paquetes de los viejos.

▪ Cuándo se crean:

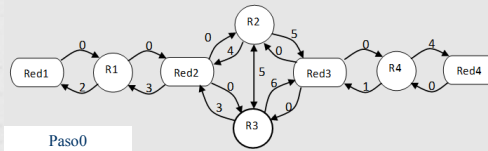
- Cambios en la topología de red del dominio. En este caso los paquetes LSA los generan los nodos que conectan enlaces nuevos o enlaces que han sido modificados. Esos paquetes se enviarán, después, a nodos adyacentes.
- Siempre de forma periódica. Cada intervalo de tiempo comprendido entre 60 minutos y 2 horas, dependiendo de la configuración.

Ejemplo:

Información de enlaces de redes y nodos encaminadores (LSD).

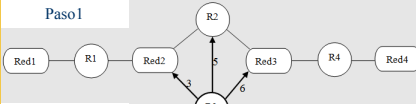
Destino	Origen							
	Routers				Redes			
Router/Red	R1	R2	R3	R4	Red1	Red2	Red3	Red4
R1					0	0		
R2			5			0	0	
R3		5				0	0	
R4							0	0
Red1	2							
Red2	3	4	3					
Red3		5	6	1				
Red4				4				

Árbol de nodos

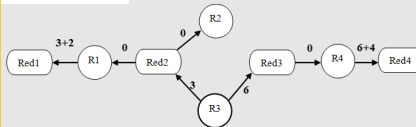


Paso0

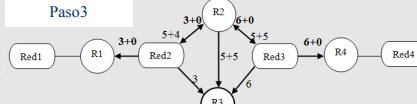
Paso1



Paso2



Paso3



Paso4

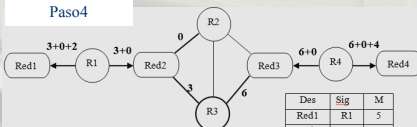


Imagen cortesía de "Redes y Transmisión de datos". P. Gil y otros. Servicio de Publicaciones Universidad de Alicante.

Des	Sig	M
Red1	R1	5
Red2	-	3
Red3	-	6
Red4	R4	10

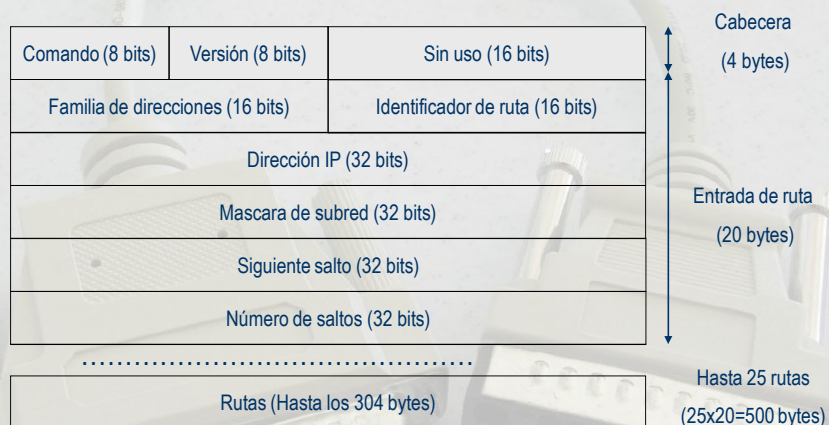
Características de RIP v2.0:

- Incorpora dirección del siguiente salto.
 - Además del número de saltos para llegar a IP destino, se puede especificar la dirección IP del siguiente router al que pueden ser enviados los paquetes.->Optimiza el encaminamiento
- Autenticación.
 - Aporta mecanismos para que un router sólo acepte mensajes RIP determinados, desechando otros tipos de mensajes RIP provenientes de equipos no deseados.-> Evita modificación de rutas.
- Multicasting.
 - Los paquetes RIP se envían a la dirección multicast 224.0.0.9. Y sólo los routers con RIP v2.0 pueden recibir a través de esa dirección.
- Máscaras de red.
 - Permite trabajar con rutas de subredes.
- Identificadores de rutas externas.
 - Permite propagar información sobre rutas establecidas con otros protocolos de encaminamiento (como EGP o BGP) sin alterarlas.
 - Separa rutas internas con RIP, de rutas externas que hacen uso de otros protocolos.

▪ Formato de paquetes RIP v2.0 (I):

- Los mensajes RIP son transportados en paquetes UDP dirigidos al puerto 520.
- Un mensaje RIP tiene 4 bytes de cabecera.
- Un mensaje RIP usa 20 bytes por cada entrada de ruta sin contar cabeceras UDP e IP.
- Un mensaje RIP puede indicar un máximo de 25 rutas por mensaje sin superar un tamaño de paquete UDP de 512 bytes.
- Longitud total de mensaje RIP, 504 bytes.

▪ Formato de paquetes RIP v2.0 (II):



Formato de paquetes RIP v2.0 (III):

- **Comando:** indica el tipo de mensaje (1:Request, 2:Response 2).
- **Versión:** tiene valor 2.
- **Identificador de ruta:** Separa mensajes RIP de otros mensajes de otros protocolos de encaminamiento.
- **Familia de direcciones:** Varía en función del tipo de protocolo de nivel de red usado (para IP vale 2 y si es un mensaje de autenticación vale FFFFh).
- **Dirección IP, máscara de subred y siguiente salto:** indican una entrada de tabla donde se indica dirección a quien se envía el mensaje, su máscara y porque router deberían enviarse los mensajes
- **Número de saltos:** Indica el máximo número de saltos necesarios para alcanzar el destino desde el router que envía el mensaje RIP.

Funcionamiento de RIP v2.0:

- En el proceso de actualización, un router con RIP2 envía RIP 'request' a todos los interfaces activos reclamando entradas de ruta de los routers adyacentes.
- Los routers que las reciben envían información de sus tablas de encaminamiento mediante RIP 'response'.
- Cada 30 segundos, cada router envía a sus adyacentes, una parte o la totalidad de su tabla de encaminamiento a través de la IP de multicast.
- Cada un router recibe un mensaje multicast y examina las entradas de la rutas que contiene ese mensaje para comprobar si debe actualizar su tabla de encaminamiento.
 - Se actualiza, si aparece una ruta de un destino desconocido
 - Se actualiza, si aparece conocido pero que se puede alcanzar en menos saltos.
 - La tabla de encaminamiento se actualiza añadiendo o modificando la entrada, colocando como entrada la puerta de enlace del campo 'siguiente salto' (es el router que envió el mensaje RIP).

▪ Ejemplo:

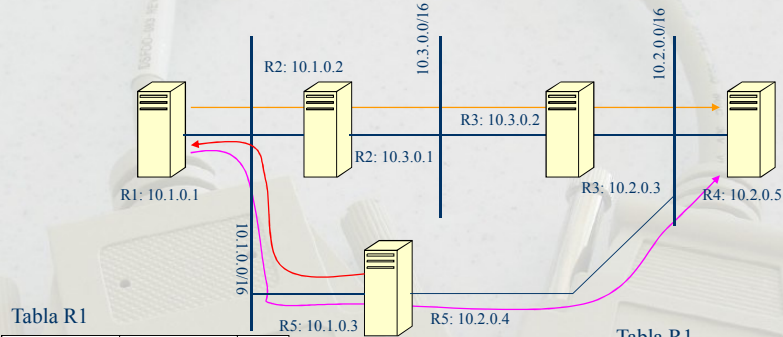


Tabla R1

10.1.0.0/16		1
10.2.0.0/16	10.1.0.2	3
10.3.0.0/16	10.1.0.2	2

ANTES

Tabla R5

10.1.0.0/16		1
10.2.0.0/16		1
10.3.0.0/16	10.2.0.3	2

Tabla R1

10.1.0.0/16		1
10.2.0.0/16	10.1.0.3	2
10.3.0.0/16	10.1.0.2	2

DESPUÉS