

**Redes de comunicación**

**Protocolos de Enrutamiento y Aplicaciones**

|  |  |
| --- | --- |
| **Estudiante** | **Carnet** |
| Francisco Ernesto Ruano Torres | RT243331 |
| Cesar Alejandro Lara Franco | LL202677 |

**Fecha:** 26 de Mayo del 2025

**Docente:** Carlos Hércules

**Introducción**

Las redes de comunicación son la columna vertebral de la sociedad digital: transportan datos, voz y video que sostienen operaciones empresariales, servicios públicos, investigación académica y la vida cotidiana de millones de personas.

En la era digital actual, la red se ha consolidado como el pilar de la comunicación y de innumerables procesos empresariales y académicos. La evolución vertiginosa de las tecnologías de interconexión exige optimizar continuamente la manera en que diseñamos, administramos y aseguramos nuestras infraestructuras. Partiendo de esta premisa, la presente investigación examina en profundidad los principales protocolos de enrutamiento dinámico: RIP (Routing Information Protocol), OSPF (Open Shortest Path First), EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol) y BGP (Border Gateway Protocol). Cada uno de ellos responde a necesidades, topologías y objetivos operativos distintos—desde redes locales pequeñas hasta interconexiones a escala global—por lo que analizaremos sus algoritmos de convergencia, métricas, mecanismos de detección de fallos, requisitos de escalabilidad y consideraciones de seguridad. Asimismo, se incluyen estudios de caso y los retos comunes en entornos reales, facilitando así una comprensión aplicada y comparativa de estas tecnologías esenciales para la ingeniería de redes moderna.

**Objetivo general**

Analizar comparativamente los protocolos de enrutamiento dinámico RIP, OSPF, EIGRP y BGP para proponer lineamientos que optimicen la eficiencia, escalabilidad y seguridad de infraestructuras de red en entornos empresariales y académicos.

**Objetivos específicos**

* Caracterizar las métricas y algoritmos de cálculo de rutas de RIP, OSPF, EIGRP y BGP, identificando sus ventajas y limitaciones en escenarios de routing interno y externo.
* Validar mediante pruebas controladas criterios de resiliencia aplicables a redes de distinta magnitud.

**Marco teórico**

**Conceptos de Protocolos de Enrutamiento**

Un protocolo de enrutamiento es un conjunto de reglas que especifican cómo los enrutadores identifican y reenvían paquetes a lo largo de una ruta de red. Los protocolos de enrutamiento se agrupan en dos categorías distintas: protocolos de puerta de enlace interior y protocolos de puerta de enlace exterior.

Los protocolos de enrutamiento administran la actividad de enrutamiento en un sistema. Los enrutadores intercambian información de enrutamiento con otros hosts para mantener las rutas conocidas a las redes remotas. Tanto los enrutadores como los hosts pueden ejecutar protocolos de enrutamiento. Los protocolos de enrutamiento del host se comunican con los daemons de enrutamiento de otros enrutadores y hosts.

Estos protocolos ayudan al host a determinar a dónde enviar los paquetes. Cuando las interfaces de red están activas, el sistema automáticamente se comunica con los daemons de enrutamiento. Estos daemons supervisan los enrutadores de la red y anuncian las direcciones de los enrutadores a los hosts de la red local.

**Clasificación (Interior / Exterior)**

Interior: Estos protocolos evalúan el sistema autónomo y toman decisiones de enrutamiento en función de diferentes métricas, como las siguientes:

* Recuentos de saltos o la cantidad de enrutadores entre el origen y el destino
* Retraso o tiempo necesario para enviar los datos desde el origen al destino
* Ancho de banda o la capacidad de enlace entre el origen y el destino

Los protocolos de este tipo son:

* RIP
* OSPF
* EIGRP

Exterior: El protocolo de puerta de enlace fronteriza (BGP) es el único protocolo de puerta de enlace externa.

BGP define la comunicación a través de Internet. Internet es una gran colección de sistemas autónomos, todos conectados entre sí. Cada sistema autónomo tiene un número de sistema autónomo (ASN) que obtiene al registrarse en la Autoridad de números asignados de Internet.

**Protocolo RIP**

El Protocolo de Información de Enrutamiento (RIP) es un protocolo de vector de distancia que utiliza el conteo de saltos como métrica principal. RIP define cómo los enrutadores deben compartir información al transferir tráfico entre un grupo interconectado de redes de área local.

¿Cómo funciona RIP?

RIP utiliza un algoritmo de vector de distancia para decidir la ruta por la que se debe enviar un paquete para que llegue a su destino. Cada enrutador RIP mantiene una tabla de enrutamiento que lista todos los destinos que sabe alcanzar y la transmite a sus vecinos más cercanos cada 30 segundos. En este contexto, los vecinos son los demás enrutadores a los que el primer enrutador se conecta directamente. Esto solo incluye los demás enrutadores en los mismos segmentos de red que el enrutador seleccionado. Los vecinos, a su vez, pasan la información a sus vecinos más cercanos, y así sucesivamente, hasta que todos los hosts RIP de la red tengan el mismo conocimiento de las rutas de enrutamiento.

Si un router recibe una actualización de una ruta y la nueva ruta es más corta, actualiza la entrada de su tabla con la longitud de la ruta más corta y la dirección del siguiente salto. Si la nueva ruta es más larga, espera un periodo de espera para comprobar si las actualizaciones posteriores también reflejan el valor más alto. Solo actualiza la entrada de la tabla si determina que la nueva ruta, más larga, es estable.

Si un enrutador falla o se interrumpe la conexión de red, el enrutador deja de enviar y recibir actualizaciones hacia o desde sus vecinos, o a través de la conexión interrumpida

Existen tres versiones del Protocolo de información de enrutamiento:

RIPv1. Estandarizado en 1988, RIPv1 también se conoce como protocolo de enrutamiento con clase , ya que no envía información de máscara de subred en sus actualizaciones de enrutamiento. RIPv1 determina las rutas según el destino del Protocolo de Internet (IP) y el número de saltos. La tabla de enrutamiento se transmite a todas las estaciones de la red conectada.

RIPv2. Estandarizado en 1998, RIPv2 también es un protocolo de enrutamiento sin clases, ya que envía información de máscara de subred en sus actualizaciones de enrutamiento. RIPv2 avanzó el método de enrutamiento de RIPv1 e incluyó máscaras de subred y puertas de enlace. RIPv2 envía la tabla de enrutamiento a una dirección de multidifusión para reducir el tráfico de red. Además, RIPv2 utiliza autenticación para mayor seguridad, una característica ausente en RIPv1.

RIPng. RIPng es una extensión de RIPv2 diseñada para soportar IPv6 , ya que las versiones anteriores solo funcionaban en IPv4.

Los temporizadores RIP ayudan a regular el rendimiento. Incluyen lo siguiente:

Temporizador de actualización. Esta es la frecuencia de las actualizaciones de enrutamiento. Cada 30 segundos, IP RIP envía una copia completa de su tabla de enrutamiento, sujeta a un horizonte dividido . El intercambio de paquetes entre redes RIP se realiza cada 60 segundos.

Temporizador inválido. Esto se debe a la ausencia de contenido actualizado en una actualización de ruta. RIP espera 180 segundos para marcar una ruta como inválida y la pone inmediatamente en espera.

Temporizadores de espera y actualizaciones activadas. Esto contribuye a la estabilidad de la ruta en un entorno Cisco. Las esperas garantizan que los mensajes de actualización regulares no provoquen un bucle de enrutamiento indebido. El enrutador no actúa sobre información nueva ni superior durante un período específico. El tiempo de espera de RIP es de 180 segundos.

Temporizador de vaciado. RIP espera 240 segundos adicionales después de mantener presionada la tecla antes de eliminar la ruta de la tabla.

**Protocolo EIGRP**

¿Qué es el EIGRP?

EIGRP es una versión mejorada de IGRP. La tecnología de vector de igual distancia que se usa en IGRP también se emplea en EIGRP. Además, la información de la distancia subyacente no presenta cambios. Las propiedades de convergencia y la eficacia de operación de este protocolo han mejorado significativamente. Esto permite una arquitectura mejorada y, a la vez, retiene la inversión existente en IGRP.

El algoritmo de actualización difusa (DUAL) es el algoritmo que se utiliza para asegurar que no haya bucles en cada instancia a través del cómputo de una ruta. Esto les permite a todos los routers involucrados en una topología cambiar para sincronizarse al mismo tiempo. EIGRP ha sido extendido para que sea independiente del protocolo de la capa de red, y así permita que DUAL soporte otros conjuntos de protocolos.

¿Cómo funciona EIGRP? EIGRP tiene cuatro componentes básicos:

* Recuperación/Detección de vecino
* Protocolo de transporte confiable
* Máquina de estados finitos DUAL
* Módulos dependientes del protocolo

La detección o recuperación de vecinos es el proceso que utilizan los routers para aprender dinámicamente de otros routers conectados directamente a sus redes. Los routers también deben detectar cuando sus vecinos se vuelven inalcanzables o dejan de funcionar.

La máquina de estados finitos DUAL contiene el proceso de decisión de todos los cálculos de rutas. Rastrea todas las rutas anunciadas por todos los vecinos. La información de distancia, conocida como métrica, se usa mediante DUAL para seleccionar trayectos eficientes sin loops. DUAL selecciona las rutas que se insertarán en una tabla de ruteo, según los sucesores factibles. Un sucesor es un router vecino utilizado para el reenvío de paquetes que tenga el trayecto de menor costo a un destino que no es parte de un loop de ruteo. Cuando no existen sucesores factibles, pero si hay vecinos que anuncian el destino, se debe realizar un recálculo.

Los módulos que dependen del protocolo son responsables de los requisitos específicos del protocolo de capa de red. Por ejemplo, el módulo IP-EIGRP es responsable del envío y de la recepción de paquetes EIGRP que son encapsulados en IP. IP-EIGRP es responsable de analizar los paquetes EIGRP e informar a DUAL sobre los nuevos datos recibidos. IP-EIGRP solicita a DUAL efectuar decisiones de ruteo, cuyos resultados se almacenan en la tabla de IP Routing. IP-EIGRP es responsable de redistribuir las rutas aprendidas en otros protocolos de IP Routing.

Conceptos EIGRP:

Tabla de vecino: Cada router conserva información de estado de los vecinos adyacentes. Cuando se reconoce a los vecinos recientemente detectados, se registra la dirección y la interfaz del vecino. Esta información está almacenada en la estructura de datos del vecino. Cuando un vecino envía un saludo, anuncia un tiempo de espera. HoldTime es la cantidad de tiempo que un router considera a un vecino como alcanzable y en funcionamiento. Cuando la retención de tiempo caduca, se informa a DUAL sobre el cambio en la topología.

Tabla de topología: La Tabla de tipologías se completa mediante los módulos dependientes del protocolo y la máquina de estados finitos DUAL la pone en práctica. Contiene todos los destinos anunciados por los routers vecinos. Con cada entrada, está asociada la dirección de destino y una lista de vecinos que han anunciado el destino. Para cada vecino, se registra la métrica anunciada. Esta es la métrica que el vecino almacena en su tabla de ruteo. Si el vecino avisa este destino, debe estar utilizando la ruta para reenviar paquetes. Ésta es una regla importante que deben cumplir los protocolos del vector de distancia.

Sucesores factibles: Una entrada de destino se mueve desde la tabla de topología hasta la tabla de ruteo cuando existe un sucesor posible. Todos los trayectos de costo mínimo para un destino forman un conjunto. A partir de esto, los vecinos que tienen una medición anunciada menor que la medición de tabla de ruteo actual son considerados sucesores factibles.

Estados de ruta: Una entrada de la tabla de topología para un destino puede tener uno de dos estados. Se considera que una ruta se encuentra en estado pasivo cuando un router no efectúa un recálculo de ruta. Por el contrario, la ruta se encuentra en estado activo cuando un router está siendo objeto de un recálculo de ruta. Si siempre hay sucesores factibles, esa ruta nunca tiene que pasar al estado Activo y evita un nuevo cálculo de la ruta.

Formatos de paquetes. EIGRP utiliza cinco tipos de paquetes:

* Saludo/Acuse de recibo
* Actualizaciones
* Consultas
* Respuestas
* Solicitudes

Marcado de rutas: EIGRP tiene la noción de rutas internas y externas. Rutas internas son aquellas que se originaron dentro de un sistema autónomo (AS) EIGRP. Por lo tanto, una red conectada en forma directa y configurada para ejecutar EIGRP se considera una ruta interna y se propaga junto con esta información a través del AS EIGRP. Las rutas externas son aquéllas que han sido detectadas por otro protocolo de routing o residen en la tabla de routing como rutas estáticas. Estas rutas son etiquetadas individualmente con la identidad de su origen.

Las rutas externas se etiquetan con esta información:

* El ID del router EIGRP que ha redistribuido la ruta.
* El número de AS en el que reside el destino.
* Un indicador de administrador configurable.
* La ID de protocolo del protocolo externo.
* La métrica del protocolo externo.
* Indicadores de bit para ruteo predeterminado.

Compatibility Mode (Modo Compatibilidad)

EIGRP es compatible con los routers IGRP y puede interoperar con ellos. Se trata de un punto importante, ya que de esta manera los usuarios pueden sacar provecho de ambos protocolos. Las funciones de compatibilidad no requieren que los usuarios tengan un día de indicación para activar EIGRP. EIGRP se puede habilitar cuidadosamente en lugares estratégicos sin la interrupción en el rendimiento de IGRP.

**Análisis Comparativo**

|  |  |
| --- | --- |
| **Protocolo** | **Ventajas** |
| **RIP** | El protocolo RIP es ideal para redes pequeñas: es fácil de entender y configurar.  Está garantizado que el enrutamiento RIP es compatible con casi todos los routers.  El RIP no requiere una actualización cada vez que la topología de la red cambia. |
| **OSPF** | El protocolo de enrutamiento OSPF tiene un conocimiento completo de la topología de la red, lo que permite a los routers calcular las rutas en función de las solicitudes entrantes.  El protocolo OSPF no tiene limitaciones en el número de saltos, a diferencia del protocolo RIP que sólo tiene 15 saltos como máximo. Por tanto, el OSPF converge más rápido que el RIP y tiene un mejor equilibrio de carga.  El OSPF realiza la multidifusión de las actualizaciones de estado de enlace y envía las actualizaciones sólo cuando hay un cambio en la red. |
| **EIGRP** | DUAL es una de las características principales de EIGRP. DUAL distribuye la computación de routing entre varios routers.  El algoritmo DUAL se utiliza para asegurar una red libre de bucles. El FS es escogido sólo porque tiene una métrica menor. Esto proporciona una red libre de bucles.  EIGRP envía actualizaciones parciales y no periódicas. Esto significa que cuando hay un cambio se envía la actualización con únicamente la información que ha sido modificada. |
| **BGP** | BGP es altamente escalable y admite redes a gran escala con miles de enrutadores y múltiples sistemas autónomos (AS).  BGP está diseñado específicamente para el enrutamiento entre sistemas autónomos (AS), lo que permite la comunicación y el enrutamiento entre diferentes redes y dominios en Internet.  BGP admite las familias de direcciones IPv4 e IPv6, lo que permite el enrutamiento en redes que utilizan cualquiera de las dos versiones de IP. Los enrutadores BGP pueden intercambiar información de enrutamiento para redes IPv4 e IPv6 simultáneamente, lo que facilita la transición a IPv6. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Protocolo** | **Desventajas** |
| **RIP** | El RIP puede crear un cuello de botella en el tráfico ya que emite sus actualizaciones cada 30 segundos.  El recuento de saltos del RIP está limitado a 15 saltos, por lo que cualquier router más allá de esta distancia se considera infinito y, por tanto, inalcanzable.  La velocidad de convergencia es lenta. Cuando un enlace se cae, se necesita mucho tiempo para elegir rutas alternativas. |
| **OSPF** | El protocolo OSPF requiere conocimientos avanzados sobre redes complejas, por lo que no es tan fácil de aprender como otros protocolos.  El enrutamiento OSPF no escala cuando se añaden más routers a la red, esto lo hace inadecuado para el enrutamiento a través de Internet.  El protocolo OSPF mantiene múltiples copias de la información de enrutamiento, por lo que necesita una mayor cantidad de memoria. |
| **EIGRP** | Aunque Cisco publicó partes de EIGRP como estándar, no está completamente documentado, por lo que sigue siendo usado casi exclusivamente en redes con dispositivos Cisco.  No se adapta tan bien como OSPF a redes jerárquicas muy grandes. EIGRP no tiene un concepto nativo de áreas, lo que puede dificultar el diseño modular de redes muy extensas.  Funciona bien con configuraciones básicas, pero tareas como la redistribución con otros protocolos, ajuste de métricas o balanceo de carga pueden ser complicadas. |
| **BGP** | BGP es un protocolo complejo con numerosas opciones de configuración y atributos, lo que dificulta su configuración y resolución de problemas, especialmente para administradores de red principiantes. Comprender BGP requiere un profundo conocimiento de los conceptos y políticas de enrutamiento.  Si bien la convergencia lenta puede ser ventajosa para la estabilidad, también puede ser una desventaja en escenarios donde se requieren cambios rápidos en el enrutamiento. El mecanismo de convergencia lenta de BGP puede generar tiempos de convergencia más largos en comparación con los protocolos de puerta de enlace interior (IGP) como OSPF o EIGRP.  BGP es vulnerable a diversas amenazas de seguridad, como el secuestro de rutas, las fugas de rutas y los ataques de denegación de servicio (DoS). |

|  |  |
| --- | --- |
| **Protocolo** | **Aplicaciones** |
| **RIP** | Redes pequeñas o educativas  Ambientes simples con pocos cambios  Laboratorios |
| **OSPF** | Redes empresariales grandes  Ambientes heterogéneos (multi-vendor)  ISP internos y campus universitarios |
| **EIGRP** | Redes medianas con equipos Cisco  Empresas con topologías estables  Migraciones internas en Cisco |
| **BGP** | Interconexión entre ISPs (Internet)  Enrutamiento entre organizaciones (inter-AS)  Redes con múltiples rutas de salida a Internet (multi-homing) |

**Conclusión**

El estudio comparativo de los protocolos de enrutamiento RIP, OSPF, EIGRP y BGP demuestra que cada uno responde a necesidades específicas dentro de las redes de comunicación modernas. RIP, con su simplicidad y bajo consumo de recursos, es útil en redes pequeñas o educativas, pero su lentitud de convergencia y limitación en el número de saltos lo hacen ineficiente en entornos complejos. OSPF, por otro lado, ofrece una mayor escalabilidad y velocidad de convergencia, ideal para grandes redes empresariales, aunque requiere mayor conocimiento técnico y recursos.

EIGRP representa un equilibrio entre rendimiento y facilidad de implementación en redes medianas, especialmente en entornos Cisco, pero su naturaleza parcialmente propietaria y limitaciones en escalabilidad jerárquica son aspectos a considerar. Finalmente, BGP se posiciona como la columna vertebral del enrutamiento global de Internet, destacando por su robustez, control de políticas y escalabilidad, a costa de una mayor complejidad y una convergencia más lenta.

El caso de estudio de Cisco ilustra cómo la combinación estratégica de estos protocolos puede ofrecer una red híbrida eficiente, resiliente y segura, adaptada a diversas topologías y demandas. Así, el diseño e implementación adecuada de protocolos de enrutamiento no solo mejora la conectividad, sino que también optimiza la administración, la seguridad y el rendimiento de las redes modernas.

**Recomendaciones**

Para futuras implementaciones de protocolos de enrutamiento, se recomienda seleccionar el protocolo más adecuado según el tamaño, topología y objetivos de la red. En entornos pequeños puede utilizarse RIP por su simplicidad, mientras que redes medianas se benefician de la eficiencia de EIGRP, y redes grandes o interconectadas requieren la escalabilidad y control que ofrecen OSPF o BGP.

Es fundamental priorizar la interoperabilidad cuando se utilizan equipos de distintos fabricantes, optando por protocolos estándar como OSPF y BGP. Además, se debe reforzar la seguridad mediante autenticación, políticas de filtrado y monitoreo constante del enrutamiento. Finalmente, es conveniente mantener una cultura de actualización y estudio, evaluando regularmente nuevas tecnologías y mejores prácticas en redes.