



## REDES DE COMPUTADORES Laboratorio

### **Práctica 3: Protocolos de enrutamiento dinámico RIP y OSPF**

Grado en Ingeniería Informática  
Curso 2011/12

## 1. OBJETIVO

El objetivo de esta práctica es conocer el modo de operar de los protocolos de enrutamiento dinámico según trabajen con el vector distancia o con el estado del enlace, tomando como ejemplos RIPv2 y OSPF, utilizando para ello el simulador Cisco Packet Tracer.

## 2. CONSIDERACIONES BÁSICAS SOBRE LOS PROTOLOS DE ENRUTAMIENTO DINÁMICO

Un protocolo de enrutamiento es un software complejo que se ejecuta de manera simultánea en un conjunto de routers, con el objetivo de completar y actualizar su tabla de enrutamiento con los mejores caminos para intercambiar información con otras redes. Así, podríamos resumir que un protocolo de enrutamiento tiene como objetivos los siguientes:

- Descubrir redes lejanas con las que intercambiar información
- Mantener la información de enrutamiento actualizada de manera fiable
- Elegir el mejor camino posible en cada momento hacia las redes de destino
- Encontrar un nuevas rutas para sustituir a aquellas que dejen de estar disponibles en los términos necesarios.

Frente al enrutamiento estático, el enrutamiento ofrece nuevas posibilidades, se adapta mejor a nuevas circunstancias pero requiere una mayor complejidad en los sistemas y en la gestión de estos.

	Enrutamiento dinámico	Enrutamiento estático
<b>Complejidad de la configuración</b>	Por lo general es independiente del tamaño de la red	Se incrementa con el tamaño de la red
<b>Conocimientos requeridos del administrador</b>	Se requiere de un conocimiento avanzado	No se requieren conocimientos adicionales
<b>Cambios de topología</b>	Se adapta automáticamente a los cambios de topología	Se requiere la intervención del administrador
<b>Escalamiento</b>	Adecuado para las topologías simples y complejas	Adecuada para topologías simples
<b>Seguridad</b>	Es menos seguro	Más segura
<b>Uso de recursos</b>	Utiliza CPU, memoria y ancho de banda de enlace	No se requieren recursos adicionales
<b>Capacidad de predicción</b>	La ruta depende de la topología actual	La ruta hacia el destino es siempre la misma

Figura 1: Enrutamiento estático vs enrutamiento dinámico (Fuente: Cisco System, Inc.)

Los protocolos de enrutamiento dinámico se clasifican (en una primera instancia) según sean de aplicación a sistemas de Gateway interior o exterior, y los primeros se agrupan

según consideren como variable el vector distancia o el estado del enlace. A continuación se muestra un esquema de clasificación.

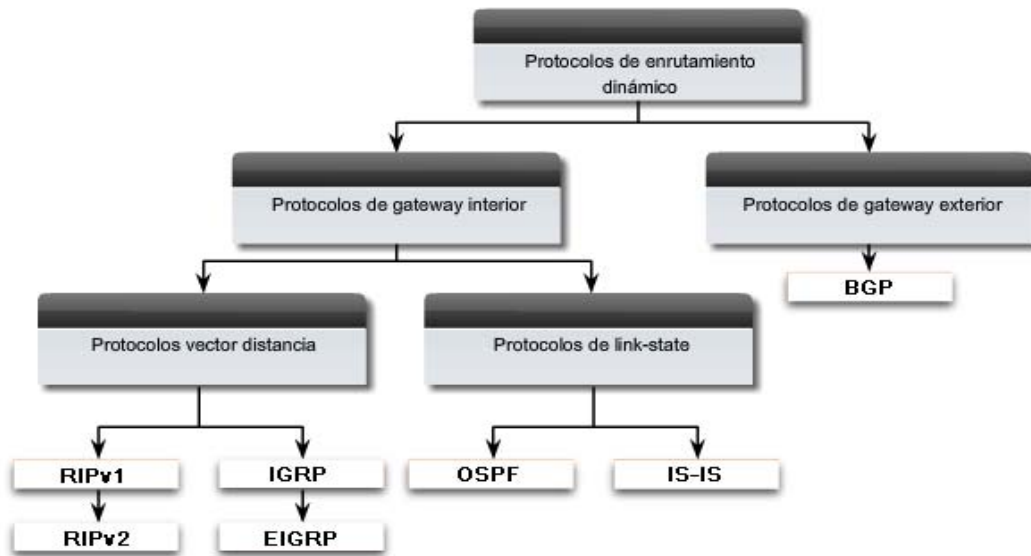


Figura 2: Clasificación de los protocolos de enrutamiento dinámico (Fuente Cisco System, Inc)

Los protocolos de Gateway interior se utilizan para tareas de enrutamiento en los llamados sistemas autónomos, que son aquellos en gestionados por un solo administrador. El protocolo BGP (*Border Gateway Protocol*) de Gateway exterior se utiliza para interconectar los sistemas autónomos.

Entre los protocolos por vector distancia está RIP (*Routing Information Protocol*) en sus dos versiones; la primera de ellas claramente obsoleta al utilizar direccionamiento de redes con clases. La segunda versión admite direccionamiento sin clases (CIDR) y máscaras de longitud variable (VLSM). El protocolo IGRP (*Interior Gateway Routing Protocol*) y su versión mejorada EIGRP (*Enhanced Interior Gateway Routing Protocol*) son protocolos propietarios de Cisco.

	Ripv1	Ripv2	IGRP	EIGRP
Velocidad de convergencia	Lento	Lento	Lento	Rápido
Escalabilidad: tamaño de la red	Pequeño	Pequeño	Pequeño	Grande
Uso de VLSM	No	Sí	No	Sí
Uso de recursos	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
Implementación y mantenimiento	Simple	Simple	Simple	Complejo

Figura 3: Comparativa entre los protocolos dinámicos por vector distancia (Fuente: Cisco System, Inc)

Los protocolos que consideran el estado y capacidad del enlace hasta la red de destino son IS-IS (*Intermediate System To Intermediate System*) y OSPF (*Open Shortest Path First*).

	Protocolos de gateway interior			Protocolos de gateway exterior
	Protocolos de enrutamiento vector distancia	Protocolos de enrutamiento de link-state		Vector ruta
Con clase	RIP	IGRP		EGP
Sin clase	RIPv2	EIGRP	OSPFv2	IS-IS
IPv6	RIPng	EIGRP para IPv6	OSPFv3	IS-IS para IPv6
				BGPv4 para IPv6

Figura 4: Clasificación de los protocolos de enrutamiento dinámico (Fuente: Cisco System, Inc)

En la siguiente gráfica se muestra la evolución de los protocolos de enrutamiento dinámico desde 1982 hasta el año 2000.

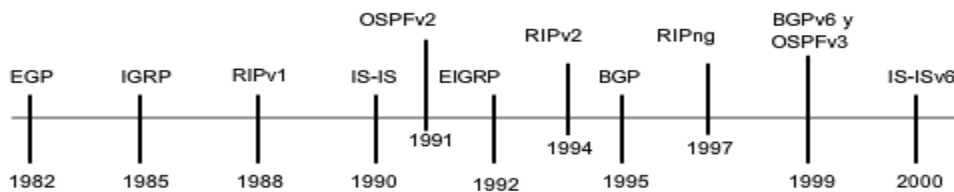


Figura 5: Evolución temporal de los protocolos de enrutamiento dinámico (Fuente: Cisco System, Inc)

## 2.1. Introducción a Rourter Information Protocol (RIP)

RIP es un protocolo importante por ser uno de los primeros en implementarse y servir de base para la evolución de los protocolos de enrutamiento dinámico. Entre sus características básicas habría que destacar las siguientes:

- Es un protocolo de enrutamiento vector distancia.
- Utiliza el conteo de saltos como su única métrica o coste para la selección de rutas.
- Las rutas publicadas con conteo de saltos mayores que 15 son inalcanzables.
- Se transmiten mensajes cada 30 segundos.
- Sus mensajes se encapsulan en un segmento UDP con direcciones de puerto 520 tanto en origen como en destino.
- Tiene asignada una distancia administrativa de 120.

En su primera versión (RIPv1) es un protocolo con clase, es decir, considera las direcciones de red como pertenecientes a una de las clases definidas por el estándar (clases A, B y C), por lo que no admite VLSM (máscaras de subred de longitud variable) ni la notación CIDR para estas (enrutamiento entre dominios sin clases). La versión mejorada de este protocolo (RIPv2) admite tanto VLSM y CIDR, por lo que ya no se asocia cada dirección de red con la máscara de la clase a la que pertenece.

Por defecto, cuando se activa RIPv2, realiza el resumen automático de rutas (auto-summary), lo que implique que en el caso de subredes fronterizas que pertenezcan a una misma clase, el router propaga la ruta como si se tratase de una red con clase. Esto

puede generar problemas cuando se utilizan subredes contiguas en un mismo dominio de red pero no adyacentes o fronterizas (conectadas a un mismo router).

La compatibilidad entre versiones se garantiza porque RIPv2 utiliza campos del mensaje RIP no utilizados en su versión precedente.

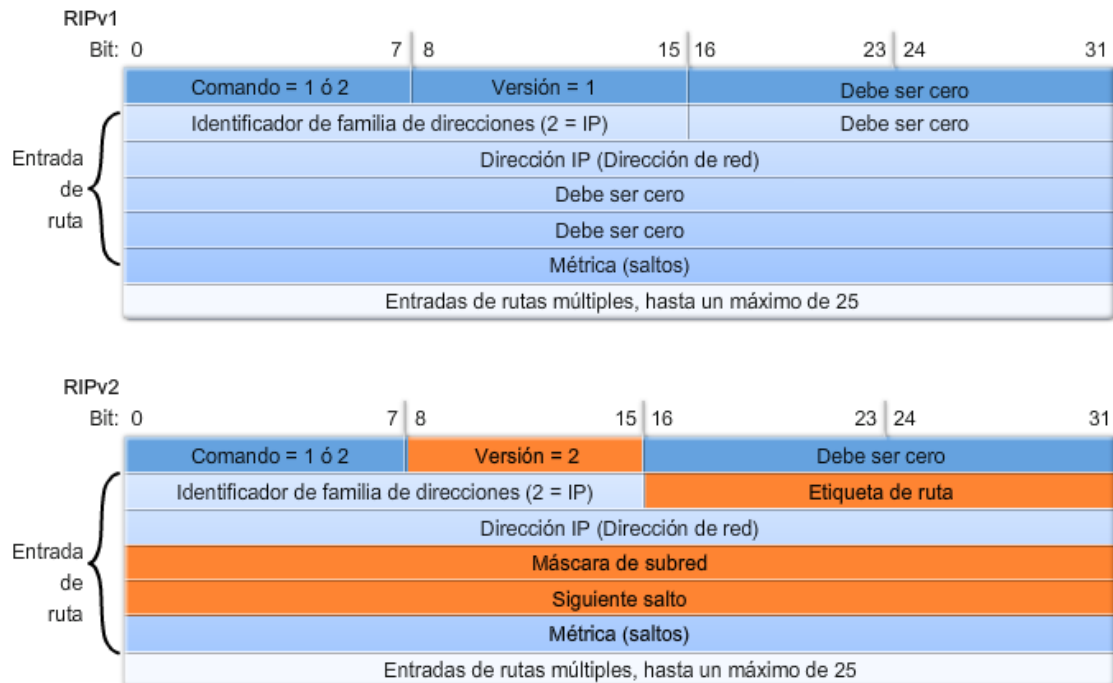


Figura 6: Formato de los mensajes RIP de ambas versiones

El proceso de activación y configuración de RIP requiere los siguientes pasos en cada router:

1. Activación del proceso
2. Selección, en su caso, de la versión 2
3. Desactivación, en su caso, del resumen automático de rutas
4. Designación de las interfaces por las que no se enviarán actualizaciones del protocolo
5. Enumeración de las redes conectadas que formarán parte en el proceso de enrutamiento

El coste o métrica que se asigna a una ruta en RIP es un valor entero igual al número de saltos o routers que forman parte de esa ruta.

## 2.2. Introducción a Open Shortest Path First (OSPF)

OSPF es un protocolo de enrutamiento sin clase y de estado del enlace, cuya versión actual para IPv4 es la OSPFv2 descrita en la RFC 2328. Entre sus características básicas habría que destacar las siguientes:

- Sus mensajes se encapsulan en un paquete IP con indicador de protocolo 89.
- La dirección de destino se establece para una de dos direcciones multicast: 224.0.0.5 ó 224.0.0.6. Si el paquete OSPF se encapsula en una trama de Ethernet, la dirección MAC de destino es también una dirección multicast: 01-00-5E-00-00-05 o 01-00-5E-00-00-06.

- Tiene asignada una distancia administrativa de 110

Existen cinco tipos de paquetes OSPF:

- **Paquete Hello.** Se utiliza para mantener activa la conexión OSPF con otros routers adyacentes
- **Paquete DBD (*DataBase Description*).** Contiene información de la base de datos del router que lo emite acerca del estado de los enlaces locales a este.
- **Paquete LSR (*Link-State Request*).** Es una solicitud de información sobre cualquier entrada de la base de datos de estado del enlace.
- **Paquete LSU (*Link-State Update*).** Es una respuesta a las peticiones LSR y contiene diferentes tipos de **notificaciones sobre el estado del enlace, LSA (*Link-State Advertisement*)**.
- **Paquete LSAck (*Link-State acknowledgment*).** Es un acuse de recibo de un paquete LSU.

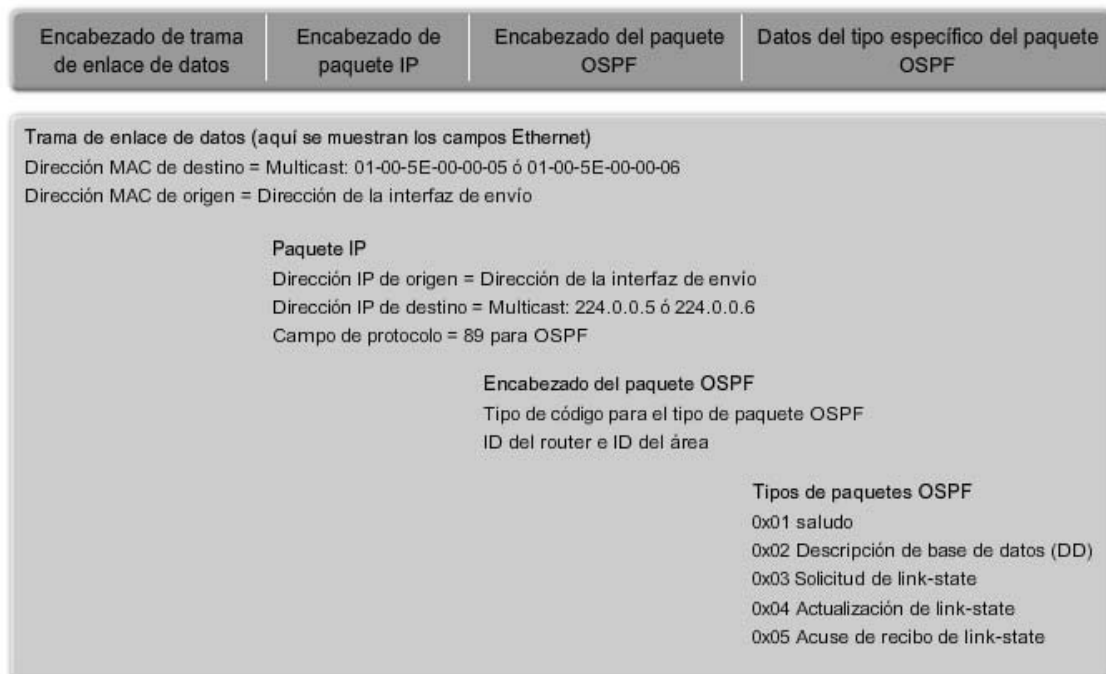


Figura 7: Formato del mensaje OSPF

Cada router OSPF mantiene una base de datos de link-state que contiene las LSA recibidas por parte de todos los demás routers. Una vez que un router recibió todas las LSA y creó su base de datos de link-state local, OSPF utiliza el algoritmo SPF (primero el camino más corto, *Shortest Path First*) de Dijkstra para crear un árbol SPF. El árbol SPF luego se utiliza para completar la tabla de enrutamiento IP con las mejores rutas para cada red. Esto implica que cada router mantiene un árbol propio y que no tiene por qué ser similar al de los routers del mismo dominio de enrutamiento.

El proceso de activación y configuración de OSPF requiere los siguientes pasos en cada router:

1. Activación del proceso asignándole un identificador propio que sólo tiene significado local al router
2. Enumeración de las redes conectadas que formarán parte en el proceso de enrutamiento, indicando para cada una de ellas

- a. La dirección de red
- b. La máscara, en formato complementado a las máscaras de subred
- c. Un identificador de área OSPF. Número entero que coincidirá en todos los routers del área de enrutamiento que compartan información sobre el estado de los enlaces

En OSPF cada router tiene que tener una identificación propia e inequívoca que coincide, en el caso de los routers de Cisco, con el siguiente orden de precedencia:

1. La dirección IP configurada expresamente con tal fin (comando `router-id`).
2. Si no se configura expresamente, la dirección IP más alta de cualquier de sus *interfaces de loopback* (son interfaces software activadas en cada router con el propósito de simular otras redes no existentes físicamente).
3. Si no se ha configurado ninguna interfaz de loopback, la dirección IP más alta de cualquiera de sus interfaces físicas activas.

El coste OSPF de una ruta es un valor entero que se obtiene sumando los costes individuales de cada uno de los enlaces que forman parte de la ruta. El coste individual de un enlace en los routers de Cisco tiene un valor de referencia de  $10^8$  por defecto.

Tipo de interfaz	$10^8/\text{bps} = \text{Costo}$
Fast Ethernet y más rápida	$10^8/100\ 000\ 000\ \text{bps} = 1$
Ethernet	$10^8/10\ 000\ 000\ \text{bps} = 10$
E1	$10^8/2\ 048\ 000\ \text{bps} = 48$
T1	$10^8/1\ 544\ 000\ \text{bps} = 64$
128 kbps	$10^8/128\ 000\ \text{bps} = 781$
64 kbps	$10^8/64\ 000\ \text{bps} = 1562$
56 kbps	$10^8/56\ 000\ \text{bps} = 1785$

Figura 8: Valores del costo de los distintos tipos de enlace en los routers Cisco

### 3. ACTIVIDADES

#### 3.1. Configuración, activación y análisis del protocolo RIP

Utilizando el simulador Cisco Packet Tracer, cree la topología de red que se muestra en el esquema siguiente y que se corresponde con la utilizada en la práctica anterior. Configure los parámetros de red de acuerdo con las indicaciones del esquema para las siete redes presentes. Compruebe la conectividad entre los host de una misma red y verifique que las tablas de enrutamiento de los routers incluyen las entradas correspondientes a las redes conectadas.

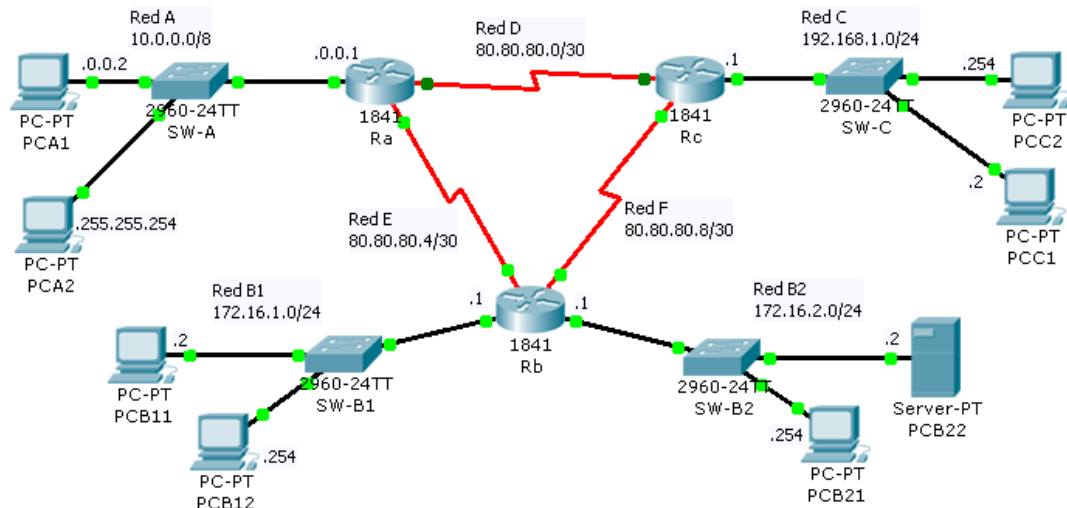


Figura 9: Esquema de topología para análisis del protocolo RIP

Dispositivo	Interfaz	Red	Dirección IP	Máscara	Gateway
Router Ra	Fa0/0	A	10.0.0.1	255.0.0.0	---
	S0/0/0	D	200.0.1.1	255.0.0.0	---
	S0/0/1	E	200.0.2.1	255.0.0.0	---
Router Rb	Fa0/0	B1	172.16.1.1	255.255.255.0	---
	Fa0/1	B2	172.16.2.1	255.255.255.0	---
	S0/0/0	E	200.0.2.2	255.255.255.252	---
	S0/0/1	F	200.0.3.1	255.255.255.252	---
Router Rc	Fa0/0	C	192.168.1.1	255.255.255.0	---
	S0/0/0	D	200.0.1.2	255.255.255.252	---
	S0/0/0	F	200.0.3.2	255.255.255.252	---
PCA1	NIC	A	10.0.0.2	255.0.0.0	10.0.0.1
PCA2	NIC	A	10.255.255.254	255.0.0.0	10.0.0.1
PCB11	NIC	B1	172.16.1.2	255.255.255.0	172.16.1.1
PCB12	NIC	B1	172.16.1.254	255.255.255.0	172.16.1.1
PCB21	NIC	B2	172.16.2.2	255.255.255.0	172.16.2.1
PCB22	NIC	B2	172.16.2.254	255.255.255.0	172.16.2.1
PCC1	NIC	C	192.168.1.2	255.255.255.0	192.168.1.1
PCC2	NIC	C	192.168.1.254	255.255.255.0	192.168.1.1

Tabla 1: Esquema de direccionamiento IP de la red

La activación del protocolo RIP debe llevarse a cabo en cada uno de los routers bajo una administración común. El proceso es el que se describe a continuación:

1. Acceder a la programación del router en modo consola (CLI). El sistema mostrará el prompt con el nombre del equipo:  
Router>
2. Entrar en el modo de ejecución de usuario privilegiado  
Router> **enable**  
Router#



3. Entrar en el modo de configuración global  
Router# **configure terminal**  
Router(config)#
4. Activar el protocolo de enrutamiento RIP en su versión 2 (RIPv2) y sin realizar la  
sumarización de subredes  
Router(config)> **router rip**  
Router(config-router)# **version 2**  
Router(config-router)# **no auto-summary**  
Router(config-router)#
5. Señalar las interfaces que conectan a redes finales, en las que no hay ningún router,  
con objeto de que por ellas no se publiquen los broadcast del protocolo  
Router(config-router)# **passive-interface FastEthernet0/X**  
Router(config-router)# **passive-interface FastEthernet0/Y**  
Router(config-router)# **...**  
Router(config-router)#
6. Señalar las redes que conectan al router con sus vecinos para que sean destino de sus  
broadcast de publicación de la tabla de enrutamiento.  
Router(config-router)# **network XXX.XXX.XXX.XXX**  
Router(config-router)# **network XXX.XXX.XXX.XXX**  
Router(config-router)# **...**  
Router(config-router)#
7. Una vez finalizado el proceso de configuración del protocolo de enrutamiento, entre  
en el modo simulación y filtre los paquetes por protocolo RIP. Analice el tráfico RIP  
que se produce en la red.
8. Espere un tiempo prudencial antes de verificar que las tablas de enrutamiento de los  
routers han incorporado las rutas hasta las redes remotas. Observe el contenido de  
dichas tablas (analice los distintos campos y extraiga las conclusiones oportunas  
acerca de cada una de las entradas en esas tablas) utilizando la herramienta lupa del  
simulador Packet Tracer y desde la CLI de cada router mediante el siguiente  
comando:  
Router# **show ip route**
9. Como RIP es originalmente un protocolo de enrutamiento con clase, realiza por  
defecto procesos de sumarización de manera automática. Analice nuevamente las  
tablas de enrutamiento (con el comando del apartado anterior) centrándose en el  
análisis de las entradas cuyo destino son las subredes B1 y B2, después de haber  
reactivado la sumarización de rutas:  
Router(config-router)# **auto-summary**
10. Desconecte una de las interfaces serie de uno de los routers de manera que el enlace  
correspondiente aparezca caído. Tras el correspondiente proceso de convergencia,  
analice cómo han actualizado los tres routers su tabla de enrutamiento según las  
nuevas circunstancias de la red. Observe que se mantiene la conectividad entre todos  
los equipos pero el coste de alcanzar las redes no adyacentes ha aumentado.

11. Amplíe la red de acuerdo con el esquema que se muestra en la **Figura 9** y, tras programar adecuadamente el protocolo RIP en todos los routers y esperar a la convergencia de los mismos, verifique la conectividad entre todos los host y analice las nuevas entradas en las tablas de enrutamiento.

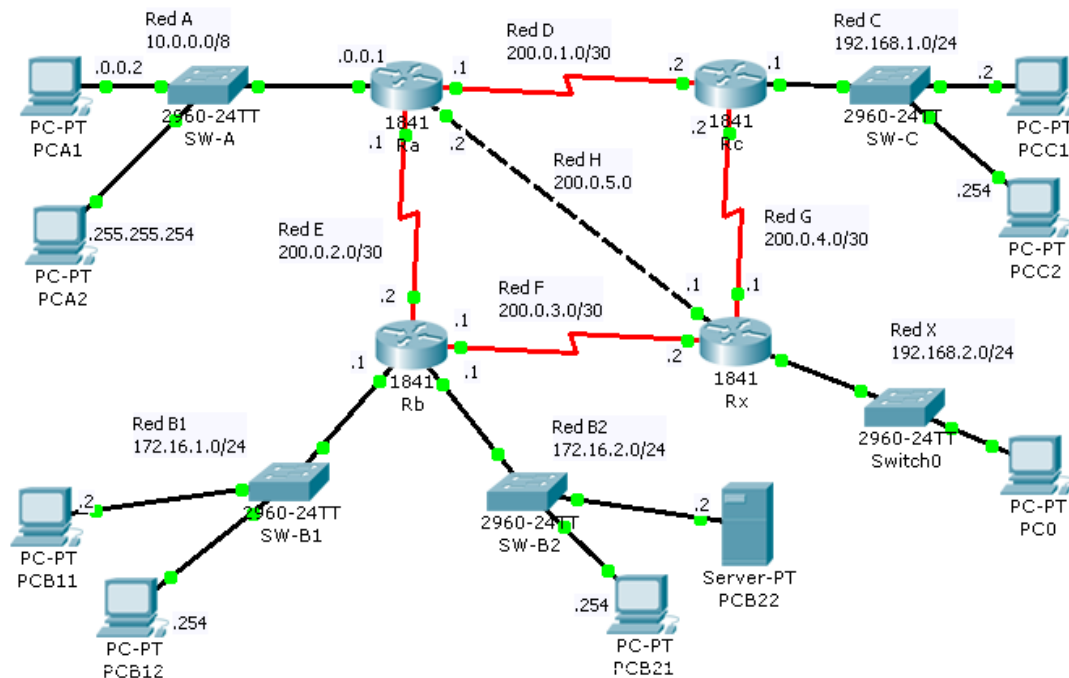


Figura 10. Propuesta de topología ampliada para analizar el protocolo RIP

### 3.2. Configuración, activación y análisis del protocolo OSPF

Utilizando el simulador Cisco Packet Tracer, cree la topología de red que se muestra en el esquema de la **Figura 11**. Observe que cambian los tipos de enlace entre los routers. Para poder disponer de las conexiones señaladas en ese esquema, es necesario incluir en los routers Rb y Rc el módulo WIC-1ENET, que proporciona una conexión Ethernet (10BASE-T), para ello es necesario acceder a la pestaña de configuración física, apagar el router e insertar el módulo antes de volver a conectarlo. Configure el enlace serie entre Ra y Rb con la velocidad señalada. El enlace de las redes D y F debe realizarse mediante cable cruzado.

Se mantiene el mismo esquema de direccionamiento que el mostrado en la **Tabla 1** pero cambian los tipos y velocidades de los enlaces entre routers:

Enlace	Red	Tipo de enlace	Velocidad
Ra-Rc	D	FastEthernet	100 Mbps
Ra-Rb	E	Serie	4 Mbps
Rb-Rc	F	Ethernet	10 Mbps

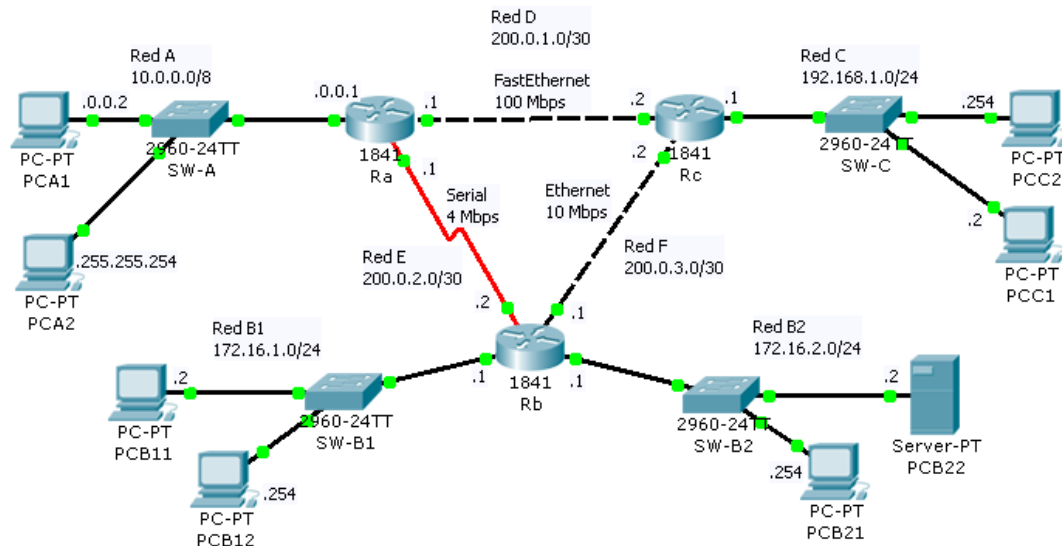


Figura 11: Esquema de topología de red para análisis del protocolo OSPF

La activación del protocolo OSPF debe llevarse a cabo en cada uno de los routers bajo una administración común. El proceso es el que se describe a continuación:

1. Acceder a la programación del router en modo consola (CLI). El sistema mostrará el prompt con el nombre del equipo:  
Router>
2. Entrar en el modo de ejecución de usuario privilegiado  
Router> **enable**  
Router#
3. Entrar en el modo de configuración global:  
Router# **configure terminal**  
Router(config)#
4. Activar el protocolo de enrutamiento OSPF asignándole un identificador de proceso:  
Router(config)> **router ospf 1**  
Router(config-router)#
5. Incluya cada una de las redes en las notificaciones OSPF, para lo cual debe introducir el comando correspondiente incluyendo la dirección de red y la máscara correspondiente, en formato complementado. El comando requiere la inclusión del código identificador de área (cero, en nuestro caso).  
Router(config-router)# **network X.X.X.X M.M.M.M area 0**  
Router(config-router)# **network Y.Y.Y.Y N.N.N.N area 0**  
Router(config-router)# ...
6. Finalice la configuración del protocolo OSPF para el router sobre el que se está operando.  
Router(config-router)# **end**  
Router#

7. Una vez finalizado el proceso de configuración del protocolo de enrutamiento, espere un tiempo prudencial antes de verificar que las tablas de enrutamiento de los routers han incorporado las rutas hasta las redes remotas. Observe el contenido de dichas tablas (analice los distintos campos y extraiga las conclusiones oportunas acerca de cada una de las entradas en esas tablas) utilizando la herramienta lupa del simulador Packet Tracer y desde la CLI de cada router mediante el siguiente comando:

```
Router# show ip route
```

#### **4. CONCLUSIONES**

El alumno debe analizar los resultados obtenidos en cada una de las actividades propuestas, así como de aquellas otras que estime necesarias para comprender el modo de operar de los protocolos de enrutamiento vistos en esta práctica.