

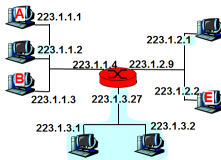
Redes de Datos II

Protocolo IP – Arquitectura

Luis Marrone y Matías Robles

LINTI-UNLP

21 de agosto de 2024



Contenidos

- 1 Generalidades
- 2 Nivel de Red
- 3 Datagrama IP
- 4 Direcccionamiento
- 5 Fragmentación
- 6 ICMP - Internet Control Message Protocol

Contenidos

- 1 Generalidades
- 2 Nivel de Red
- 3 Datagrama IP
- 4 Direccionamiento
- 5 Fragmentación
- 6 ICMP - Internet Control Message Protocol

Contenidos

- 1 Generalidades
- 2 Nivel de Red
- 3 Datagrama IP
- 4 Direcccionamiento
- 5 Fragmentación
- 6 ICMP - Internet Control Message Protocol

Contenidos

- 1 Generalidades
- 2 Nivel de Red
- 3 Datagrama IP
- 4 Direcccionamiento
- 5 Fragmentación
- 6 ICMP - Internet Control Message Protocol

Contenidos

- 1 Generalidades
- 2 Nivel de Red
- 3 Datagrama IP
- 4 Direcccionamiento
- 5 Fragmentación
- 6 ICMP - Internet Control Message Protocol

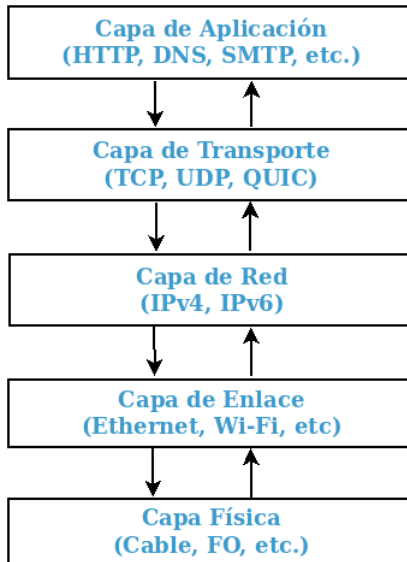
Contenidos

- 1 Generalidades
- 2 Nivel de Red
- 3 Datagrama IP
- 4 Direcccionamiento
- 5 Fragmentación
- 6 ICMP - Internet Control Message Protocol

Estamos en:

- 1 Generalidades
- 2 Nivel de Red
- 3 Datagrama IP
- 4 Direccionamiento
- 5 Fragmentación
- 6 ICMP - Internet Control Message Protocol

Modelo TCP/IP



Nivel de Enlace

- Provee conectividad entre nodos adyacentes o vecinos.
- Responsable de transmitir un mensaje (trama) sobre un enlace (link) en particular.
- Mensaje entre un origen y un destino puede atravesar distintas capas de enlace.
- Detección de errores, retransmisión, control de flujo, acceso al medio.
- Brinda servicios a la capa de red.
- Ethernet, 802.11, Frame Relay, etc.

Estamos en:

- 1 Generalidades
- 2 Nivel de Red**
- 3 Datagrama IP
- 4 Direccionamiento
- 5 Fragmentación
- 6 ICMP - Internet Control Message Protocol

Servicios, diseño y funcionalidades

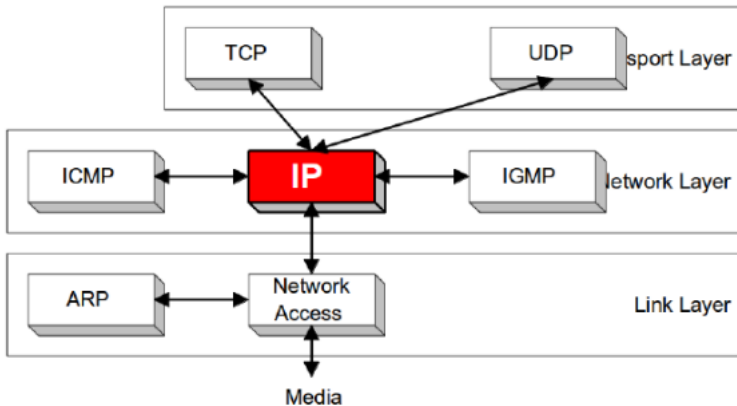
- Diseñada para que cumpla con los siguientes servicios a la capa de transporte:
 - Debe ser independiente de la tecnología de subred.
 - La capa de transporte debe estar aislada de la cantidad, tipo y topologías de las subredes.
 - Direccionamiento uniforme, aún a través de varias LANs y WANs.
- Transportar mensajes desde un nodo emisor a un receptor, inclusive en distintas redes.
- Determinar el camino (path) que seguirá un mensaje entre dos nodos
- Servicios con conexión / sin conexión.
- Circuitos virtuales / datagramas.

Internet Protocol (IP)

- Definido en la RFC 791 - INTERNET STANDARD (STD-5).
- Servicio del mejor esfuerzo (best-effort service).
- No orientado a conexión.
- No brinda control de errores, secuenciamento, confiabilidad, etc.
- PDU: datagrama o paquete.
- Dos funcionalidades principales:
 - Direccionamiento
 - Ruteo/Forwarding
- Multiplexación/Demultiplexación (Mux/Demux) de protocolos superiores.
- Fragmentación.

Esquema de IP en TCP/IP

- Es el protocolo núcleo de Internet
- Requiere protocolos auxiliares o “helpers”



Estamos en:

- 1 Generalidades
- 2 Nivel de Red
- 3 Datagrama IP**
- 4 Direccionamiento
- 5 Fragmentación
- 6 ICMP - Internet Control Message Protocol

Estructura del Datagrama IP

- Tiene longitud variable y consta de dos partes:
 - Header: entre 20 y 60 bytes de longitud.
 - Payload: datos del protocolo transportado. Longitud variable.

0	4	8	16	31
Vers	H Len	ToS	Total Length	
Identification			Flags	Fragmentation Offset
Time To Live		Protocol	Header Checksum	
Source IP Address				
Destination IP Address				
Options				Padding
Payload (Data)				

Primer Palabra



- Version(4 bits): versión del protocolo.
- H Len (Header Length, 4 bits): longitud de la cabecera, incluido el campo Opciones, en palabras de 32 bits.
- TOS (Type of Service, 8 bits): confiabilidad, prioridad, retardo y throughput.
- Total Length (16 bits): longitud total del datagrama en bytes. Medida en octetos, incluye cabecera y payload.

Segunda Palabra: Fragmentación



- Identification(16 bits): único para todos los segmentos del mismo datagrama.
- Flags(3 bits):
 - X(Sin asignar)
 - D (Don't fragment)
 - M (More fragments)
- Fragment offset(13 bits): ubicación del segmento dentro del datagrama. En unidades de 8 bytes. Primer fragmento tiene valor 0.

Tercer Palabra



- Time To Live(8 bits): se decrementa en cada router. Evita los loops en la red.
- Protocol(8 bits): indica el protocolo que contiene el campo de datos (1=ICMP, 6=TCP, 17=UDP, etc.)
- Header Checksum(16 bits): control de errores del header. Verificado y recalculado en cada dispositivo que procesa el datagrama

Cuarta-Quinta Palabras

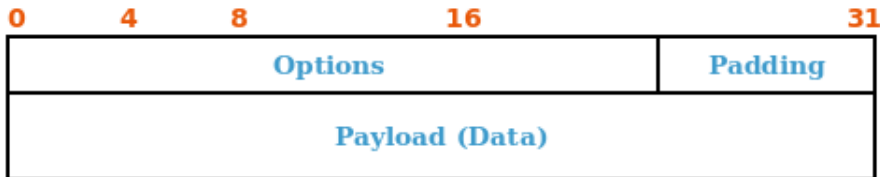


- Source IP Address(32 bits): dirección del host origen.



- Destination IP Address(32 bits): dirección del host destino

Opciones



- Opciones: longitud variable. Record Route, Loose Source Routing, Strict Source Routing, etc.
- Padding: longitud variable. Completa header en palabras de 32 bits.
- Data/Payload: longitud variable en múltiplos de 8 bits. Data + header \leq 65.536 bytes.

Direccionamiento IP

- Dirección IP: identifica unívocamente un punto de acceso (interfaz) a la red.
- Un router, o un host multi-homed, pueden tener varias direcciones IP.
- Tienen un significado global, alcance a toda la Internet, o privado, local.
- Globales: asignadas por autoridad central:
 - Antiguamente, asignadas por InterNIC (Internet Network Information Center)
 - Actualmente, el IANA (Internet Assigned Numbers Authority), responsable del ICANN, delega la asignación de estas direcciones IP a los RIRs (Regional Internet Registers), siendo para América Latina y parte del Caribe: LACNIC.
- Direcciones privadas: no pueden salir a la Internet pública



Direccionamiento IP

- Son direcciones lógicas (direcciones MAC se las conoce como direcciones física).
- Son números de 32 bits que se las puede representar en notación decimal como 4 octetos delimitados por puntos (e.g. 163.10.45.77).
- Existen un total de (2^{32}) direcciones que al estar organizadas en forma jerárquica se reducen.
- Originalmente, codificadas en 2 partes: Red (Net) y Anfitrión (Host).

Net Prefix	Host ID		
4	.16.4.21		
00000100	00001000	00000100	00010101

Direcciones IP

- Definidas originalmente en la RFC-790, Assigned Numbers, en 1981.

Class	First Octet Range	Max Hosts	Format
A	1-126	16M	<p>NETID: 0 HOSTID</p> <p>1 Octet 3 Octets</p>
B	128-191	64K	<p>NETID: 1 0 HOSTID</p> <p>2 Octets 2 Octets</p>
C	192-223	254	<p>NETID: 1 1 0 HOSTID</p> <p>3 Octets 1 Octet</p>
D	224-239	N/A	<p>Multicast Address: 1 1 1 0</p>
E	240-255	N/A	<p>Experimental: 1 1 1 1</p>

Tipos de Direcciones

- **Unicast:** destinada a un host/interface en particular. Son las más comunes:
 - Por ej.: 172.16.4.21.
- **Broadcast:** destinada a todos los hosts en una red. Los bits en la parte de host todos en 1.
 - Por ej.: 172.16.255.255.
- **Multicast:** destinada a un grupo de hosts en una red o en varias redes. Clase D.
 - Rango: 224.0.0.0 a 239.255.255.255 (Clase D).
- **Anycast:** más que un tipo de dirección es un direccionamiento. Identifica a un grupo de hosts/interfaces y logra que llegue a uno de ellos según el protocolo de ruteo. La dirección se toma del espacio de las direcciones unicast.

Direcciones especiales

- **Loopback:**

- Los datagramas con esta dirección IP destino no se transmiten a la red
- Dirección unicast perteneciente a la red clase A: 127.0.0.0
- También conocida como *localhost*
- General se utiliza la dirección IP 127.0.0.1, pero podría ser cualquier otra perteneciente a esa red

- **Dirección de Red:** la primera dirección del grupo de direcciones de la red (parte de host en 0)

- Por ej.: 172.16.0.0, 192.168.10.0.

- **Dirección de broadcast:**

- Directed Broadcast: la parte de la dirección perteneciente a los hosts toda en 1 Por ej.: 172.16.255.255, 192.168.1.255
- Limited Broadcast: toda la dirección en 1: 255.255.255.255

- **Este host:** usada por un host cuando aún no tiene asignada una dirección: 0.0.0.0 (Utilizada en BOOTP/DHCP)

Direcciones Privadas

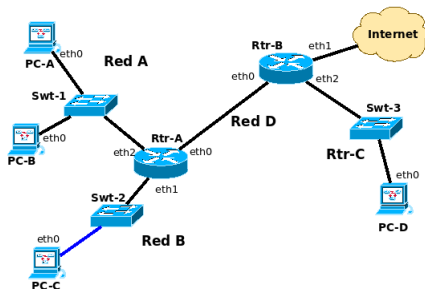
- RFC 1918 - Address Allocation for Private Internets.
- Comúnmente utilizadas en Intranets.
- Los routers de acceso a Internet las filtran.
- Uso de NAT (Network Address Translation) para acceder a Internet.
- Clase A:
 - 10.0.0.0 (1 sola red clase A).
- Clase B:
 - 172.16.0.0 – 172.31.0.0 (16 redes clases B)
- Clase C
 - 192.168.0.0 – 192.168.255.0 (256 redes clases C)

Estamos en:

- 1 Generalidades
- 2 Nivel de Red
- 3 Datagrama IP
- 4 Direccionamiento**
- 5 Fragmentación
- 6 ICMP - Internet Control Message Protocol

Introducción

- Interface: conexión entre el host o router y el enlace físico (eth0, eth1, etc.)
 - Los hosts en la misma red tienen el mismo *network ID*
 - Por cada red, dos direcciones no pueden ser asignadas a una interface: dirección de red y dirección de broadcast
-
- 4 redes físicas, requieren 4 redes IP.
 - Si cada red con menos de 254 hosts se pueden utilizar 4 clases C:
 - Red A: 193.168.1.0
 - Red B: 193.168.2.0
 - Red C: 193.168.3.0
 - Red D: 193.168.4.0



Nota: las direcciones utilizadas en el ejemplo son bloques públicos asignados por RIPE a diferentes instituciones. Solo se

Subnetting

- Prefijos de longitud fija por clase provoca un uso ineficiente en el espacio de direcciones.
- Por ej., red entre Rtr-A y Rtr-B solo necesita 2 direcciones (4 en total: red y broadcast), pero se le asignó una clase C completa.
- Año 1985, RFC 950, Internet Standard Subnetting Procedure (RFC 917 y RFC 940).
- Agrega un nuevo nivel a la estructura: Red, Subred, Host. Modelo de 3 niveles.
- Se requiere un nuevo componente conocido como *máscara de subred*.
- Ejemplo: usar un bloque de clase B como 256 clases C.

Net Prefix		Subnet	Host ID
172	16	.4	.21
10101100	00001000	00000100	00010101
11111111	11111111	11111111	00000000

Subnetting

- Se toman bits de la parte del *HostID* para generar subredes.
- Se utiliza la máscara de red para identificar los bits robados a la parte *HostID*.
- Para saber la subred de una dirección IP se debe realizar un AND lógico entre la dirección IP y la máscara de red.

Net Prefix		Subnet	Host ID
172	16	.4	.21
10101100	00001000	00000100	00010101
11111111	11111111	11111111	00000000
172.16.4			.0

Subnetting

- Las máscaras de red pueden escribirse en notación decimal o hexadecimal
 - 255.255.255.0 ó 0xff ff ff 00
- También pueden ser escritas como longitud de prefijos: /24
 - 255.255.255.192 ó /26
 - 255.224.0.0 ó /11
 - 255.255.255.255.252 ó /30
- Cada clase tiene su máscara default:
 - Clase A: 255.0.0.0
 - Clase B: 255.255.0.0
 - Clase C: 255.255.255.0

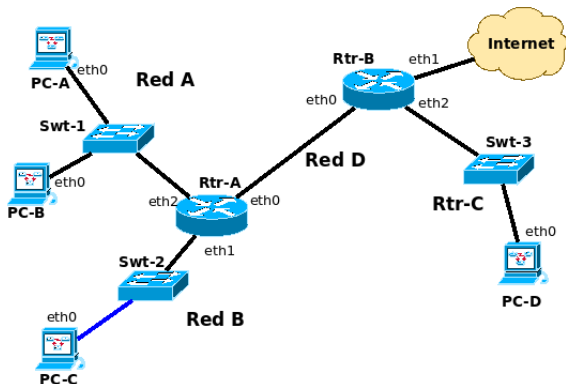
Subnetting

- En las subredes valen los mismos conceptos que para redes completas.
- Si tomamos la subred 172.16.4.21/24:
 - Dirección de Subed: 172.16.4.0/24
 - Dirección de Broadcast: 172.16.4.255/24
 - Dirección de Red: 172.16.0.0/16 (clase desde donde se empezó a hacer subnetting)
 - Cantidad de subredes: 2^n , donde n=bits tomadas para hacer subredes
 - Cantidad de hosts por subred: $2^{32-(m+n)}$, donde m=cantidad de bit según la clase y n=bits tomados para hacer subredes
 - Dada una dirección clase B, m=16, y si se desean crear 256 subredes, n=8:
 - Cantidad de subredes: $2^8 (2^n)$
 - Cantidad de hosts por subred: $2^8 (2^{32-(m+n)})$
 - Cantidad de direcciones útiles (o asignables): $2^8 - 2 (2^n - 2)$

Antiguamente no se usaban la primera y la última dirección de red disponible

Subnetting Fijo

- Si cada red tiene menos de 254 hosts, por ejemplo 25 hosts cada red, se puede utilizar 1 clase C dividida en 4:
 - Red A: 193.168.4.0. Máscara de Red: 255.255.255.192, Prefijo: /26
 - Red B: 193.168.4.64, 255.255.255.192 ó /26
 - Red C: 193.168.4.128, 255.255.255.192 ó /26
 - Red D: 193.168.4.192, 255.255.255.192 ó /26



Subnetting Fijo

- 4 redes físicas:
 - 4 redes requieren 2 bits: $2^2 = 4$

193.168.4		.0	
193.168.4		--	-----
10101100	00001000	00000100	-- -----
11111111	11111111	11111111	00000000
193.168.4			00
			01
			10
			11

- ¿Cuántos bits se usarán si se requieren 7 subredes?

Subnetting Fijo

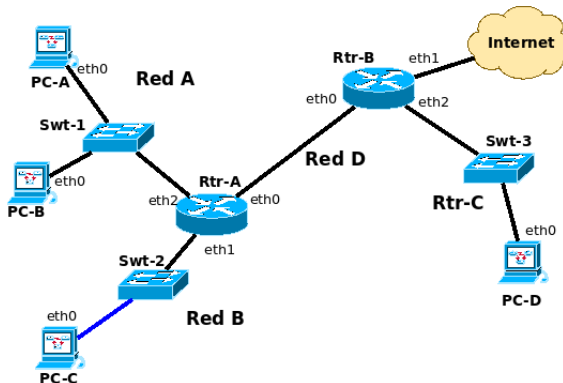
- En un principio, por cuestiones de compatibilidad con antiguos sistemas, no se permitía utilizar ni la primera ni la última subred disponible:
 - Red A: 193.168.4.0 => dirección de subred igual a la dirección de red.
 - Red D: 192.168.4.192 => dirección de broadcast de la subred igual a la dirección de broadcast de la red (193.168.4.255).
- Esta prohibición generaba mucho desperdicio. En el ejemplo anterior sería de un 50 %.
- RFCs siguientes descartaron esta prohibición.
- Hoy está completamente permitido y difundido.
- Es el criterio adoptado en la cátedra.

Subnetting Variable

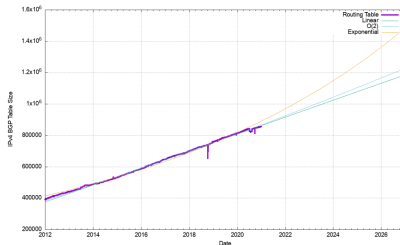
- Aunque subnetting fijo ayudó a solucionar algunas falencias de la asignación de direcciones aún seguía siendo muy estricto.
- Además, también se podría desperdiciar direcciones.
- ¿Cómo se podrían cubrir los siguientes requerimientos de la red anterior si usamos subnetting fijo?
 - Red A: 100 hosts
 - Red B: 60 hosts
 - Red C: 25 hosts
 - Red D: 25 hosts
- Año 1987, RFC 1009. Variable Length Subnet Mask (VLSM).
- No es necesario que la longitud de la máscara de red sea igual en todas las subredes.

Subnetting Variable

- Hay 4 subredes como en el ejemplo anterior, pero cada uno tiene un tamaño diferente
 - Red A: 193.168.4.0, 255.255.255.128 ó /25
 - Red B: 193.168.4.128, 255.255.255.192 ó /26
 - Red C: 193.168.4.192, 255.255.255.224 ó /27
 - Red D: 193.168.4.224, 255.255.255.224 ó /27



- Año 1992, la RFC 1338 marca los problemas del crecimiento de las tablas de ruteo y sugiere algunas soluciones.
- Este documento ya indica el posible agotamiento de las direcciones IPv4, pero no propone soluciones.
- Clases A y B tenían el 50 % asignado, Clase C solo el 2 %.
- Cantidad de clases C disponibles, 2^{21} , incrementarían notablemente el tamaño de las tablas de ruteo.
- Crecimiento de las tablas de ruteo:



<https://blog.apnic.net/2021/03/03/what-will-happen-when-the-routing-table-hits-1024k/>

CIDR - Superneting

- Classless Inter-Domain Routing (CIDR).
- Hasta 1993, según la clase de la dirección, se asumía la máscara de red default.
- Los bits de red definidos por la clase eran fijos (solo podíamos subnettear). El direccionamiento era *classful*.
- A partir de su introducción se sacaron las clases de red, *classless*, y siempre debe existir una máscara o prefijo de red.
- RFC 1338, RFC 1517, RFC 1518, RFC 1519.
- Permite agrupar, o agregar, varias redes en una más grande (menor prefijo).
- Su mayor beneficio es achicar las tablas de ruteo .
- Por ejemplo: 193.168.0.0/24, 193.168.1.0/24, 193.168.2.0/24 y 192.163.3.0/24 en 193.168.0.0/22

Ruteo (Routing)

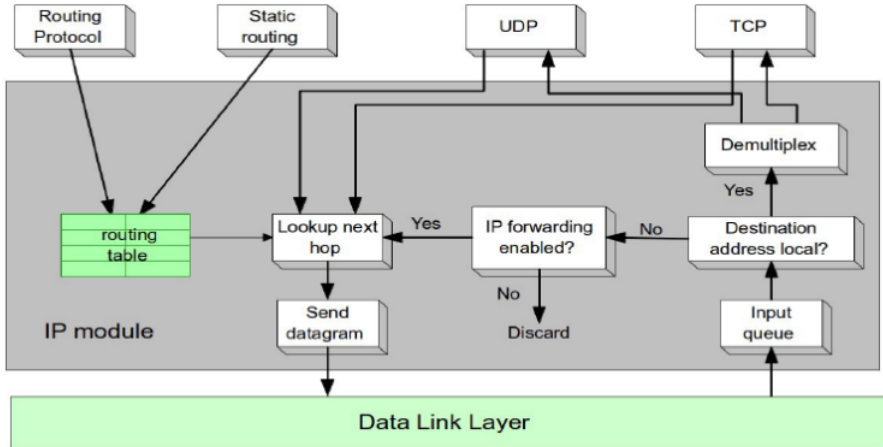
- **Tabla de Ruteo:** estructura en hosts y routers (gateways) que indica como reenviar un paquete. Perspectiva del vecino, siguiente salto.
- **Host:** no reenvía mensajes que recibe y que no son dirigidos a él. Envía sus propios mensajes mirando su propia tabla de ruteo.
- **Router:** nodos intermedios. Tienen más de una interface. Reenvía los datagramas recibidos mirando su tabla de ruteo (excepto los que van dirigidos a él).
- **Host Multihome:** tiene varias interfaces de red, pero no tiene la capacidad de rutear.

Ruteo (Routing)

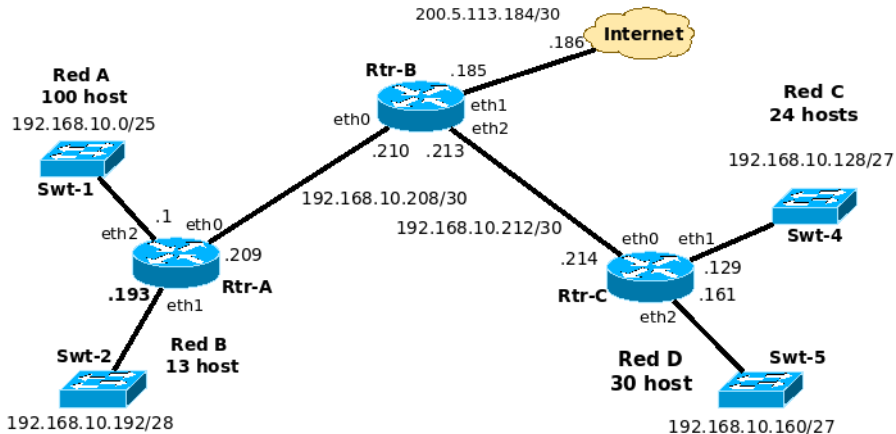
- Ruteo: acción de seleccionar el próximo salto y la interface de salida. Realizada por routers y hosts.
- Forwarding/Despacho: acción de pasar un mensaje desde una interface de entrada hacia una de salida. Solo pueden hacerlo los routers.
- El ruteo es de control, alimentado por protocolos de enrutamiento (Routing Protocols).
- El forwarding es de datos. Envía los mensajes de los protocolos enrutados (Routed Protocols).
- El forwarding es un proceso más intensivo.

Ruteo (Routing)

- Routers tienen el forwarding habilitado por defecto, los hosts no.



Ruteo (Routing)



Ruteo (Routing)

- Estructura tabla de ruteo:
 - Red Destino
 - Máscara de Red (o Prefijo)
 - Next Hop (Próximo Salto)
 - Interface de Salida
 - Métrica
- Tablas de ruteo en un host son más simples que en un router (menos entradas).
- Agregar una ruta en Rtr-A a una red en particular:
 - ✓ `Rtr-A# ip route add 192.168.10.160/27 via 192.168.10.210 dev eth0`
- Agregar una ruta default en Rtr-A:
 - ✓ `Rtr-A# ip route add default via 192.168.10.210 dev eth0`

Tabla de ruteo

- Tabla de ruteo de Rtr-A:

Red Destino	Mask	Next Hop	Device	Métrica
192.168.10.0	/25	-	eth2	0
192.168.10.192	/28	-	eth1	0
192.168.10.208	/30	-	eth0	0
192.168.10.212	/30	192.168.10.210	eth0	1
192.168.10.128	/27	192.168.10.210	eth0	2
192.168.10.160	/27	192.168.10.210	eth0	2
0.0.0.0	/0	192.168.10.210	eth0	0

- ¿Es posible disminuir el tamaño de esta tabla?

Tabla de ruteo ...

- Sumarizando Red C y Red D

Red Destino	Mask	Next Hop	Device	Métrica
192.168.10.0	/25	-	eth2	0
192.168.10.192	/28	-	eth1	0
192.168.10.208	/30	-	eth0	0
192.168.10.212	/30	192.168.10.210	eth0	1
192.168.10.128	/26	192.168.10.210	eth0	2
0.0.0.0	/0	192.168.10.210	eth0	0

- ¿Es posible disminuir aún más el tamaño de esta tabla?

Tabla de ruteo ...

- ¿Qué pasa si dejo solo la ruta default para llegar a redes que no están directamente conectadas?

Importante

Solo se puede tener una ruta default por tabla de ruteo.

Red Destino	Mask	Next Hop	Device	Métrica
192.168.10.0	/25	-	eth2	0
192.168.10.192	/28	-	eth1	0
192.168.10.208	/30	-	eth0	0
0.0.0.0	/0	192.168.10.210	eth0	0

- ¿Cómo quedará la tabla de ruteo de los demás routers?

Estamos en:

- 1 Generalidades
- 2 Nivel de Red
- 3 Datagrama IP
- 4 Direccionamiento
- 5 Fragmentación**
- 6 ICMP - Internet Control Message Protocol

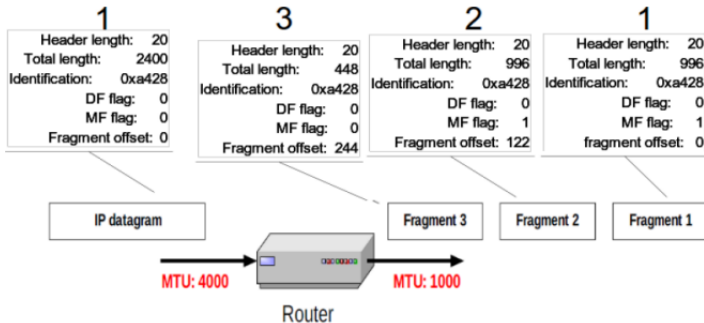
¿Por qué y cómo funciona?

- Un datagrama puede pasar por varias capas de enlaces con diferentes MTUs (Ethernet 1500 bytes, FDDI 4500, etc.).
- Datagramas con tamaño mayor al MTU deben ser fragmentados.
- Tamaño de los fragmentos debe ser múltiplos de 8 bytes, excepto el último.
- Cada fragmento pasa a ser un nuevo paquete.
- El header original se copia en cada fragmento y luego se modifica según corresponda.
- Algunas opciones se copian en todos los datagramas.

version	header length	DS	ECN	total length (in bytes)		
Identification				0	DF MF	Fragment offset
time-to-live (TTL)		protocol		header checksum		

Fragmentación - Ejemplo

- Ejemplo:



Fragmentación: Rearmado

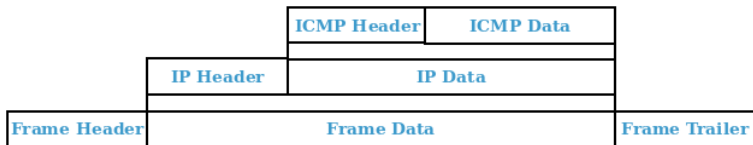
- El datagrama se reconstruye sólo en el destino final.
- Los fragmentos se descartan después de un timeout.
- Si no arriban todos los fragmentos, el paquete entero se descarta.
- Fragmentos pueden tomar distintos caminos.
- Los fragmentos pueden a su vez fragmentarse en el resto del camino.
- Path MTU: permite determinar el mínimo MTU entre un origen y un destino.

Estamos en:

- 1 Generalidades
- 2 Nivel de Red
- 3 Datagrama IP
- 4 Direcccionamiento
- 5 Fragmentación
- 6 ICMP - Internet Control Message Protocol**

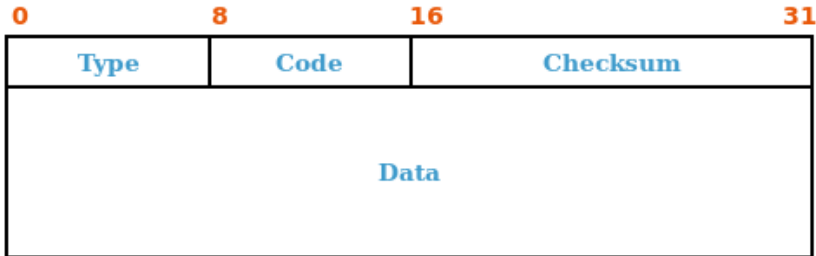
Introducción

- RFC 792, parte de STD 5. Internet Control Message Protocol - J. Postel - Septiembre 1981.
- Actualizada por RFC 950, RFC 4884, RFC 6633, RFC 6918.
- IP carece de control. Esto es realizado por un protocolo adicional: ICMP.
- Es un protocolo *helper* de IP. Es informativo. No toma decisiones.
- Permite reportar errores o consultar información de un dispositivo.
- No le agrega confiabilidad a IP, solo brinda un “feedback” para poder resolver problemas en la red.
- Se encapsula en IP, pero no es un protocolo de transporte.
 - Protocol type: 1



ICMP - Formato

- Al descartarse un datagrama, ICMP incluye el header del datagrama que produjo el mensaje y por lo menos 8 bytes del campo de datos del datagrama.
- No se envía un mensaje ICMP si el que se descarta es un mensaje ICMP.
- Tampoco se generan mensajes ICMP por fragmentos que no sea el primero o que tengan como origen una dirección IP multicast.



ICMP - Mensajes

- Dos categorías de mensajes:
 - **Error-reporting messages:** reportan errores que un dispositivo puede encontrar cuando procesa un paquete IP.
 - Destination Unreachable, Net Unreachable (Type 3, Code 0).
 - Destination Unreachable, Host Unreachable (Type 3, Code 1).
 - Destination Unreachagle, Port Unreachable (Type 3, Code 3).
 - Time exceeded, In Transit. Se venció el TTL (Type 11, Code 0).
 - Time exceeded, Reassembly Timeout. Se descarta un datagrama incompleto (Type 11, Code 1).
 - **Query messages:** ocurren de a pares. Permite obtener información específica de un dispositivo.
 - Echo Request/Reply. Utilizado en ping (Type 8 ó 0).
 - Tienstamp Request/Reply. (Type 13 ó 14)



**Atribución-NoComercial-CompartirIgual
4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)**

Esta obra está sujeta a la licencia Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) de Creative Commons.

Para detalle de esta licencia visite

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>