

IPv6 (Internet Protocol version 6) (parte I)

2020

Facultad de
Informática



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

Contenidos

1

Conmutación de Paquetes

2

Revisión de IPv4

3

Introducción a IPv6

- Generalidades de IPv6
- Direccionamiento IPv6
- Ruteo IPv6

4

Referencias

Contenidos

1

Conmutación de Paquetes

2

Revisión de IPv4

3

Introducción a IPv6

- Generalidades de IPv6
- Direccionamiento IPv6
- Ruteo IPv6

4

Referencias

Contenidos

1

Conmutación de Paquetes

2

Revisión de IPv4

3

Introducción a IPv6

- Generalidades de IPv6
- Direccionamiento IPv6
- Ruteo IPv6

4

Referencias

Contenidos

1 Conmutación de Paquetes

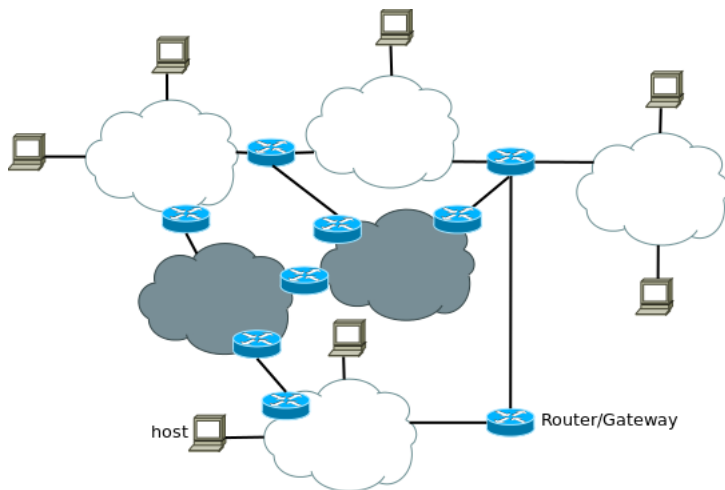
2 Revisión de IPv4

3 Introducción a IPv6

- Generalidades de IPv6
- Direccionamiento IPv6
- Ruteo IPv6

4 Referencias

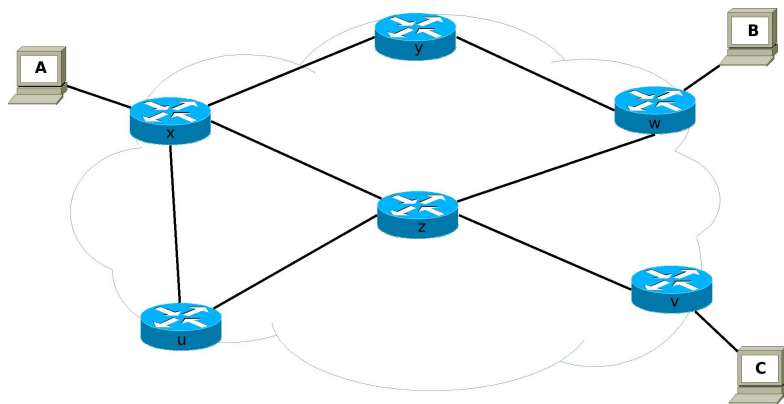
Red de Redes



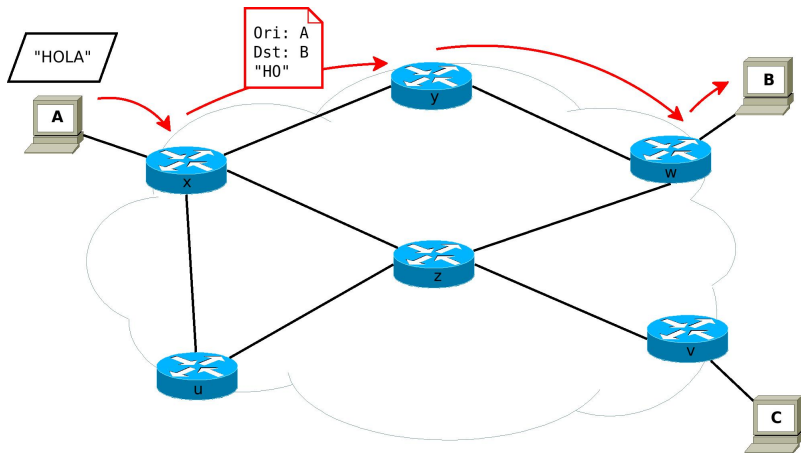
Conmutación de Paquetes

- Modelo de Red, L3: Conmutación de Paquetes.
- Cada PDU: Unidad de datos, datagrama/paquete puede ser “transportado” por la red de forma independiente.
- Los datagramas tiene información en su encabezado para ser “manejados” por los dispositivos intermedios (la red).
- Componentes/dispositivos intermedios de la red: conmutadores/routers/gateways.
- Routers trabajan básicamente en Store & Forward y se interconectan entre sí físicamente (a nivel de enlace).
- El ruteo se produce, hop-by-hop (salto a salto).
- Modelo best-effort, más flexible y eficiente.

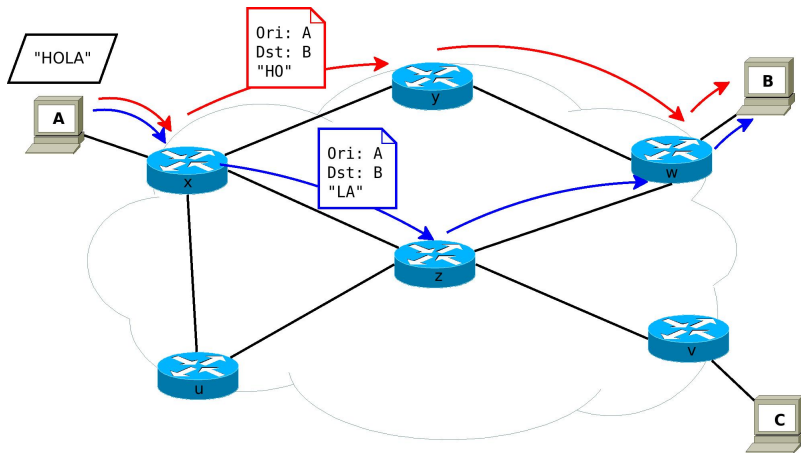
Redes de Conmutación de Paquetes (cont.)



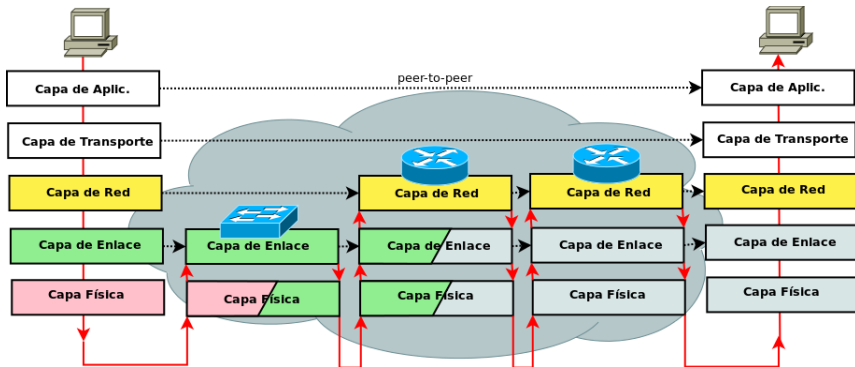
Redes de Conmutación de Paquetes (cont.)



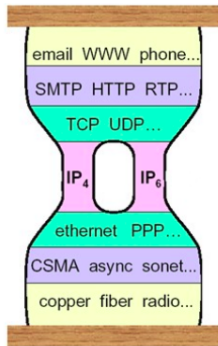
Redes de Conmutación de Paquetes (cont.)



Comunicación entre Capas Peer-Peer



Modelo de Internet ?

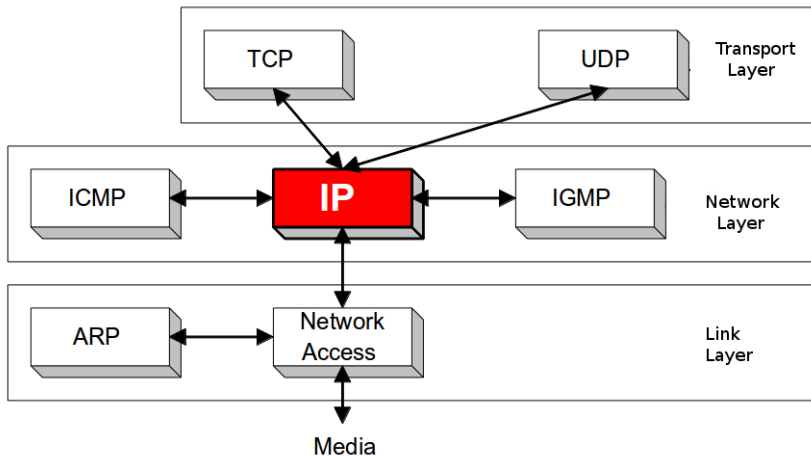


fuelle: <https://www.ietfjournal.org/>

Características de IPv4

- Protocolo de Red no orientado a conexión.
- Protocolo de Mejor Esfuerzo: best-effort, no confiable (no asegura el arribo de los mensajes).
- PDU: datagrama o paquete.
- Definido RFC 791 (STD-5).
- Funcionalidad:
 - Direcccionamiento.
 - Ruteo/Forwarding.
 - Mux/Demux de protocolos superiores.
 - Fragmentación.
 - Otras: como evitar loops.
 - Detección de errores en header.

Esquema de IPv4



Formato cabecera IPv4

Ver.	header	TOS	total length	
identification			flag	fragment offset
TTL		Protocol	Checksum	
32 bit Source Address				
32 bit Destination Address				

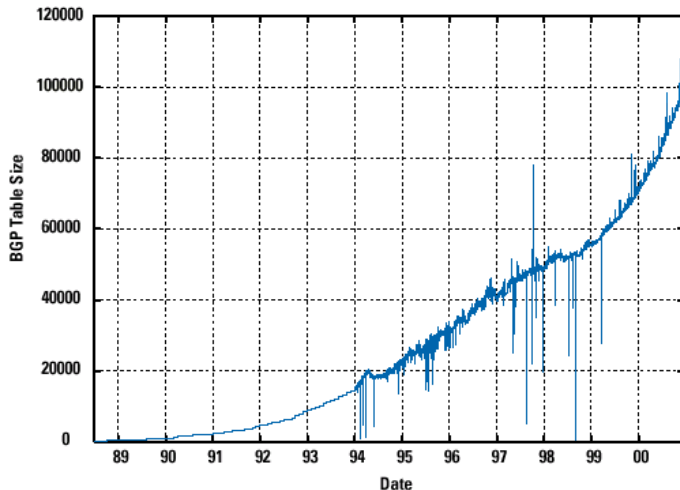
Direcciones IPv4

- Inicialmente Classful.

	0	1	8	16	24	31
Class A	0	network		host number		
Class B	1	0	network number		host number	
Class C	1	1	0	network number		host number
Class D	1	1	1	0	multicast address	
Class E	1	1	1	1	reserved	

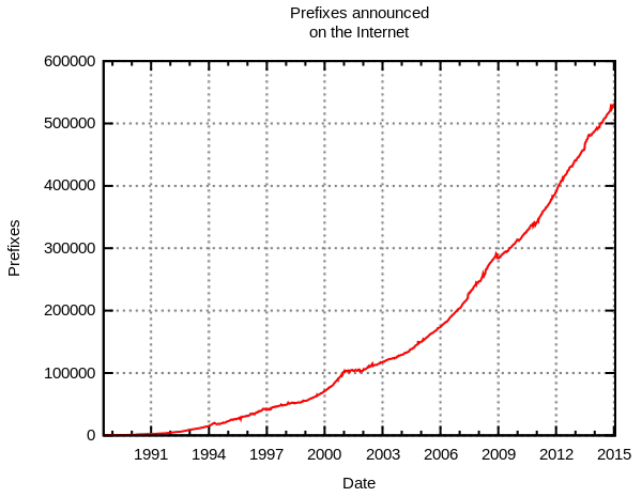
- Máscara de red, long. de prefijo: subnetting:
192.168.30.3 255.255.255.0 == 192.168.30.3/24.
- CIDR (Classless Inter Domain Routing).

Crecimiento Internet



fuelle: <http://www.cisco.com IPJ v4n1> (Analyzing the Internet BGP Routing Table)

Crecimiento Internet (cont.)

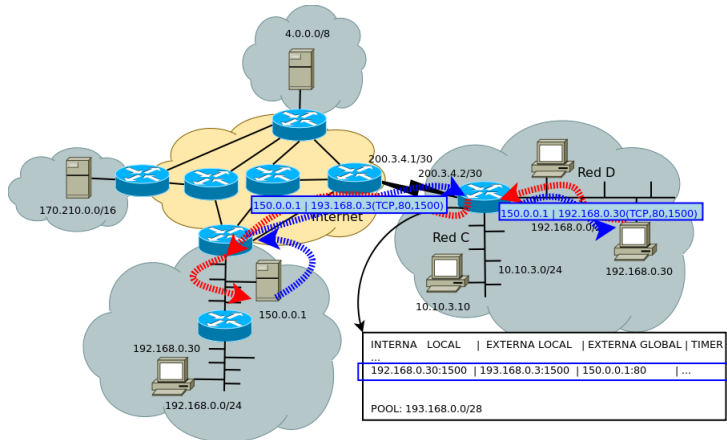


fuelle: <https://commons.wikimedia.org> basado en www.potaroo.net

Direcciones IPv4 Privadas y NAT/NAPT

- Direcciones IPv4 Privadas: RFC-1918:
 - 1 Clase A: 10.0.0.0/8.
 - 16 Clases B: 172.16.0.0/12.
 - 256 Clases C: 192.168.0.0/16.
- Se agrega proceso de NAT (Network Address Translation), NAPT (Network Address Port Translation).
- Se pierde principio end-to-end.

Direcciones IPv4 Privadas y NAT/NAPT (cont.)



Problemas NAT

- Se vuelve compleja la red, dispositivos intermedios.
- Dificultades:
 - Acceso directo a red privada.
 - Protocolos Peer-to-Peer.
 - Problemas protocolos particulares: FTP, VoIP (SIP, RTP), VPN (IPSec), on-line gaming.
- Agregados (Parches):
 - Port-Forwarding, UPnP (Universal Plug & Play).
 - ISP requieren CGN (Carrier Grade NAT), NAT444, LSN: 100.64.0.0/10 (RFC-6598).
 - STUN (Session Traversal Utilities for NAT), NAT Traversal.

Problemas en IPv4

- Direcciones IPv4 no disponibles, uso de NAT.
- Tablas de ruteo muy grandes en el backbone de Internet.
- Congestión en los routers, demasiado procesamiento.

Otras cuestiones no contempladas desde el inicio:

- Seguridad a nivel L3, IP.
- Extensiones al modelo de Calidad de Servicio (QoS).
- Fácil auto-configuración y re-numeración de direcciones.
- Movilidad a nivel de red no contemplada en el diseño del protocolo.

Beneficios de IPv6

- No son versiones del mismo protocolo, IPv4 e IPv6.
- Mayor espacio de direcciones - 128 bits:
340.282.366.920.938.463.463.374.607.431.768.211.456
direcciones.
- Formato de cabecera simplificado.
- Menor overhead de procesamiento.
- Ordenar las tablas de enrutamiento.
- Conectar todo, usar auto-configuración de direcciones (plug and play).
- Arquitectura de red jerárquica para un ruteo eficiente.
- Seguridad a nivel IP (IPSec obligatorio).
- Jumbogramas, $\text{size}(\text{datagrama}) > 64\text{KB}$.
- Movilidad y más direcciones de multicast.

¿Y la versión 5?

- Los protocolos registrados en el IANA:
- La versión especifica el formato del Header IP
- La v5 ya estaba asignada
- ST: Internet Stream Protocol, orientado a conexión y con QoS, definido en 1970
- El resto otros posibles reemplazos de IP

Version	Description
0	reserved.
1	
2	
3	
4	IP, Internet Protocol.
5	ST , ST Datagram Mode.
6	SIP, Simple Internet Protocol. SIPP, Simple Internet Protocol Plus. IPv6, Internet Protocol.
7	TP/IX , The Next Internet.
8	PIP, The P Internet Protocol.
9	TUBA.
10	
-	
14	
15	reserved.

Cambios en IPv6

- Definido RFC-8200 (STD-86) 2017 (hace obsoleta RFC-2460).
- Direcciones más largas.
- Datagramas de 40 bytes (contra 20 bytes + opt, max 60B).
- Simplifica cabecera:
 - Se saca la fragmentación, se deja solo de extremo a extremo como opción.
 - Se saca checksum de cabecera.
 - Header de tamaño fijo. No existen más las Opciones.
 - Flow Label: identificador de flujo (20 bits).
 - Se renombran los campos: Traffic Class, Hop Limit, Next Header.
 - Cabeceras de extensión.

Formato cabecera IPv6

Ver.	TrafficClass	Flow Label	
Payload Length		Next Header	Hop Limit
128 bit Source Address			
128 bit Destination Address			

Datagrama IPv6 (Wireshark)

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
5	4.292394	2001:db8:20::100	2001:db8:4::1	TCP	94	58895 > irdmi [SYN] Seq=0 Win=14400 Len=0 MSS=1440 SACK_PE
6	4.292489	2001:db8:4::1	2001:db8:20::100	TCP	94	irdmi > 58895 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=14280 Len=0 MSS=14
7	4.292641	2001:db8:20::100	2001:db8:4::1	TCP	86	58895 > irdmi [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=14400 Len=0 TSval=8587
8	4.294168	2001:db8:20::100	2001:db8:4::1	TCP	87	58895 > irdmi [PSH, ACK] Seq=1 Ack=1 Win=14400 Len=1 TSval=
9	4.294262	2001:db8:4::1	2001:db8:20::100	TCP	86	irdmi > 58895 [ACK] Seq=1 Ack=2 Win=14288 Len=0 TSval=8587

▶ Frame 5: 94 bytes on wire (752 bits), 94 bytes captured (752 bits)
 ▶ Ethernet II, Src: 00:00:00_aa:00:02 (00:00:00:aa:00:02), Dst: 00:00:00_aa:00:03 (00:00:00:aa:00:03)
 ▼ Internet Protocol Version 6, Src: 2001:db8:20::100 (2001:db8:20::100), Dst: 2001:db8:4::1 (2001:db8:4::1)
 ▶ 0110 = Version: 6
 ▶ 0000 0000 = Traffic class: 0x00000000
 0000 0000 0000 0011 1100 = Flowlabel: 0x0000003c
 Payload length: 40
 Next header: TCP (0x06)
 Hop limit: 63
 Source: 2001:db8:20::100 (2001:db8:20::100)
 Destination: 2001:db8:4::1 (2001:db8:4::1)
 ▶ Transmission Control Protocol, Src Port: 58895 (58895), Dst Port: irdmi (8000), Seq: 0, Len: 0

0000	00 00 00 aa 00 03 00 00	00 aa 00 02 86 dd 50 00
0010	00 3c 00 28 06 3f 20 01	0d b8 00 20 00 00 00 00	..+.(.?. ..
0020	00 00 00 00 01 00 20 01	0d b8 00 04 00 00 00 00
0030	00 00 00 00 00 01 e6 0f	1f 40 e6 f2 d7 39 00 00@...9..
0040	00 00 a0 02 38 40 a0 d4	00 00 02 04 05 a0 04 028@..M.....
0050	08 0a 00 01 4f 75 00 00	00 00 01 03 03 04Ou.....

● Flowlabel (ipv6.flow), 4 bytes Packets: 30 Displayed: 30 Marked: 0 Load time: 0:00.127 Profile: Default

captures/fl-tcp-60.pcap, rows: 5

Formato cabecera IPv4 - Cambios

- Cambios en IPv4:

Ver.	header	TOS	total length	
identification			flag	fragment offset
TTL		Protocol	Checksum	
32 bit Source Address				
32 bit Destination Address				



Cabecera IPv4 vs IPv6

- Comparación de Cabeceras:

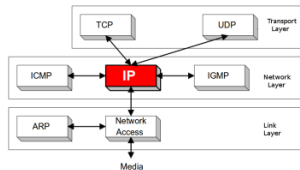
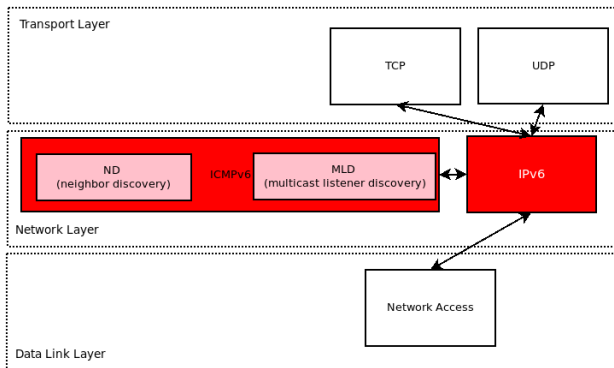


Servicios Básicos

- Funcionalidad:
 - Direcccionamiento.
 - Ruteo/Forwarding.
 - Mux/Demux de protocolos superiores.
 - Fragmentación.
 - Otras: como evitar loops.
 - Detección de errores en header.

IPv6 Stack

- Cambia el plano de control según IPv4



Servicios Nuevos

- Funcionalidad:
 - Descubrimiento de Vecinos (NDP):
 - ND propiamente.
 - Router discovery y auto-configuración.
 - Manejo de Grupos de Multicast.

Cabeceras de Extensión (Más servicios)

- Permite la extensibilidad del protocolo.
- Se encuentran a continuación del header.
- En general, son procesadas por los extremos.

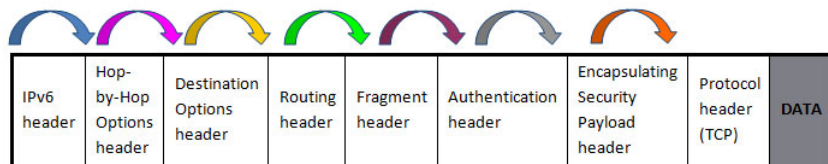
IPv6 Header Next Header = 6 (TCP)	Segmento TCP
---	--------------

IPv6 Header Next Header = 43 (Routing Header)	Routing Header Next Header = 6 (TCP)	Segmento TCP
---	--	--------------

IPv6 Header Next Header = 43 (Routing Header)	Routing Header Next Header = 44 (Fragment Header)	Fragment Header Next Header = 6 (TCP)	Segmento TCP
---	---	---	--------------

Orden Cabeceras de Extensión

- Hop-by-hop: procesado por cada router.
- Dest Opt: procesado por routers incluidos.
- Routing: procesado por routers, RH0 desaconsejado.
- Frag, Auth, Sec, Dest. procesado por extremos.



fuelle: <http://www.cisco.com/web/about/security/intelligence/FNFIIPv6.html>

Ejemplo NH IPv6 (Wireshark)

No.	Time	Source	Destination	Length	Info
6	4.002568	2001:db8:1234:2::10	2001:db8:1234:3::10	1294	IPv6 fragment (nxt=ICMPv6 (58) off=0 id=0xbf2f2)
7	4.002912	2001:db8:1234:2::10	2001:db8:1234:3::10	238	Echo (ping) request id=0x0032, seq=3, hop limit

▶ Frame 7: 238 bytes on wire (1904 bits), 238 bytes captured (1904 bits)
 ▶ Ethernet II, Src: 00:00:00:aa:00:06 (00:00:00:aa:00:06), Dst: 00:00:00:aa:00:04 (00:00:00:aa:00:04)
 ▼ Internet Protocol Version 6, Src: 2001:db8:1234:2::10 (2001:db8:1234:2::10), Dst: 2001:db8:1234:3::10 (2001:db8:1234:3::10)
 ▶ 0110 = Version: 6
 ▶ 0000 0000 = Traffic class: 0x00000000
 0000 0000 0000 0000 0000 0000 = Flowlabel: 0x00000000
 Payload length: 184
 Next header: IPv6 fragment (44)
 Hop limit: 64
 Source: 2001:db8:1234:2::10 (2001:db8:1234:2::10)
 Destination: 2001:db8:1234:3::10 (2001:db8:1234:3::10)
 ▼ Fragmentation Header
 Next header: ICMPv6 (58)
 Reserved octet: 0x0000
 0000 0100 1101 0... = Offset: 154 (0x009a)
00. = Reserved bits: 0 (0x0000)
0 = More Fragment: No
 Identification: 0xbf2f2769
 ▶ [2 IPv6 Fragments (1408 bytes): #6(1232), #7(176)]
 ▼ Internet Control Message Protocol v6
 Type: Echo (ping) request (128)
 Code: 0

captures/ipv6-frag-doble-nocont-i.pcap, rows: 7

Más direcciones disponibles

- Más direcciones para más gente, más dispositivos, nuevas tecnologías, IoT.
- En un principio, discusión entre (anecdótico):
 - Direcciones de longitud fija de 64 bits.
 - Direcciones de longitud variable de 160 bits.
- Acuerdo:
 - Direcciones de longitud fija de 128 bits.
 - Varias direcciones por interfaz.
 - Direcciones con diferentes alcances y tiempos de vida.

Direcciones IPv6

- Tipos de direcciones:
 - Unicast.
 - Anycast (tomadas del rango Unicast).
 - Multicast (no hay direcciones broadcast): FF00::/8.
- Alcance (Scope) de las direcciones Unicast:
 - Locales (Link-local): FE80::/64.
 - De sitio site-local (desaconsejadas), unique-local.
 - Compatibilidad ipv4-compat (desaconsejadas), ipv4-mapped.
 - Globales: 2000::/3.

Direcciones IPv6 (cont.)

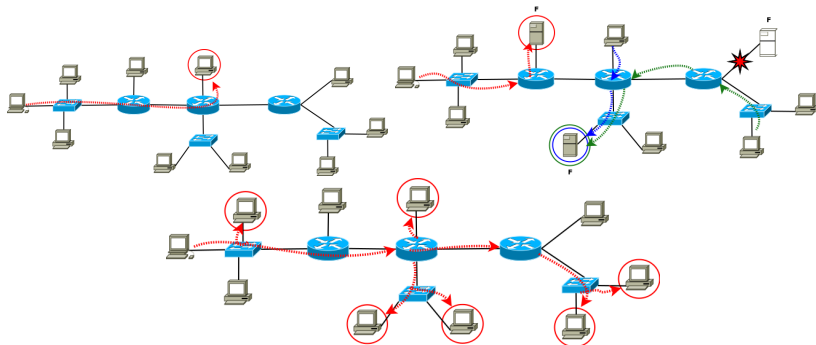
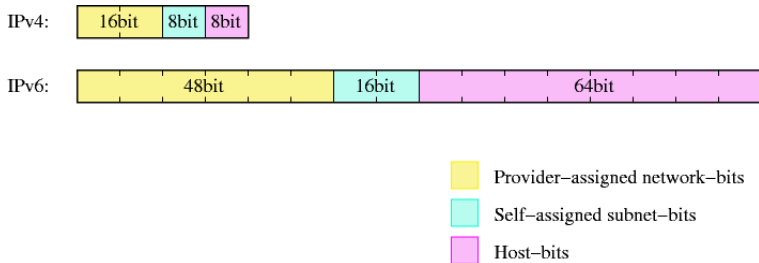


Figura: unicast, anycast y multicast

Direcciones IPv6 (cont.)



fuelle: <http://www.netbsd.org/docs/guide>

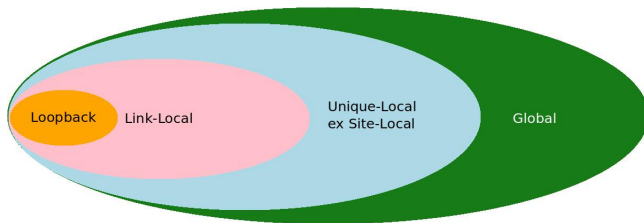
- 128 bits.
- Unicast: separadas en red, [subred] y host.
- No hay clases de direcciones.

Notación Direcciones IPv6

- Hexadecimal en grupos de 16 bits, separadas por “:”.
- `nnnn:nnnn: nnnn:ssss: hhhh:hhhh: hhhh:hhhh /pfxlen`
- Ceros al inicio de cada grupo se pueden obviar:
 - `2001:0db8:1011:0001:36ed:04ff:fe32:0076 == 2001:db8:1011:1:36ed:4ff:fe32:76`
- Ceros contiguos se puede eliminar con “::”. Sólo se puede utiliza una vez:
 - `2001:db8:1011:1:0:0:0:1 == 2001:db8:1011:1::1`
 - `2001:db8:0:0:1011:0:0:1 == 2001:db8:0:0:1011::1`
 - `2001:db8:0:1011:0:0:0:1 == 2001:db8:0:1011::1`
- Se utilizan “[,“]” para indicar port en URL:
 - `http://[2001:db8:1011:1:0:0:0:1]:8080`
- No se usa máscara, solo prefix length.

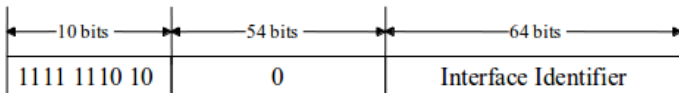
Direcciones IPv6 Unicast

- Link-local.
- Site-local.
- Unique-Local.
- IPv4-Compatible.
- IPv4-Mapped.
- Global.



Direcciones IPv6 locales

- **Link-local Address**



- **Prefijo Asignado:** FE80::/10.
- **Prefijo Utilizado:** FE80::/64 (len. en LAN /64).
- **Alcance:** sólo la red directamente conectada.
- Mayormente auto-generadas stateless a partir de IID.
- **IID:** Interface Identifier, 64 LSb.

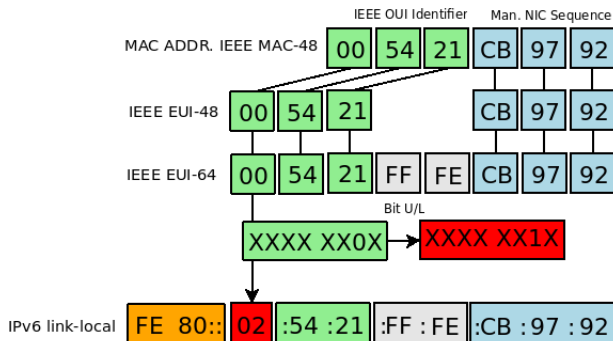
Obligatoria en todas las interfaces multiacceso

Direcciones IPv6 locales (cont.)

- Generación de IID:
 - Usando IEEE MAC-64.
 - Extended Unique Identifier 64, EUI-64 derivado de IEEE MAC-48, EUI-48.
 - De forma manual.
 - RFC-4941 Privacy Extensions for Stateless Address Autoconfiguration (dir. temporales).
 - RFC-7217 A Method for Generating Semantically Opaque Interface Identifiers with IPv6 Stateless Address Autoconfiguration (SLAAC).
- Finalmente se generan con el prefijo link-local y realiza DAD (Duplicate Address Detection).

IPv6 sobre LAN: EUI-64 (desaconsejado su uso para dir. estables)

- Redes de multi-acceso con ID de interfaces, direcciones MAC-48: Ethernet, 802.11, Bluetooth, FC y antiguas tecnologías como: FDDI, TokenRing, TokenBus, ATM.



Andres Barbieri 2005 (c)

Direcciones IPv6 locales (ejemplo)

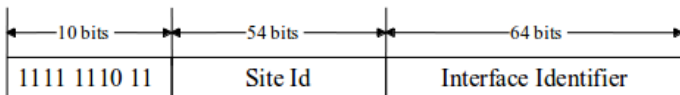
```
root@n7:/# ifconfig eth0
eth0      Link encap:Ethernet      HWaddr 00:00:00:aa:00:07
          inet addr:10.0.3.10  Bcast:0.0.0.0  Mask:255.255.255.0
          inet6 addr: 2001:db8:1234:3::10/64 Scope:Global
          inet6 addr: 2001:db8:1234:3:200:ff:feaa:7/64 Scope:Global
          inet6 addr: fe80::200:ff:feaa:7/64 Scope:Link
          inet6 addr: 2001:db8:1234:3:f8b0:a208:ca54:4ef5/64 Scope:Global
          UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  Metric:1

root@n7:/# ip addr add fe80::2222:2222:2222:2222/64 dev eth0

root@n7:/# ifconfig eth0 #ip addr show dev eth0
eth0      Link encap:Ethernet      HWaddr 00:00:00:aa:00:07
          inet addr:10.0.3.10  Bcast:0.0.0.0  Mask:255.255.255.0
          inet6 addr: 2001:db8:1234:3::10/64 Scope:Global
          inet6 addr: fe80::2222:2222:2222:2222/64 Scope:Link
          inet6 addr: 2001:db8:1234:3:200:ff:feaa:7/64 Scope:Global
          inet6 addr: fe80::200:ff:feaa:7/64 Scope:Link
          UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
```

Direcciones IPv6 de Site-Local

- **Site-local Address**

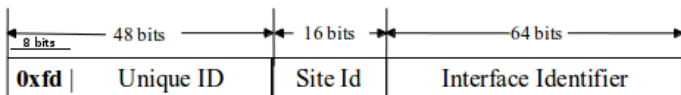


- **Prefijo:** FEC0::/10.
- **Alcance:** sitio u organización. Similar a las redes privadas de IPv4.
- Dificultad de establecer los límites.

Desaconsejado su uso en la RFC 3879, Deprecating Site Local Addresses, de 2004

Direcciones IPv6 de Sitio Únicas

- **Unique Local Address (ULA)**



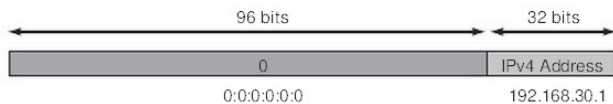
- **Prefijo:** FC00::/7, dividido en FC00::/8 y FD00::/8.
- **Prefijo Utilizado:** FD00::/8, [xxxxxxxL] L bit = 1 (def. local).
- **Alcance:** sitio u organización.
- Definidas en RFC-4193. Reemplazan las direcciones de Site Local.

Unique ID debe ser generado de forma (pseudo)-aleatoria

Direcciones IPv4-compat IPv6

- **IPv4-compat IPv6 (desaconsejadas)**

- Usadas para la transición. Definidas en RFC-4291 y desaconsejadas.
- Asigna a un IPv4 global única una IPv6.



IPv4-Compatible Address = 0:0:0:0:0:0:192.168.30.1
= ::192.168.30.1
= ::C0A8:1E01

IPv4-Compat IPv6 son desaconsejadas en RFC-4291, 2006.

Direcciones IPv4-mapped IPv6

- **IPv4-mapped IPv6**
 - Uso definido en RFC-4038.



fuentes gráficas:

<http://blog.alansoon.com/others/ipv6-addressing-vs-ipv4-on-ipv6-day-internet-technology-review-online-infrastructure>

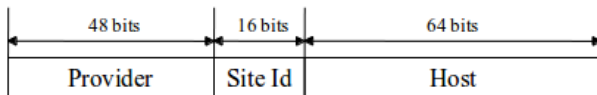
Direcciones IPv4-mapped IPv6 (ejemplo)

```
root@n7:/# ip -6 addr add ::10.0.3.10/64 dev eth0
root@n7:/# ip -6 addr add ::ffff:10.0.3.10/64 dev eth0

root@n7:/# ifconfig eth0
eth0      Link encap:Ethernet  HWaddr 00:00:00:aa:00:07
          inet addr:10.0.3.10  Bcast:0.0.0.0  Mask:255.255.255.0
          inet6 addr: 10.0.3.10/64  Scope:Global
          inet6 addr: 2001:db8:1234:3::10/64  Scope:Global
          inet6 addr: 2001:db8:1234:3:200:ff:feaa:7/64  Scope:Global
          inet6 addr: fe80::200:ff:feaa:7/64  Scope:Link
          inet6 addr: 2001:db8:1234:3:f8b0:a208:ca54:4ef5/64  Scope:Global
          inet6 addr: ::10.0.3.10/64  Scope:Compat
          UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
          ...
```

Direcciones IPv6 Globales

- **Aggregatable Global Unicast Address**



- **Prefijo:** cedidos por un provider.
- **Alcance:** Internet. Similar a las direcciones públicas de IPv4.

Direcciones Globales (cont.)

- Generación de IID:
 - Usando IEEE MAC-64 (**desaconsejado en RFC-8064**)
 - Extended Unique Identifier 64, EUI-64 derivado de IEEE MAC-48, EUI-48 (**desaconsejado en RFC-8064 para dir. estables**)
 - De forma manual.
 - RFC-4941 Privacy Extensions for Stateless Address Autoconfiguration (dir. temporales).
 - RFC-7217 A Method for Generating Semantically Opaque Interface Identifiers with IPv6 Stateless Address Autoconfiguration (SLAAC).
- Finalmente se generan con el prefijo link-local y realiza DAD (Duplicate Address Detection).

RFC 7217, IID estables y opacos para SLAAC

- Cálculo del IID sin exponer el ID del dispositivo.
- $RID = F(Prefix, Net_{iface}, NetworkID, DADCounter, secretkey)$
- $F()$: función pseudorandom, como SHA1, SHA-256, MD5(no aceptable).
- *Prefix* : valor recibido por RA o link-local.
- *Net_{iface}* : forma de identificar la interfaz, un índice, la MAC, el nombre u otro valor.
- *NetworkID* : valor que identifica a la red conectada, por ejemplo SSID para el caso de wifi (opcional).
- *DADCounter* : contador usado para resolver los conflictos con dir. Se debe almacenar en memoria persistente (HD).
- *SecretKey* : clave secreta de la menos 128 bits.
- El IID finalmente se obtiene tomando los bits del *RID* necesarios desde el LSb.

Direcciones IPv6 Globales (ejemplo)

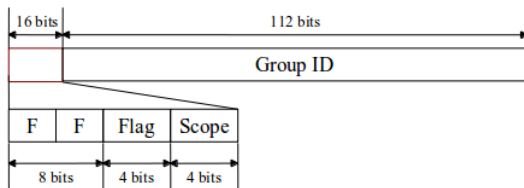
```
root@n7:/# ip addr show dev eth0
26: eth0: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 qdisc pfifo_fast state UP qlen 1000
    link/ether 00:00:00:aa:00:07 brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
    inet 10.0.3.10/24 scope global eth0
        inet6 2001:db8:1234:3:3cb2:67a8:b0d6:2214/64 scope global temporary dynamic
            valid_lft 86392sec preferred_lft 14392sec
        inet6 2001:db8:1234:3:200:ff:feaa:7/64 scope global dynamic
            valid_lft 86392sec preferred_lft 14392sec
        inet6 2001:db8:1234:3::10/64 scope global
            valid_lft forever preferred_lft forever
    inet6 fe80::2222:2222:2222:2222/64 scope link
        valid_lft forever preferred_lft forever
    inet6 fe80::200:ff:feaa:7/64 scope link
        valid_lft forever preferred_lft forever
```

Direcciones IPv6 Globales (ejemplo 2)

```
root@n7:/# sysctl net.ipv6.conf.eth0.addr_gen_mode=2|3
net.ipv6.conf.eth0.addr_gen_mode = 3
root@n7:/# ifconfig eth0 down ; ifconfig eth0 up
root@n7:/# ip addr show dev eth0
12: eth0@if13: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 qdisc noqueue state UP group default qlen 1000
    link/ether 00:00:00:aa:00:01 brd ff:ff:ff:ff:ff:ff link-netnsid 0
    inet6 2001::b7ab:71a3:b605:f45f/64 scope global dynamic mngtmpaddr stable-privacy
        valid_lft 86396sec preferred_lft 14396sec
    inet6 fe80::988e:62bb:c7f2:5617/64 scope link stable-privacy
        valid_lft forever preferred_lft forever
root@n7:/# sysctl net.ipv6.conf.eth0.stable_secret
net.ipv6.conf.eth0.stable_secret = df59:989e:cdba:94fd:b1bb:6113:d4de:56c4
```

Direcciones IPv6 Multicast

- **Multicast Address**



- **Prefijo:** FF00::/8
- **Flags:** permanente, temporaria. Otros reservados.
- **Alcance:** 1: nodo local, 2: link local, 5: site local, 8: org. local, E: global.
- **GID:** grupo de multicast.

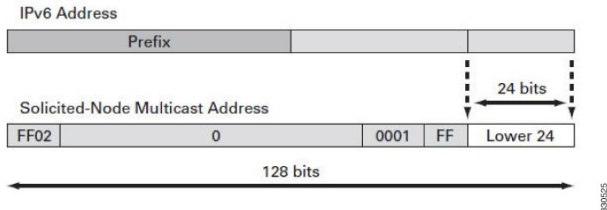
Direcciones IPv6 Multicast (cont.)

- Node-Local/Interface-Local: FF01::1, FF01::2 (no salen a la red).
- Link-Local: (quedan en la LAN).
 - FF02::1 (todos los nodos en la LAN) equivale a 224.0.0.1. Posible reemplazo lim. broadcast: 255.255.255.255.
 - FF02::2 (todos los routers en la LAN) 224.0.0.2.
 - FF02::5 OSPFv3 All SPF routers (224.0.0.5)
 - FF02::6 OSPFv3 All DR routers (224.0.0.6)
 - FF02::8 IS-IS for IPv6 routers.
 - FF02::9 RIP routers (224.0.0.9).
 - FF02::1:2 All DHCP-Agents (255.255.255.255).
- Site-Local: (quedan en el site).
 - FF05::2 All routers.
 - FF05::1:3 All-dhcp-servers RFC-3315.
- Generales:
 - FF0X::FB mDNSv6 (Mcast DNS).
 - FF0X::102 NTP.

Direcciones IPv6 Multicast SD

• Solicited Node Multicast Address (SD)

- Usada para ND (Neighbor Discovery) en lugar de flooding en la LAN.
- Generada a partir de unicast/anycast.
- Por cada unicast/anycast debe hacer join de la multicast.

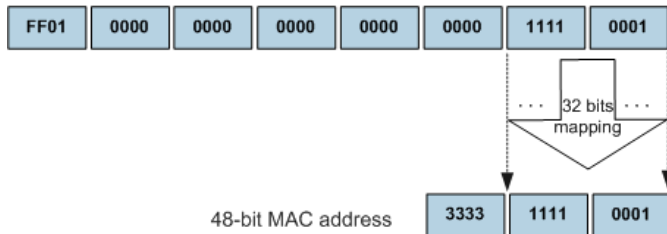


fuelle: <http://www.cisco.com/>

IPv6 Multicast mapeada en IEEE EUI-48

- IPv4 mcast mapped to Ethernet:
 - 01:00:5E:00:00:00 - 01:00:5E:7F:FF:FF.
 - 23 LS bits de mcast IPv4 en MAC.
- IPv6 mcast mapped to Ethernet:
 - 33:33:00:00:00:00 - 33:33:FF:FF:FF:FF.
 - 32 LS bits de mcast IPv6 en MAC.

128-bit IPv6 address



Uso de Direcciones IPv6 Multicast

• Multicast

```
root@n7:/# netstat -g -A inet6 -n
Active Internet connections (w/o servers)
Proto Recv-Q Send-Q Local Address          ...
IPv6/IPv4 Group Memberships
Interface      RefCnt Group
-----
lo              1      ff02::1
eth0            1      ff02::1:ff54:4ef5
eth0            2      ff02::1:ffaa:7
eth0            1      ff02::1:ff00:10
eth0            1      ff02::1

root@n7:/# ip -6 maddr show
9: lo
inet6 ff02::1
26: eth0
inet6 ff02::1:ff54:4ef5
inet6 ff02::1:ffaa:7 users 2
inet6 ff02::1:ff00:10
inet6 ff02::1
```

Uso de Direcciones IPv6 Multicast (cont.)

• Multicast

```
root@n7:/# cat /proc/net/igmp6
```

9	lo	ff020000000000000000000000000001	1	0000000C	0
26	eth0	ff020000000000000000000001ff544ef5	1	00000004	0
26	eth0	ff020000000000000000000001fffaa0007	2	00000004	0
26	eth0	ff020000000000000000000001ff000010	1	00000004	0
26	eth0	ff020000000000000000000000000001	1	0000000C	0

```
root@n7:/# cat /proc/net/dev_mcast
```

26	eth0	1	0	333300000001
26	eth0	1	0	3333ff000010
26	eth0	1	0	01005e000001
26	eth0	1	0	3333fffaa0007
26	eth0	1	0	3333ff544ef5

Direcciones IPv6 - Casos Especiales

- Any (sin especificar):
 - ::0/0
- Loopback/Localhost:
 - ::1/128
- Documentación:
 - 2001:db8::/32
- 6Bone:
 - 3FFE::/16, devueltas al IANA en 2006.

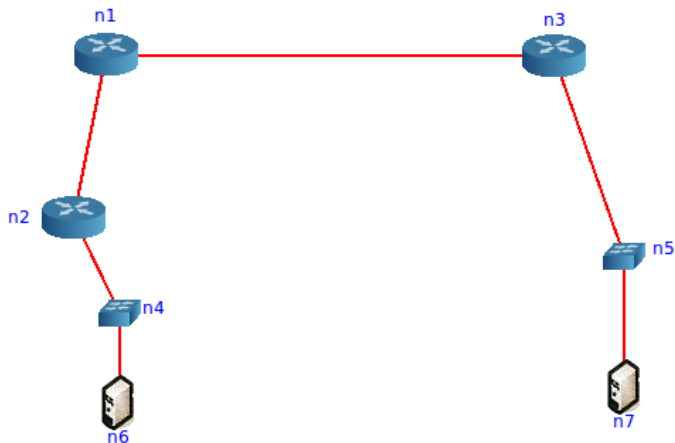
Direcciones IPv6 loopback (ejemplo)

```
root@n7:/# ip -6 addr show dev lo
1: lo: <LOOPBACK,UP,LOWER_UP> mtu 65536 state UNKNOWN qlen 1000
    inet6 ::1/128 scope host
        valid_lft forever preferred_lft forever
```

```
root@n8:/# ifconfig lo
lo          Link encap:Local Loopback
            inet addr:127.0.0.1 Mask:255.0.0.0
            inet6 addr: ::1/128 Scope:Host
            UP LOOPBACK RUNNING MTU:16436 Metric:1
```

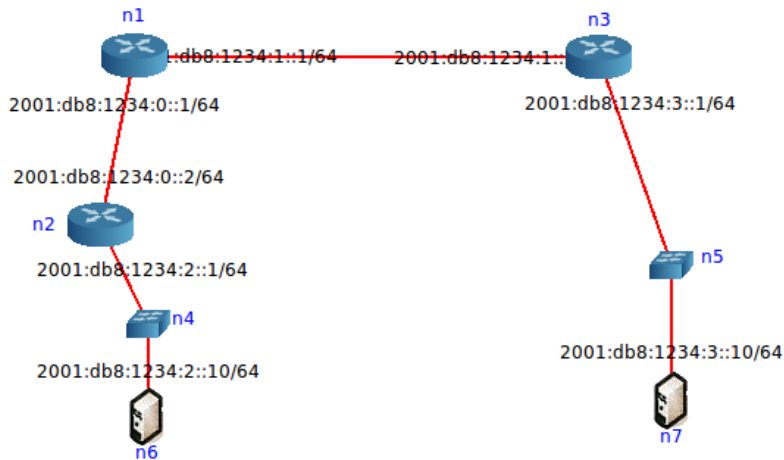
Red de Ejemplo

- Caso 1: 2001:db8:1234::/48.
- Caso 2: 2001:db8:1234:1234::/56.
- Se requieren 4 sub-redes.



Red de Ejemplo (cont.)

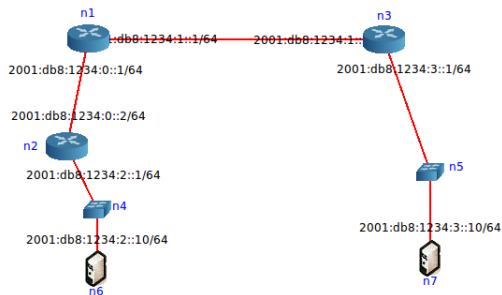
- Caso 1: 2001:db8:1234::/48.
- Tomo 16 bits para sub-redes 2001:db8:1234:_____::/64.



Red de Ejemplo (cont.)

- Subredes:

- Red 0: 2001:db8:1234:0000::/64.
- Red 1: 2001:db8:1234:0001::/64.
- Red 2: 2001:db8:1234:0002::/64.
- Red 3: 2001:db8:1234:0003::/64.

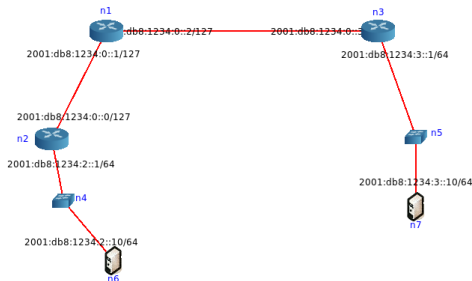


Red de Ejemplo (cont.)

- Qué sucede si lo resuelvo con solo 2 bits ?
- Subredes:
 - Red 0: 2001:db8:1234:0000 0000 0000 0000₂::/50,
2001:db8:1234:00::/50.
 - Red 1: 2001:db8:1234:0100 0000 0000 0000₂::/50,
2001:db8:1234:40::/50.
 - Red 2: 2001:db8:1234:1000 0000 0000 0000₂::/50,
2001:db8:1234:80::/50.
 - Red 3: 2001:db8:1234:1100 0000 0000 0000₂::/50,
2001:db8:1234:C0::/50.
- No escala en caso de necesitar agregar redes.
- SLAAC no funcionaba con prefijo \neq /64.
- Sirve en caso de necesitar hacer sub-redes dentro de las subredes.

Red de Ejemplo (cont.)

- Qué sucede si las punto a punto utilizo un /127.
- Subredes:
 - Red 0: 2001:db8:1234:0000::0/127.
 - Red 1: 2001:db8:1234:0000::2/127.
 - Red 2: 2001:db8:1234:0002::/64.
 - Red 3: 2001:db8:1234:0003::/64.
- Tengo menos desperdicio.
- No voy a tener más de 2 equipos en las p2p.



Red de Ejemplo (cont.)

- Caso 2: 2001:db8:1234::/56.
- Tomo 8 bits para sub-redes 2001:db8:1234:00__::/64.
- Subredes:
 - Red 0: 2001:db8:1234:0000::/64.
 - Red 1: 2001:db8:1234:0001::/64.
 - Red 2: 2001:db8:1234:0002::/64.
 - Red 3: 2001:db8:1234:0003::/64.



Ver Tabla de Ruteo

● RIB (Tabla de Ruteo)

```
root@n7:/# ip -6 route show
2001:db8:1234:3::/64          dev eth0  proto kernel  metric 256
fe80::/64                   dev eth0  proto kernel  metric 256
default via 2001:db8:1234:3::1 dev eth0  metric 1024
default via fe80::200:ff:feaa:5 dev eth0  proto kernel ... expires 24sec
...
```

```
root@n7:/# netstat -nr -A inet6
```

Kernel IPv6 routing table

Destination	Next Hop	Flag	Met	Ref	Use	If
2001:db8:1234:3::/64	::	U	256	0	1	eth0
fe80::/64	::	U	256	0	0	eth0
::/0	2001:db8:1234:3::1	UG	1024	0	0	eth0
::/0	fe80::200:ff:feaa:5	UGDAe	1024	0	0	eth0
::1/128	::	Un	0	1	1	lo
...						

Tabla de Ruteo en Routers

```
root@n1:/# ip -6 route show
2001:db8:1234::/127 dev eth0  proto kernel  metric 256
2001:db8:1234::2/127 dev eth1  proto kernel  metric 256
2001:db8:1234:2::/64 via 2001:db8:1234:: dev eth0  metric 1024
2001:db8:1234:3::/64 via 2001:db8:1234::3 dev eth1  metric 1024
fe80::/64 dev eth0  proto kernel  metric 256
fe80::/64 dev eth1  proto kernel  metric 256
```

```
root@n3:/# ip -6 route show
2001:db8:1234::2/127 dev eth0  proto kernel  metric 256
2001:db8:1234:3::/64 dev eth1  proto kernel  metric 256
fe80::/64 dev eth0  proto kernel  metric 256
fe80::/64 dev eth1  proto kernel  metric 256
default via 2001:db8:1234::2 dev eth0  metric 1024
```

Ruteo en IPv6

- Ruteo Estático.
- RIP-ng.
- OSPFv3.
- IS-IS.
- MP-BGP.
- ...

Referencias

- IPv6 Essentials (Integrating IPv6 into your IPv4 Network) Silvia Haggen. O'Reilly. 2nd Ed, 2006.
- Migrating to IPv6. Marc Blanchet. John Wiley and Sons, 2006.
- Tutorial de Jordi Palet Martínez:
<http://www.consulintel.es/html/ForoIPv6/Documentos/Tutorial de IPv6.pdf>.
- TCP/IP Illustrated, Volume 1: The Protocols, 2nd Ed. W. Richard Stevens, Kevin R. Fall. Addison-Wesley Professional Computing Series, 2011.
- IPv6 for All: <http://www.ipv6tf.org/pdf/ipv6forall.pdf>.