

Introducció als encaminadors

Funcionalitats comunes d'un "router"

Les característiques i les prestacions dels encaminadors depenen dels diferents models i fabricants del mercat. A continuació es presenten les més comunes, però n'hi ha moltes altres:

***Encaminament:** El que defineix un router com a tal. Consisteix en la capacitat de dirigir un paquet basant-se en l'adreça IP de destinació (i en el coneixement que té de les xarxes del voltant). Cal tenir en compte, però, que un encaminador no decideix la ruta sencera del paquet sinó només el següent salt (hop) per arribar al següent encaminador. Així, el camí que fa un paquet des de que surt l'emissor està format per un conjunt d'encaminadors que "es van passant" el paquet d'un a l'altre fins arribar al receptor. La clau està en que cada encaminador ha de decidir quin és el millor encaminador següent d'entre tots els possibles per poder acabar arribant (sovint després de varis salts) a un destí llunyà.

Podríem dividir la transmissió d'un paquet IP a través d'un encaminador en 3 processos: l'encaminament pròpiament dit (responsable de seleccionar la interfície de sortida a través de la qual es reenviarà el paquet un cop decidit el següent salt), la commutació efectiva del paquet entre la interfície d'entrada i la de sortida (la qual es pot realitzar internament mitjançant diferents tècniques, com l'anomenada "process switching", la "fast switching", etc) i el procés d'encapsulació.

En el primer procés, el d'encaminament, es fa ús de l'anomenada "taula d'encaminament" per decidir quin és el millor salt per seguir avançant en la ruta. Aquesta taula posseeix informació limitada però suficient per arribar a qualsevol destí que estigui interconnectat. El seu contingut es pot introduir manualment a la seva configuració (són les anomenades "rutes estàtiques") o bé es pot generar a partir de l'ús de determinats protocols que actualitzen automàticament la taula en detectar canvis de topologia (són les anomenades "rutes dinàmiques"); alguns d'aquests protocols són l'anomenat **RIP** (Routing Information Protocol) o el **OSPF** (Open Shortest Path First), entre altres. El dispositius finals també disposen d'una taula d'encaminament pròpia, la qual, no obstant, sol tenir un contingut força minso...molts cops només conté una salt: el de la porta d'enllaç per defecte.

L'últim procés, el de reencapsulació, consisteix en la substitució de la capçalera de nivell 2 del paquet entrant per la capçalera de nivell 2 corresponent al tipus d'interfície de sortida, la qual pot ser Ethernet, ADSL, Fibra, etc. En qualsevol cas, les direccions MAC de l'origen i del destí se substitueixen per, respectivament, la direcció MAC del router actual i la direcció MAC del següent salt (en canvi, les direccions IP d'origen i de destí originals no varien perquè estan emmagatzemades a la capçalera de nivell 3 i aquesta no es toca a no ser que el "router" implementi NAT).

***NAT (Network Address Translation):** Si l'encaminador implementa aquesta funcionalitat, permetrà que múltiples equips clients d'una LAN tinguin accés a una altra xarxa (generalment la pertanyent al ISP contractat) amb una mateixa i única adreça, la pública del router -és el que se'n diu SNAT- i també que es pugui direccionar el trànsit extern (generalment públic) a un host determinat de la xarxa interna -és el que se'n diu DNAT o també "port forwarding" o "port mapping"-.

L'adreça IP pública del router (assignada a la seva tarja que està "de cara enfora") és proporcionada pel ISP contractat, el qual proporciona a més una porta d'enllaç per defecte (de la seva pròpia infraestructura) i un servidor DNS (propietat seva també). La IP pública assignada sol ser dinàmica, actuant doncs el router com un client DHCP de l'ISP en qüestió.

NOTA: Si es vol que la IP proporcionada pel ISP sigui estàtica, caldrà pagar un sobrecoast a l'ISP (sempre i quan ofereixi aquesta opció, que no sempre passa). Això és un problema si volem tenir un servidor obert a l'accés des de la xarxa pública (és a dir, si volem fer DNAT), perquè la IP del router pot canviar de tant en tant; per sol·lucionar aquest inconvenient es pot fer ús de serveis de DNS dinàmics (de franc) com <http://www.noip.com>

***Mòdem:** Un "mòdem" és un dispositiu que transforma un tipus de senyal elèctrica/òptica en una altra. Tots els "routers domèstics" que transformen la senyal transmesa per WiFi o Ethernet de la nostra LAN a la senyal transmesa per xDSL -és a dir, cable de coure telefònic-, fibra òptica o cable coaxial (que són les tres tecnologies WAN més habituals) són capaços de fer això perquè incorporen dins seu un chip que fa les tasques de modulació/demodulació (d'aquí el seu nom) necessàries per transformar la senyal convenientment segons el medi per on viatgi.

NOTA: En el cas concret de què el tipus de cable WAN sigui fibra òptica, al mòdem se sol anomenar "unitat ONT", i en el cas de què sigui cable coaxial, se sol anomenar "cable-mòdem".

***ACLs (Access Lists)** : Permeten filtrar el trànsit de la xarxa basant-se en les adreces IP, els números de port o els protocols de capa 3 que s'utilitzen. És el que generalment se'n diu "tallafocs". Depenent del model, també poden filtrar protocols de capa 4 analitzant els patrons de contingut dels paquets (és el que se'n diu "**DPI**", de "Deep Packet Inspection"). Models de gama alta poden incorporar també un **IDS** (Intrusion Detection System), el qual consisteix en un sistema que analitza el trànsit buscant -i bloquejant en el cas que trobi- paquets maliciosos coneguts, basant-se en una base de dades d'atacs que cal actualitzar-la periòdicament.

***Servidor DHCP:** Aquesta capacitat permet assignar adreces IP a les màquines clients de la LAN (a través de la tarja del router ubicada "de fora endins"). El rang d'IPs privades a assignar es pot escollir lliurement (sempre que pertanyi a la mateixa xarxa que la de la IP fixa del propi router) però la porta d'enllaç a establir es correspondrà sempre amb la pròpia IP del router i el servidor DNS serà per defecte el configurat en el mateix router, propi de l'ISP

***Switch integrat:** Molts routers tenen "per un costat" un enllaç de banda ampla (ADSL, fibra, etc) i per l'altra tenen incorporat un switch LAN generalment FastEthernet (100Mbps) -o en alguns casos GigabitEthernet (1Gbps)- que sol tenir 4 ports i que no requereix configuració addicional

***Punt d'accés (AP):** Un "punt d'accés" no és més que una manera de dir "switch WiFi". Si incorpora algun port RJ-45, també pot utilitzar-se com a punt de connexió entre una xarxa WiFi i una xarxa Ethernet. Sobre la possible configuració d'aquesta funcionalitat i els seus conceptes associats en parlarem més endavant

***Proxy:** Software dissenyat per actuar com a "gateway d'aplicacions"; és a dir, com a intermediari entre programes, reenviant peticions i respostes de/a clients i servidors. Permeten opcions de filtratge (a vegades anomenat "control parental") específics segons els protocols suportats; aquests poden ser força variats: poden haver proxiecs genèrics a nivell de protocol TCP i/o UDP (coneguts com "SOCKS") o proxiecs especialitzats en protocols més concrets de la capa d'aplicació, com ara HTTP. Aquesta funcionalitat no està present a tots els models.

***VPN (Virtual Private Network):** Aquesta funcionalitat xifra les comunicacions de l'encaminador amb un altre extrem a Internet, de forma que l'enllaç públic passa a ser virtualment privat. No està present a tots els models.

EXERCICIS:

1.-a) Vés a <http://www.movistar.es/particulares/atencion-cliente/internet/adsl/equipamiento-adsl/routers> i respon, després de trobar i llegir el Manual d'Usuari del dispositiu "Telnet Triwave", les següents preguntes:

- * ¿Aquest "router" ofereix funcionalitat VPN? ¿I servei DHCP?
- * ¿De quants ports Ethernet disposa per funcionar com a "switch"?
- * ¿Quina és la seva direcció IP LAN per defecte i el seu nom d'usuari/contrasenya per defecte necessari per iniciar sessió al seu panel web de control?

b) Després de llegir aquests articles introductoris <https://www.xataka.com/basics/que-router-neutro-sirve> i <https://gouforit.com/como-elegir-el-mejor-router-neutro-para-fibra-optica> (o la primera resposta en aquest fil de fòrum: <https://www.adslzone.net/postt38190.html>) i també <https://www.muycomputer.com/2019/07/31/router-neutro> i <https://www.xataka.com/basics/como-configurar-router-neutro-para-mejorar-tu-conexion>), digues què significa que un router estigui funcionant en mode "bridge" i què significa que un router sigui "neutre". En aquest sentit, ¿per què creus que seria interessant connectar (i com ho faries) el dispositiu ERPoe-5 (les característiques del qual es poden consultar a https://dl.ui.com/datasheets/edgemax/EdgeRouter_DS.pdf) a un router Movistar com el descrit aquí: <https://naseros.com/2017/08/03/como-configurar-el-router-de-movistar-en-modo-bridge> ?

NOTA: A <https://naseros.com/2017/02/01/configuracion-de-un-router-neutro-y-configuracion-de-las-vlan> podeu trobar un altre tutorial similar. També és molt il·lustratiu el següent vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=BZRBYSrr8t0>

Encaminament dinàmic

Introducció

La tasca principal de la capa 3 del model TCP/IP és trobar el millor camí entre l'origen i la destinació de la comunicació. Aquesta tasca la du a terme, com ja sabem, els dispositius que treballen a aquest nivell: els encaminadors, els quals analitzen l'adreça IP de destinació al paquet IP i, fent ús de les taules d'encaminament que tenen en memòria, decideixen per quina de les seves interfícies retransmetran el paquet.

L'administrador de la xarxa pot introduir de manera estàtica (és a dir, "manualment") la informació que hi ha d'haver dins de la taula d'encaminament d'un router (les anomenades "rutes") per a què aquest sàpiga a quin altre "router" ha de retransmetre un paquet que no té com a destí cap de les xarxes que l'encaminador coneix (per estar directament connectades a ell). Aquestes rutes estàtiques són perfectament vàlides però no es poden adaptar als canvis en la xarxa. Per exemple, si un encaminador de la xarxa es desconnecta, la configuració de rutes de la resta d'encaminadors es mantindrà invariable, encara que les seves rutes enviïn paquets per l'encaminador desconnectat. A més a més, en xarxes molt grans (com Internet), el cost de calcular les rutes fa inviable que l'administrador ho faci manualment.

Per aquests dos motius es van crear els protocols d'encaminament dinàmic, en què els encaminadors intercanvien contínuament paquets d'informació específica sobre la topologia i l'estat de la xarxa (els detalls dels quals seran diferents segons el protocol utilitzat) per tal de poder configurar ells mateixos de forma autònoma les rutes més òptimes que tindran configurades a cada moment. D'aquesta manera, si hi ha cap canvi en la xarxa (per exemple, si s'apaga un encaminador o bé aquest comença a funcionar molt lent), la propera vegada que s'executi el protocol recalculerà les rutes amb la nova informació de la topologia o estat de la xarxa i molt probablement escollirà una altra interfície com el millor camí a seguir pels paquets cap a la seva destinació; és per això que aquests protocols se'n diuen "autoadaptatius". No obstant, com que aquests protocols d'encaminament dinàmics s'executen en els encaminadors en temps real, no han de ser gaire complexos, atesa la limitació de recursos de CPU i memòria dels encaminadors.

NOTA: En realitat, els encaminadors no solen conèixer la topologia sencera de la xarxa i, per tant, no calculen el camí sencer fins a la destinació. Pensa en la grandària de la xarxa d'Internet: el cost de tenir tota la informació de xarxes i camins seria excessiva per a la majoria dels encaminadors. En realitat, el que calculen els encaminadors és simplement el salt següent del paquet IP, és a dir, la interfície del mateix encaminador per on han d'enviar els paquets rebuts perquè arribin a la destinació.

Concepte de mètrica

Els diferents algorismes d'encaminament intenten trobar sempre el camí més curt entre dos host en una xarxa però, què entenem per camí més curt? En les xarxes de computadors la distància física és un factor poc important per determinar el cost d'arribar fins a la destinació; s'utilitzen, en canvi, criteris diferents (que depenen de l'algoritme concret emprat): la quantitat de salts necessaris i/o la velocitat de la interfície (ample de banda) i/o la quantitat d'errors de la connexió i/o el retard i/o el trànsit mitjà de l'enllaç, etc són alguns exemples. Aquest diferents criteris es poden combinar amb una fórmula que determinarà la manera de calcular la distància per al càlcul de rutes, anomenada "mètrica". Això doncs, la mètrica determina com es calcula el cost de travessar un enllaç i serveix per trobar el camí òptim.

Tipus d'algoritmes d'encaminament

* Per inundació:

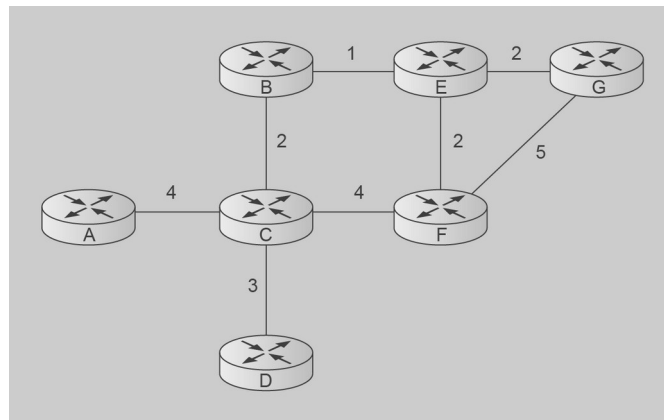
L'encaminament per inundació ("flooding" en anglès) és la tècnica d'encaminament més senzilla. Consisteix a retransmetre el paquet per totes les interfícies excepte per aquella per la qual s'ha rebut. El seu problema principal és que multiplica el paquet per totes les interfícies, la qual cosa genera una gran quantitat de paquets duplicats; per tant, és molt ineficient i fa servir molta amplada de banda de la xarxa. A més, en cas que en la topologia hi hagi bucles, els paquets es poden quedar donant voltes indefinidament en la xarxa (aquest problema, no obstant, se soluciona fent servir el camp TTL de la capçalera IP dels paquets).

De totes formes, els encaminadors solen enviar la seva informació d'encaminament per inundació la primera vegada que es posen en marxa ja que aquesta informació l'envien abans de tenir les rutes, per tant, quan encara no poden saber els camins per arribar a la resta d'encaminadors.

Es pot fer servir la inundació per comparació amb altres algorismes d'encaminament; de fet, la inundació sempre troba el camí més curt cap a la destinació (perquè els prova tots) encara que genera molt trànsit; per això es pot comprovar si un algorisme ha trobat el millor camí comparant el resultat amb el primer paquet que ha arribat per inundació.

* Per vector distància:

En l'encaminament per vector distància cada encaminador té una taula interna o "vector" que indica la distància mínima (o també dit el "cost" mínim) per arribar a cada possible destinació de la xarxa i per quina interfície de l'encaminador s'han de retransmetre els paquets per arribar a la seva destinació. L'encaminador retransmet aquesta taula als encaminadors veïns. Tots els encaminadors actualitzen el contingut de la seva taula amb la informació que han rebut dels veïns. Per entendre-ho millor, proposarem aquest esquema:



Al començament de l'algorisme, l'encaminador A únicament sap el cost d'arribar a C amb cost 4. Quan rebí el vector distància dels seus veïns (en aquest cas, C) rebirà la informació del cost d'arribar als veïns de C. El vector distància de C serà el que es veu en la taula següent:

Destinació	A	B	C	D	E	F	G
Cost	4	2	0	3	-	4	-

Sabent això, l'encaminador A pot calcular fàcilment el cost d'arribar als veïns de C. Per exemple, si a A li costa 4 arribar a C, i l'encaminador C anuncia que té B a una distància de 2, l'encaminador A pot deduir que pot arribar a B amb una distància de $4 + 2 = 6$.

Durant la primera execució de l'algorisme no tots els encaminadors tenen la informació sobre com s'arriba a tots els encaminadors de la xarxa. Per exemple, com que C no sap com arribar a G, A no ho sabrà des del començament. Però passades unes quantes iteracions d'actualitzacions -el període entre una i l'altra sol ser configurable- el resultat "convergeix". Per exemple, C haurà rebut l'actualització del vector distància de B, que haurà actualitzat el seu vector amb la informació del vector distància d'E, el qual sí que inclou com s'arriba a G; finalment aquesta informació també arribarà a A i D mitjançant l'actualització del vector distància de C.

NOTA: "Convergència" és el procés durant el qual els routers d'una interxarxa van actualitzant les seves taules d'encaminament respectives fins que creen una "vista" consistent de la xarxa, utilitzant cadascun d'ells el millor dels camins possibles. El "temps de convergència", doncs, és el temps que es triga en aconseguir que tots els enrutadors de la interxarxa coneguin els millors camins per arribar d'un punt a un altre qualsevol en un determinat moment; un dels objectius dels diferents protocols d'enrutament és minimitzar el més possible aquest temps de convergència en cas de canvis en la topologia de la xarxa.

La mètrica per calcular la distància ("cost") pot ser el nombre de salts, el retard, la taxa d'errors, etc. o una combinació d'aquests. Cada encaminador únicament sap directament el cost d'arribar als seus encaminadors veïns, la resta de costos l'obté per càlcul amb la informació del vector distància dels veïns.

L'algorisme de vector distància té el problema del compte a infinit, per al qual no s'ha trobat una solució definitiva. Aquest consisteix en el fet que quan es troba un camí millor per anar a un destinació, la xarxa convergeix ràpidament en la nova ruta. Però quan es passa d'un camí millor a un altre de més llarg (per exemple, perquè un dels encaminadors del camí original ha deixat de funcionar), a la xarxa li costa molt tornar a calcular la ruta, i els encaminadors incrementen els seus comptadors fins que arriben al valor màxim.

Protocols que implementen algorismes d'aquest tipus són **RIPv2** (Routing Information Protocol, estandaritzat al RFC 2453) o el **EIGRP** (Enhanced Interior Gateway Routing), aquest últim propietari de Cisco (i millora d'un altre, ja obsolet, anomenat IGRP). El primer utilitza una mètrica basada en el nombre de salts (fins un màxim de 15, més enllà dels quals la xarxa es considera "inabastable"; l'intercanvi d'informació entre encaminadors de les rutes conegudes per cadascun, d'altra banda, es fa automàticament sempre cada 30 segons mitjançant trànsit "multicast" en el port 520/UDP); el segon es va dissenyar per solucionar els problemes del RIP (com són precisament el comptador de quinze salts com a màxim, una mètrica d'encaminament única -el nombre de salts i prou- i un temps de convergència gran); en aquest sentit, EIGRP es pot utilitzar en xarxes més grans i amb diferents mètriques (amplada de banda, retard, fiabilitat, MTU...) però, no obstant, només entre encaminadors que siguin Cisco, així que no el veurem.

NOTA: Actualment la versió de RIP més habitual és RIPv2 (de "next generation"), definida al RFC 2080 i que simplement és una extensió del RIPv2 per donar suport a xarxes IPv6.

* D'estat d'enllaç:

L'algorisme d'estat d'enllaç, també conegut com de Dijkstra o SPF (Shortest Path First). Aquest algorisme es va dissenyar per solucionar les limitacions dels algorismes basats en el vector distància. Concretament, algunes dels avantatges que tenen són:

- *Redueix el consum de xarxa. Les actualitzacions periòdiques són petites perquè no s'envia tota la taula d'enrutament, només els canvis (ja que tots els encaminadors coneixen el mapa de la xarxa)
- *Temps curt de convergència. Com que es disposa de tot el mapa de xarxa quan cau una línia automàticament s'estableix una ruta alternativa sense demora.
- *Topologia sense bucles. No es permeten bucles d'encaminament; es fa una selecció de ruta amb l'algorisme SPF (shortest path first o primer el camí més curt) que determina el camí més curt a totes les destinacions.

L'algorisme de Dijkstra es pot explicar en 5 passos. Cada encaminador ha de fer periòdicament això:

- 1.-Descobrir els seus veïns i conèixer-ne les adreces de xarxa. Això ho aconsegueix enviant uns paquets anomenats paquets HELLO.
- 2.-Mesurar el retard o cost de cadascun dels veïns. La manera més senzilla de fer-ho és enviar un paquet d'eco, al qual respondrà l'encaminador veí.
- 3.-Construir un paquet amb tota aquesta informació. Aquests paquets s'anomenen LSP (link state packet, paquet d'estat de l'enllaç) i contenen entre altres coses la identificació de l'encaminador, els seus veïns i el retard per arribar-hi.
- 4.-Enviar aquest paquet a tota la resta d'encaminadors (es pot fer per inundació, o fer servir una versió més eficient de l'algorisme).
- 5.-Amb la informació rebuda dels LSP de la resta d'encaminadors de la xarxa, l'encaminador calcula el camí més curt a la resta d'encaminadors i crea un graf en el qual va afegint tots els encaminadors, construint així un mapa topològic complet de la xarxa. Fent servir l'algorisme de Dijkstra el graf queda en forma d'arbre d'expansió (sense bucles) amb el camí més curt per arribar a cada encaminador.

En definitiva, aquest tipus d'algoritmes permeten a l'encaminador tenir un mapa complet de la xarxa i generar la taula d'encaminament basant-se en aquest mapa escollint les rutes amb un cost més petit d'entre les possibles rutes redundants que s'hagin descobert. El mapa (i la taula de rutes corresponent) es va actualitzant periòdicament en repetir els 5 passos anteriors.

Aquest algoritme -juntament amb varies mètriques- es fa servir en els protocols d'encaminament **OSPF** (Open Shortest Path First, el protocol d'encaminament més habitualment usat a Internet i estandaritzat -la seva versió 3, compatible amb Ipv6- al RFC5340) i **IS-IS** (Intermediate System to Intermediate System). L'OSPF estructura la xarxa en àrees per simplificar l'administració i optimitzar el trànsit; aquestes àrees s'identifiquen per un número (on l'àrea 0, també anomenada "backbone", és especial perquè és l'única que està connectada, a través de sengles encaminadors anomenats ABR -Area Border Router-, a la resta d'àrees sense excepció). L'IS-IS és semblant, però a diferència de l'OSPF, el qual va ser dissenyat específicament pel model TCP/IP, l'IS-IS és neutral respecte el tipus d'adreces que es fan servir. Una altra diferència és la manera en què l'IS-IS defineix les àrees i la manera en què aquestes es comuniquen entre elles. En qualsevol cas, aquests dos protocols, a diferència dels de vector de distància, tenen consciència completa de la topologia de la xarxa.

Protocols d'encaminament interior (IGPs) o exterior (EGPs)

Es defineix un sistema autònom (o AS, d'"autonomous system") com una xarxa administrada i gestionada per una sola organització (que pot ser un ISP, una empresa internacional, etc) on es fa servir un protocol d'encaminament en concret. Així, Internet està formada per una sèrie d'AS connectats entre ells. Els protocols d'encaminament es poden classificar llavors en si són de tipus interior (Interior Gateway Protocol) o exterior (Exterior Gateway Protocol): els primers calculen rutes dins d'un AS i els segons calculen rutes entre diferents AS.

NOTA: Els ASN (és a dir, els n° d'AS) són assignats per la IANA i serveixen per identificar cada "xarxa" existent a Internet. Es poden consultar a <https://www.iana.org/assignments/as-numbers/as-numbers.xhtml>

Tots els protocols mencionats fins ara són de tipus IGP. El protocol quasi universal de tipus EGP que s'utilitza a Internet actualment és el **BGP** (Border Gateway Protocol). El BGP no fa servir les mètriques tradicionals dels protocols interiors, sinó que fa servir mètriques basades en el camí, polítiques de xarxa i regles; recordeu que es fa servir entre diferents sistemes autònoms, administrats per diferents organitzacions: en aquests casos el camí més curt no sempre és el camí que es vol que porti la informació.

Concepte de distància administrativa

En molts casos és possible que sobre un mateix destí es tingui informació de múltiples orígens. Per exemple, una xarxa pot ser descoberta per RIP, per OSPF i a més pot estar definida en una ruta estàtica. En aquests casos, ¿quina és la informació que privilegia l'algoritme de selecció de la millor ruta d'entre les possibles? Per respondre a aquesta pregunta, els encaminadors associen a cada ruta un paràmetre anomenat "distància administrativa", la qual consisteix en un número entre 0 i 255 que califica la "confiabilitat" de la informació d'enrutament rebuda de les diferents fonts d'informació disponibles. La ruta considerada millor serà aquella d'entre les diferents possibles que tingui la distància administrativa menor. Per exemple, l'IOS de Cisco assigna per defecte la següent distància administrativa a les corresponents fonts d'informació (aquests valors poden ser canviats mitjançant la comanda *distance*):

Xarxa directament connectada: 0	EIGRP (ruta interna): 90	RIP: 120
Ruta estàtica: 1	OSPF: 110	EIGRP (ruta externa): 170
eBGP: 20	IS-IS: 115	iBGP: 200

NOTA: Un article on s'explica molt bé tot el que s'ha descrit en aquest document és <https://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=2180210&seqNum=7>