

IPv6 (Internet Protocol version 6)

Barbieri Andres - Robles Matías

2018

Facultad de
Informática



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

Contenidos

1

Revisión de IPv4

2

Introducción a IPv6

- Generalidades de IPv6
- Direccionamiento IPv6
- Protocolos dentro de IPv6
- ICMPv6
- Neighbor Discovery (NDP)
- Auto-configuración
- PMTU Discovery
- Estado de IPv6
 - Transición/Coexistencia
 - Evolución de IPv6

3

Referencias

Contenidos

1

Revisión de IPv4

2

Introducción a IPv6

- Generalidades de IPv6
- Direccionamiento IPv6
- Protocolos dentro de IPv6
- ICMPv6
- Neighbor Discovery (NDP)
- Auto-configuración
- PMTU Discovery
- Estado de IPv6
 - Transición/Coexistencia
 - Evolución de IPv6

3

Referencias

Contenidos

1

Revisión de IPv4

2

Introducción a IPv6

- Generalidades de IPv6
- Direccionamiento IPv6
- Protocolos dentro de IPv6
- ICMPv6
- Neighbor Discovery (NDP)
- Auto-configuración
- PMTU Discovery
- Estado de IPv6
 - Transición/Coexistencia
 - Evolución de IPv6

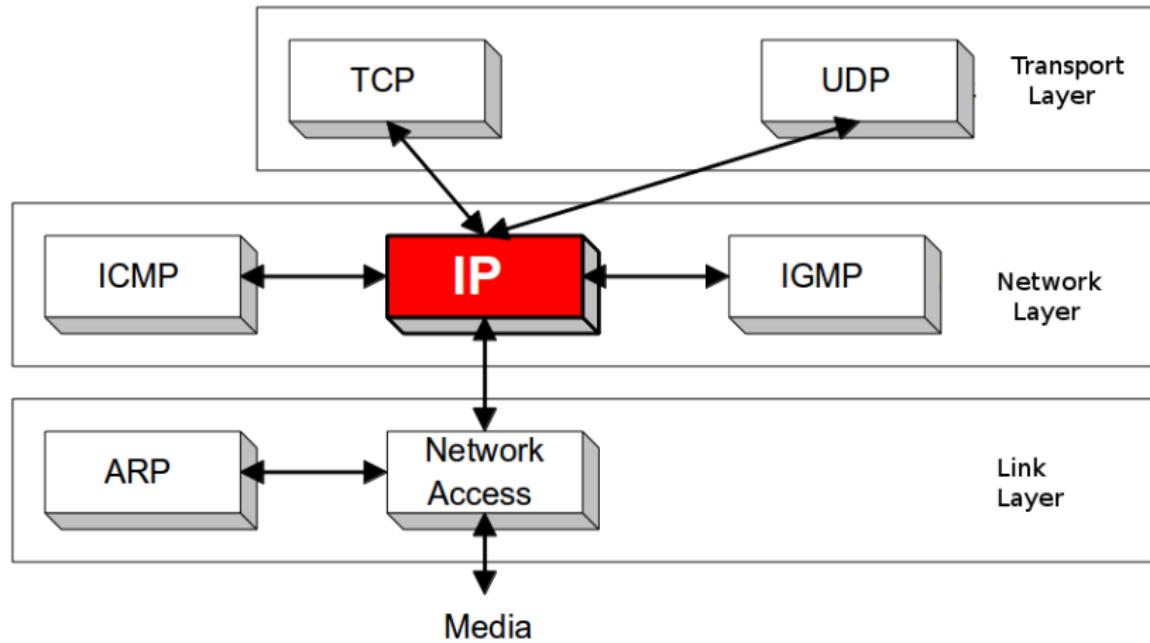
3

Referencias

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:
 - Direccionamiento.
 - Ruteo/Forwarding.
 - Fragmentación.
 - Mux/Demux de protocolos superiores.
 - Otras: como evitar loops.

Esquema de IPv4

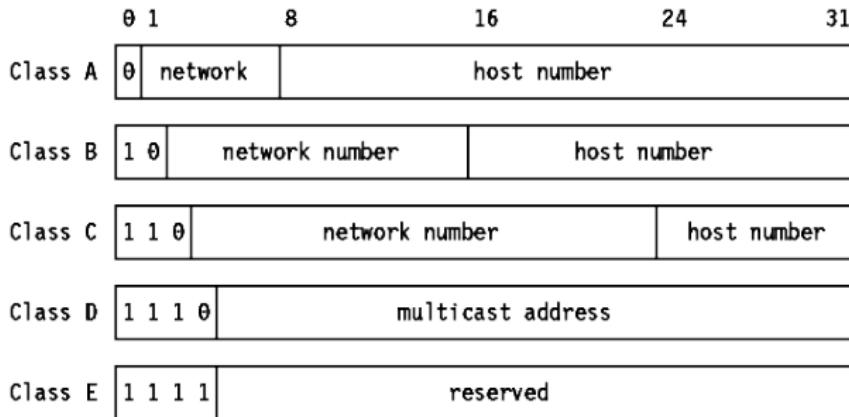


Formato cabecera IPv4

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

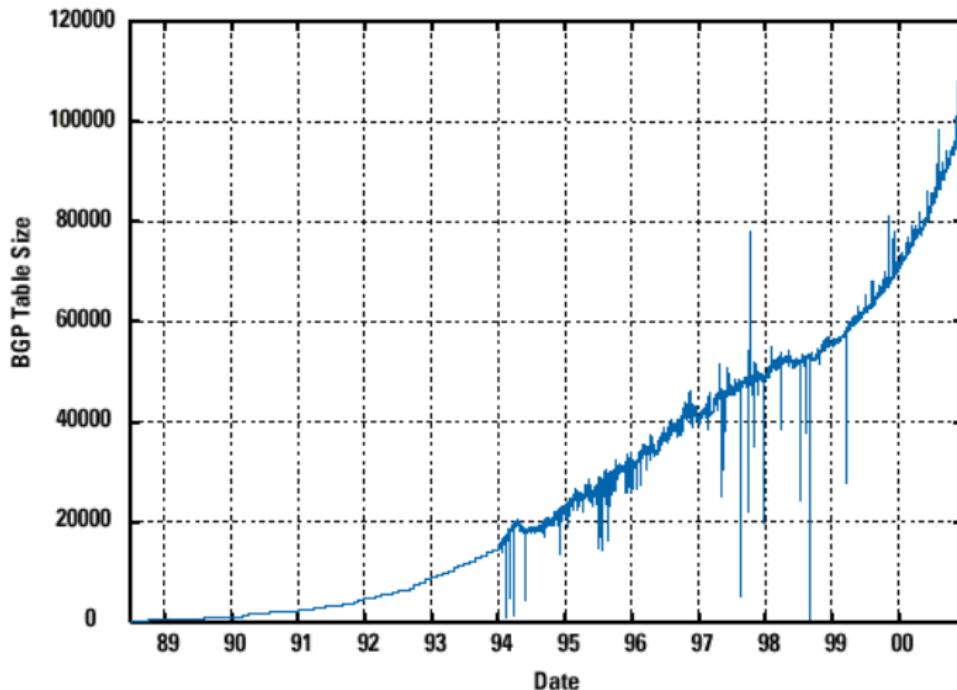
Direcciones IPv4

- Inicialmente Classful.



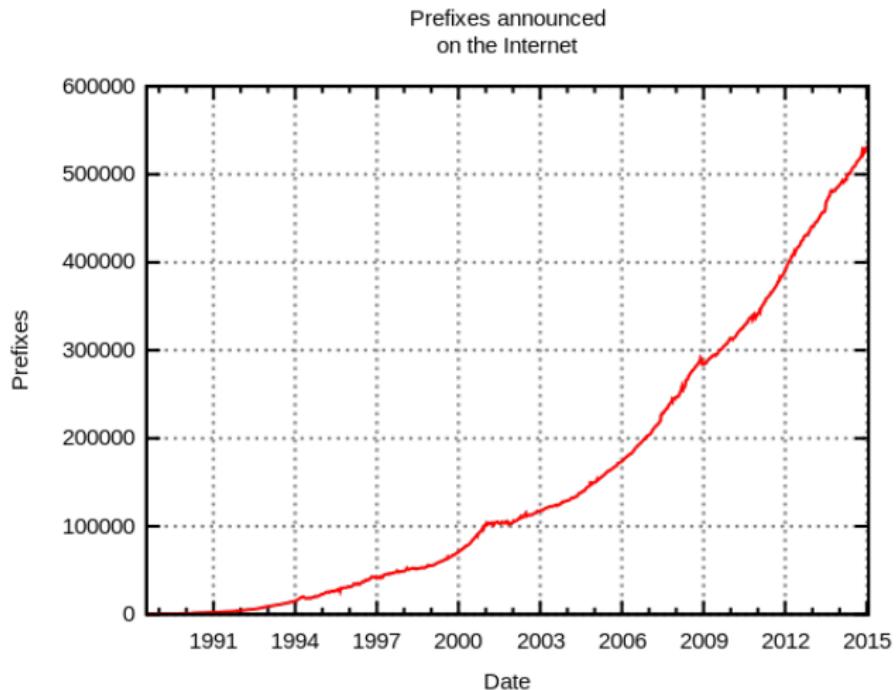
- Máscara de red, long. de prefijo: subnetting:
 $192.168.30.3\ 255.255.255.0 == 192.168.30.3/24$.
- CIDR (Classless Inter Domain Routing).

Crecimiento Internet



fuente: [http://www.cisco.com IPJ v4n1 \(Analyzing the Internet BGP Routing Table\)](http://www.cisco.com IPJ v4n1 (Analyzing the Internet BGP Routing Table))

Crecimiento Internet (cont.)

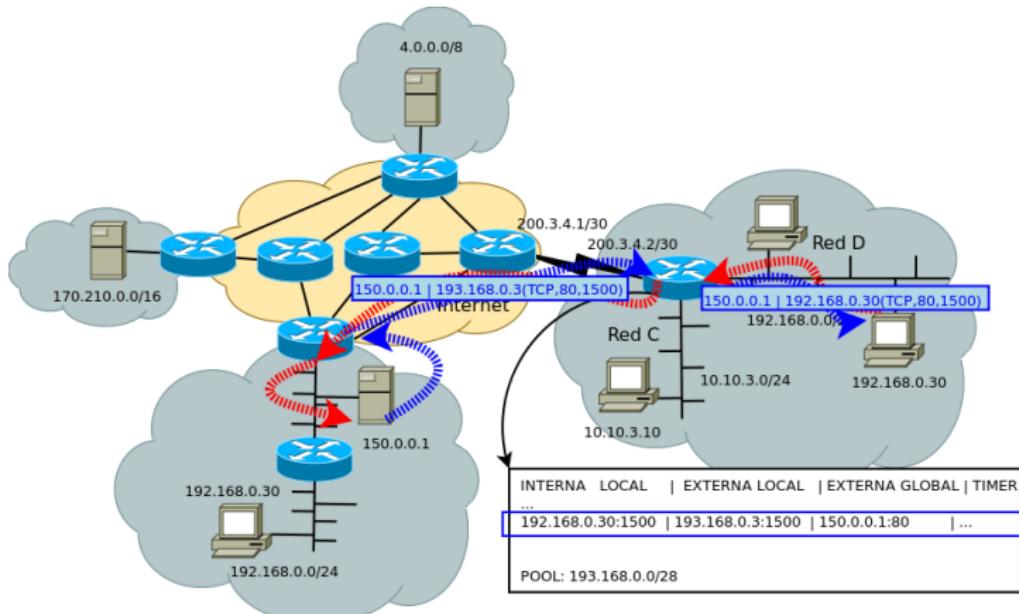


fuente: <https://commons.wikimedia.org> basado en www.potaroo.net

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, size(datagrama) > 64KB.
- 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 existe más el campo 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_PERM
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=14288 T
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=85877 T
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=85877 T
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=85877 T

► 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 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 4d 00 00 02 04 05 a0 04 028@.M
0050 08 oa 00 01 4f 75 00 00 00 00 01 03 03 04ou..

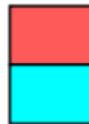
Flowlabel (ipv6.flow), 4 bytes Packets: 30 Displayed: 30 Marked: 0 Load time: 0:00.127 Profile: Default

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									



removed
changed

Cabecera IPv4 vs IPv6

- Comparación de Cabeceras:



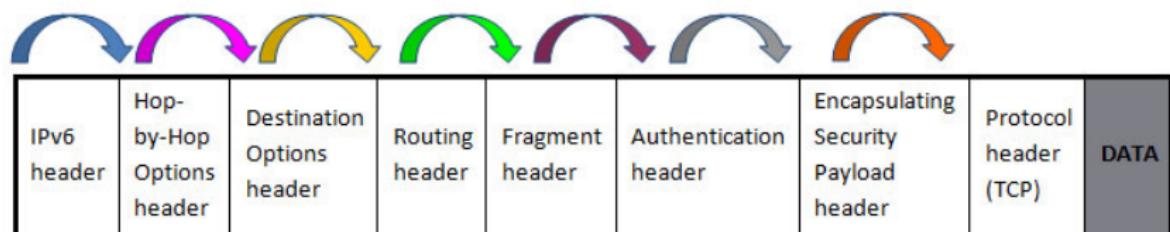
Cabeceras de extensión

- 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.



fuente: <http://www.cisco.com/web/about/security/intelligence/FNIPv6.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=0xbff2f2f2)
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 = Flowlable: 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: 0xbff2f2769

► [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:
 - 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.)

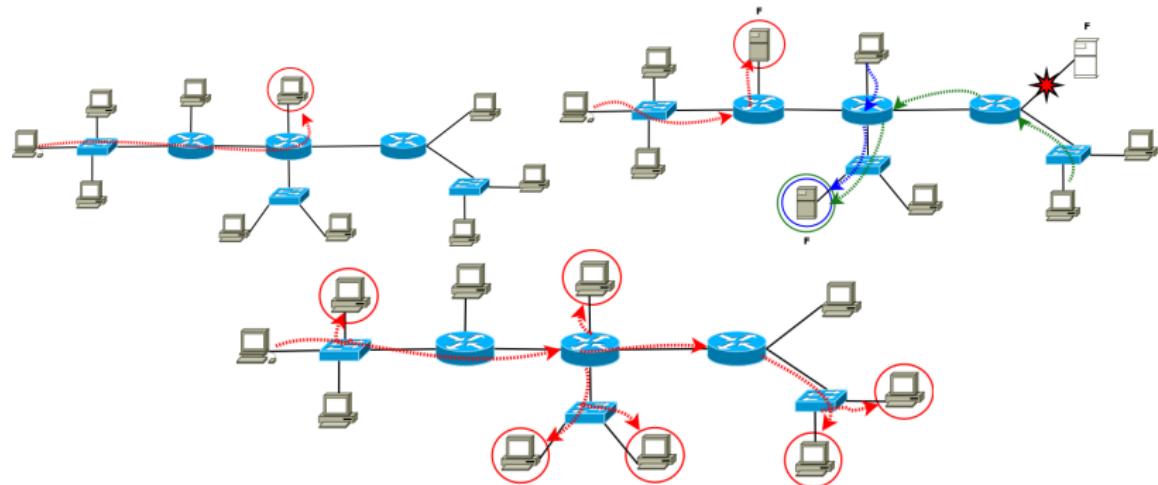
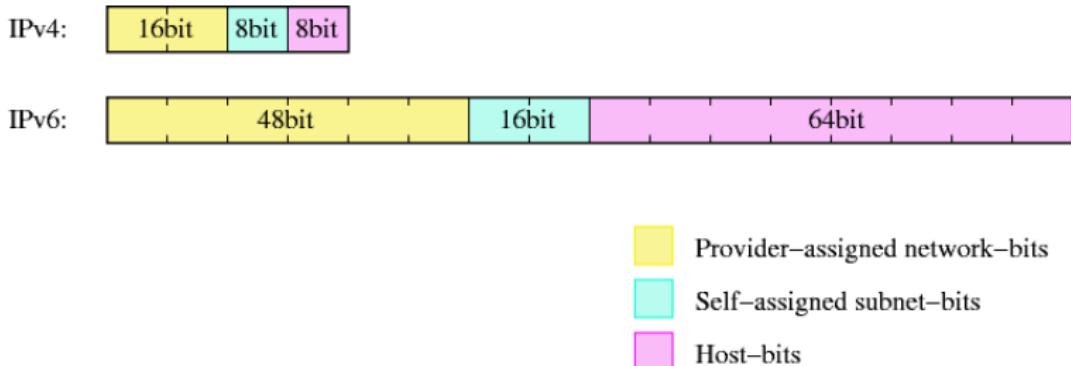


Figura: unicast, anycast y multicast

Direcciones IPv6 (cont.)



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

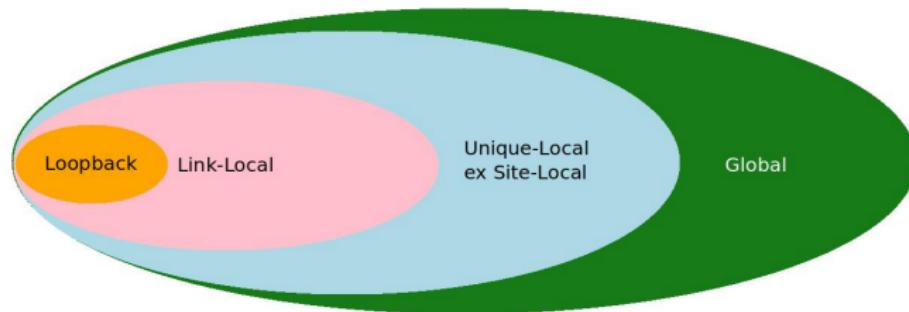
- 128 bits.
- Unicast: separadas en red, [subred] y host.
- No hay clases de direcciones.

Notación Direcciones IPv6

- Hexadecimal en grupos de 16 bits, separadas por ":".
- **nnnn:nnnn: nnnn:ssss: hhhh:hhhh: hhhh:hhhh /pxflen**
- 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 utilizar 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](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.

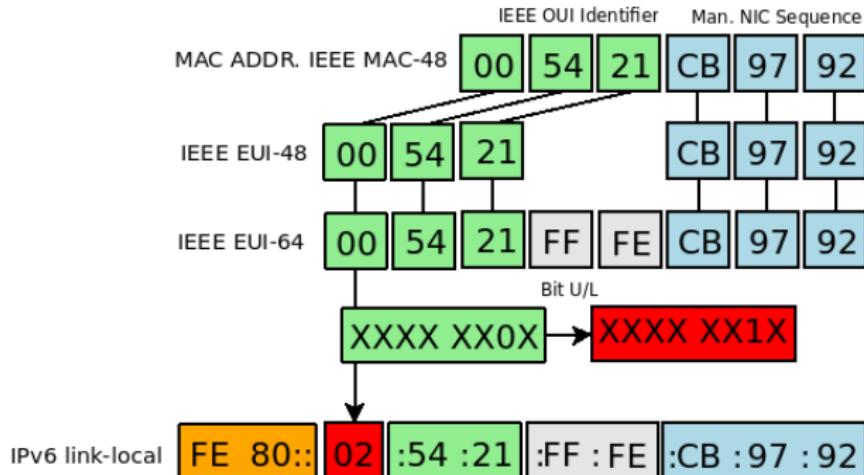
Obligatoria en todas las interfaces multiacceso

Direcciones IPv6 locales (cont.)

- Generación de IID:
 - Usando IEEE MAC-64 (**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).

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.



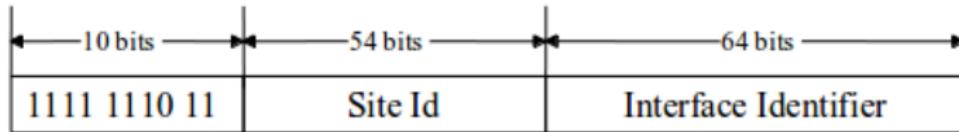
Andrés Barbieri 2005 (c)

RFC 7217, IID estables y opacos para SLAAC

- Cálculo del IID sin exponer el ID del dispositivo.
- $RID = F(Prefix, Net_{Interface}, NetworkID, DADCounter, secretkey)$
- $F()$: función pseudorandom, como SHA1, SHA-256, MD5(no aceptable).
- $Prefix$: valor recibido por RA o link-local.
- $Net_{Interface}$: 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 al menos 128 bits.
- El IID finalmente se obtiene tomando los bits del RID necesarios desde el LSb.

Direcciones IPv6 de Site-Local

- **Site-local Address**

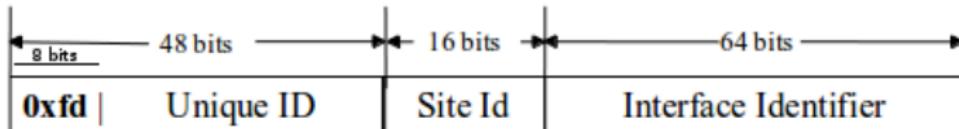


- **Prefijo:** FEC0::/10.
- **Alcance:** sitio u organización. Similar a las redes privadas de IPv4.
- Dificultad de establecer los límites.

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

Direcciones IPv6 de Sitio Únicas

- **Unique Local Address (ULA)**



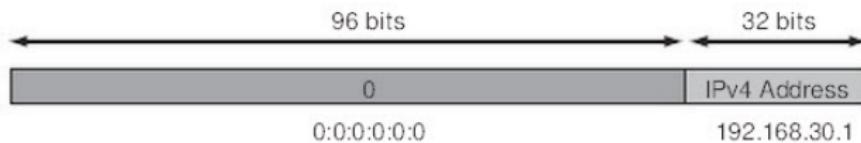
- **Prefijo:** FC00::/7, dividido en FC00::/8 y FD00::/8.
- **Prefijo Utilizado:** FD00::/8, [xxxxxxxxL] L bit = 1 (def. local).
- **Alcance:** sitio u organización.
- Definidas en RFC-4193. Reemplazan las direcciones de Site Local.

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.



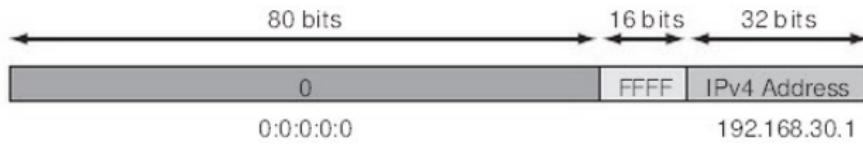
IPv4-Compatible Address = 0:0:0:0:0:192.168.30.1
= ::192.168.30.1
= ::C0A8:1E01

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

Direcciones IPv4-mapped IPv6

- **IPv4-mapped IPv6**

- Uso definido en RFC-4038.

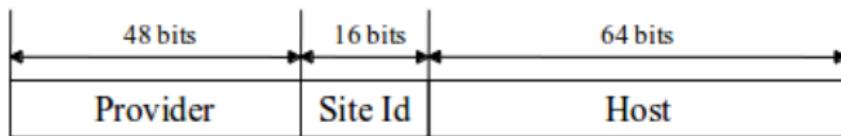


fuente gráficos:

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

Direcciones IPv6 Globales

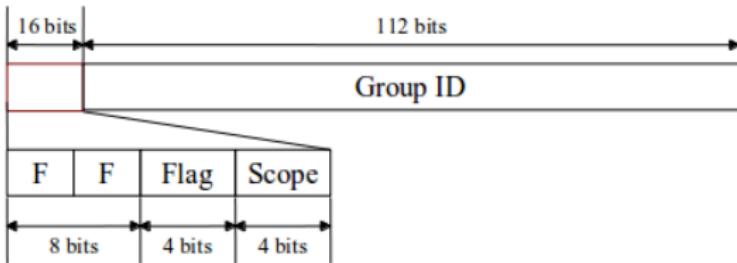
- **Aggregatable Global Unicast Address**



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

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.

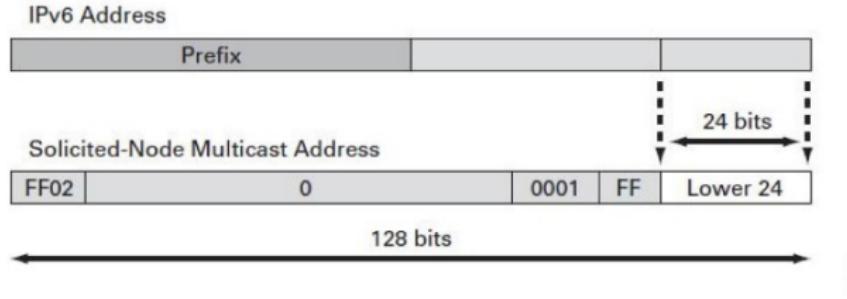
Direcciones IPv6 Multicast (cont.)

- 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.

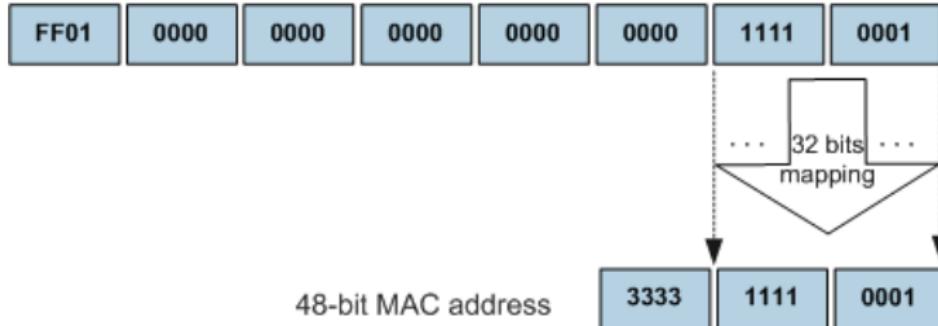


fuentе: <http://www.cisco.com/>

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

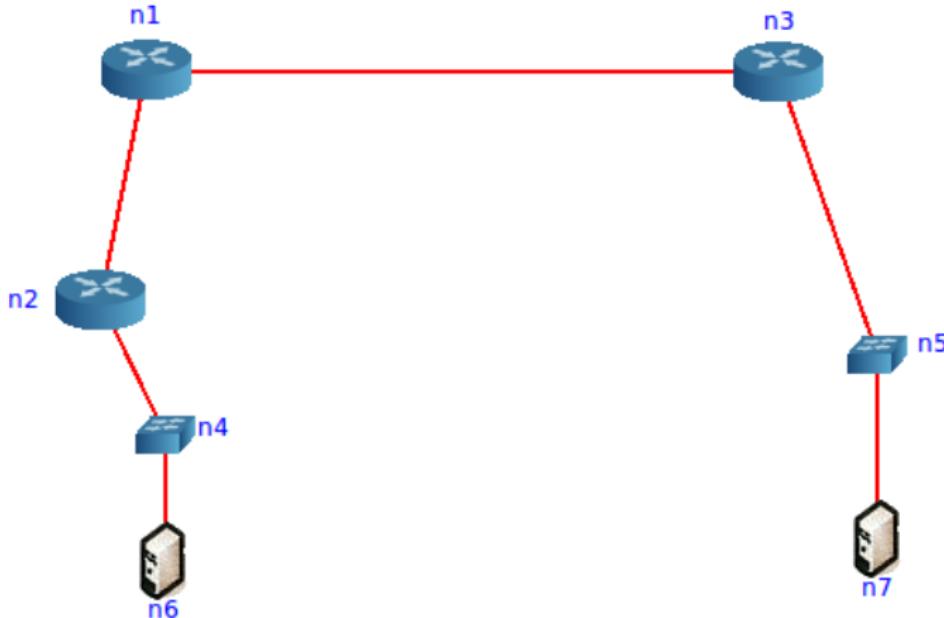


Direcciones IPv6 - Casos Especiales

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

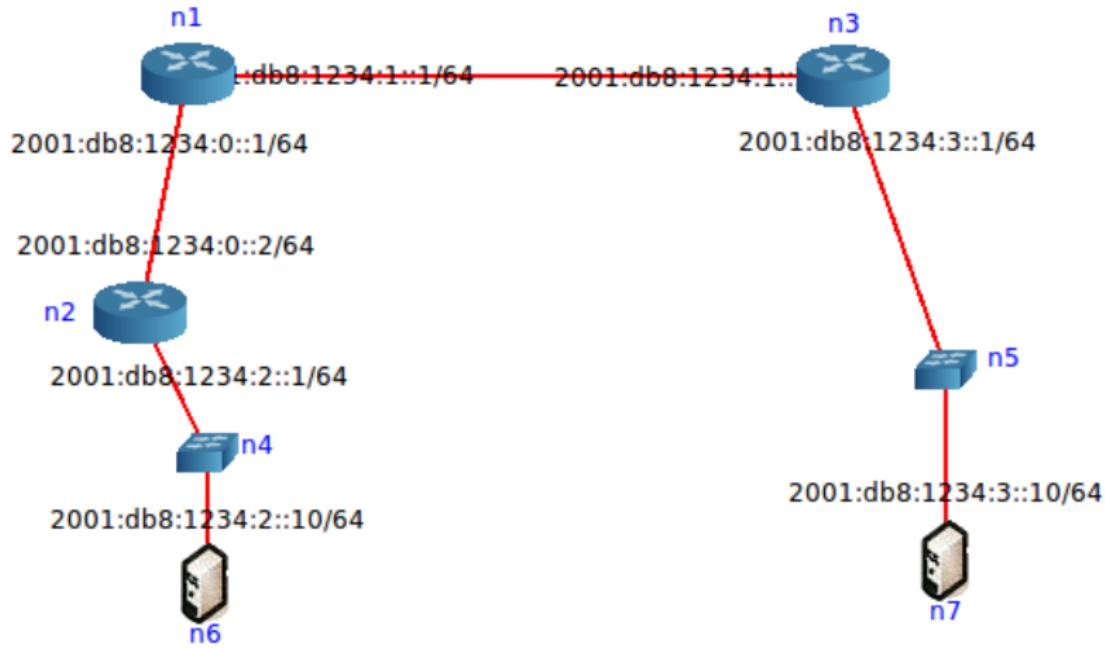
Red de Ejemplo

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



Red de Ejemplo (cont.)

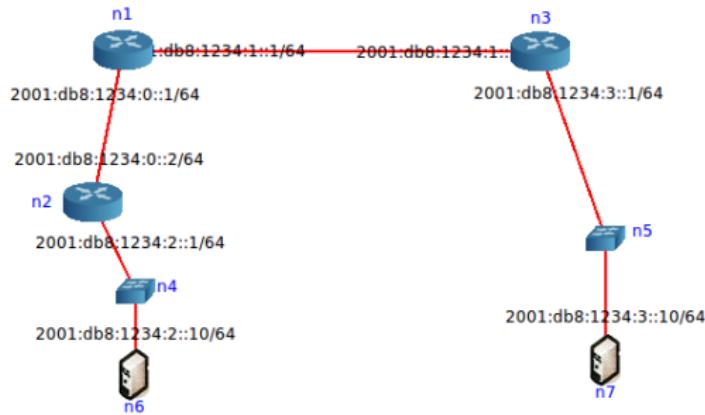
- Caso 1: 2001:db8:1234::/48.
- Tomo 16 bits para sub-redes 2001:db8:1234:_____::/64.



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.

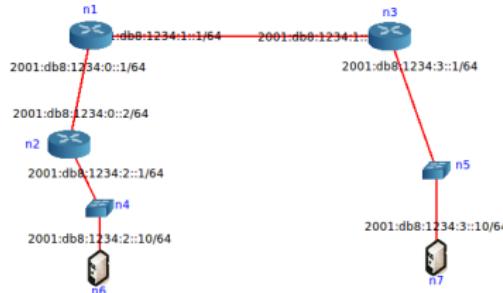


Red de Ejemplo (cont.)

- 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.)

- 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.



Comandos GNU/Linux IPv6

```
ifconfig eth0
ifconfig lo
ip -6 addr show
netstat -g -A inet6 -n
ip -6 maddr show
cat /proc/net/igmp6
cat /proc/net/dev_mcast
ip -6 addr add ::10.0.3.10/64 dev eth0
ip -6 addr add ::ffff:10.0.3.10/64 dev eth0
ifconfig eth0
ip -6 route show
netstat -nr -A inet6
```

Uso de Direcciones IPv6

- Link-local, global(es), loopback.

```
root@n7:/# ip -6 addr add 2001:db8:1234:3::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: 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:/# 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
```

Uso de Direcciones IPv6 (cont.)

- Globales generadas de forma diferente.

```
root@n7:/# ip -6 addr show
1: lo: <LOOPBACK,UP,LOWER_UP> mtu 16436
    inet6 ::1/128 scope host
        valid_lft forever preferred_lft forever
26: eth0: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 qdisc 1000
    inet6 2001:db8:1234:3:f8b0:a208:ca54:4ef5/64 scope global temporary dynamic
        valid_lft 86396sec preferred_lft 14396sec
    inet6 2001:db8:1234:3:200:ff:feaa:7/64 scope global dynamic
        valid_lft 86396sec preferred_lft 14396sec
    inet6 2001:db8:1234:3::10/64 scope global
        valid_lft forever preferred_lft forever
    inet6 fe80::200:ff:feaa:7/64 scope link
        valid_lft forever preferred_lft forever
```

Uso de Direcciones IPv6 (cont.)

● 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 (cont.)

● Multicast

```
root@n7:/# cat /proc/net/igmp
9      lo      ff02000000000000000000000000000000000000000000000000000000000001      1 0000000C 0
26     eth0    ff02000000000000000000000000000000000000000000000000000000000001ff544ef5      1 00000004 0
26     eth0    ff02000000000000000000000000000000000000000000000000000000000001ffaa0007      2 00000004 0
26     eth0    ff02000000000000000000000000000000000000000000000000000000000001ff000010      1 00000004 0
26     eth0    ff02000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000001      1 00000000C 0
```

```
root@n7:/# cat /proc/net/dev_mcast
26   eth0        1      0      3333000000001
26   eth0        1      0      3333ff0000010
26   eth0        1      0      01005e000001
26   eth0        1      0      3333ffaa0007
26   eth0        1      0      3333ff544ef5
```

Uso de Direcciones IPv6 (cont.)

- Compat, Mapped

```
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:fea:7/64 Scope:Global
                      inet6 addr: fe80::200:ff:fea: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
          ...
```

Uso de Direcciones IPv6 (cont.)

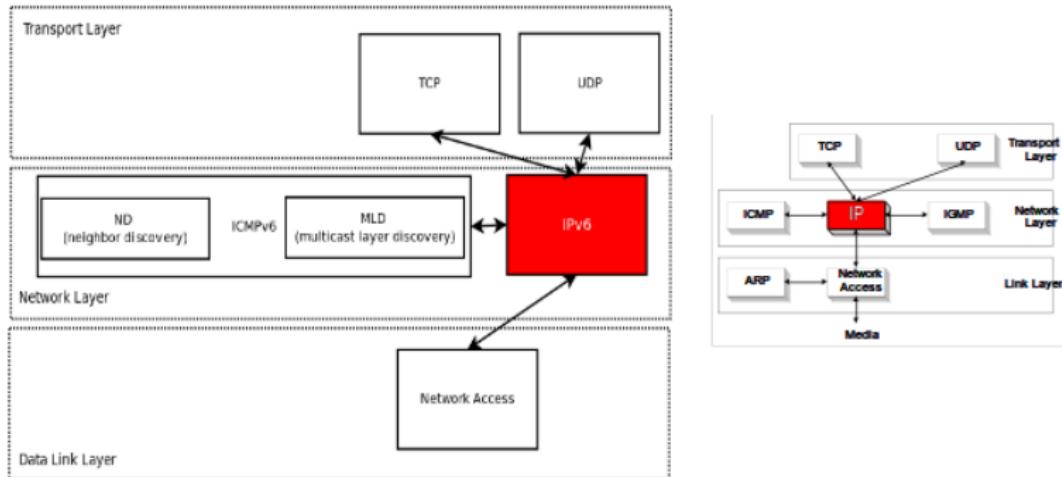
- RIB (Tabla de Ruteo)

```
root@n7:/# ip -6 route show
::/64                                dev eth0  proto kernel  metric 256
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:fea: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
::/64            ::               U    256 0     0 eth0
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:fea:5  UGDAe 1024 0     0 eth0
::/0              ::                   !n   -1  1     2 lo
::/128           ::                   Un   0   1     1 lo
...
```

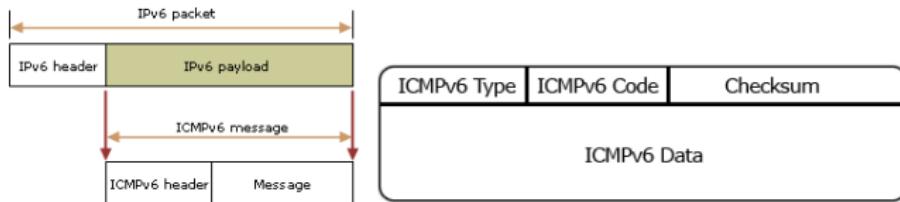
IPv6 Stack

- Cambia el plano de control según IPv4



Internet Control Message Protocol v6 (ICMPv6)

- ICMPv6 definido en RFC-4443.
- Parte fundamental del stack IPv6.
- Resuelve:
 - Multicast Listener Discovery (MLD), reemplazo de IGMP.
 - Neighbor Discovery Protocol (NDP), reemplazo de ARP y mensajes Router Discovery, Redirect.
 - Mensajes de control de ICMP: informativos (ping), errores.



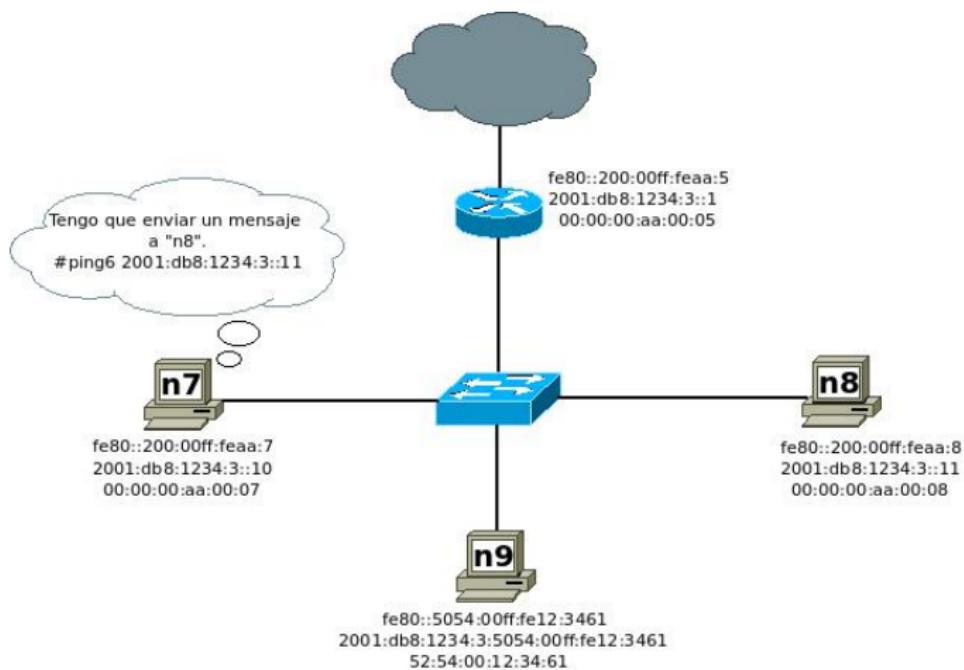
fuente: <http://www.microsoft.com>, <http://www.ipv6.com>

Neighbor Discovery

- Reemplaza básicamente al protocolo ARP de IPv4.
- Mapea direcciones lógicas (IPv6) a direcciones de Hardware (MAC, EUI-48, EUI-64).
- Trabaja conjuntamente con Ethernet (u otros protocolos de L2 multiacceso con broadcast: Bluetooth, Token Ring, FDDI, 802.11).
- Trabaja de forma dinámica, auto-aprendizaje, sin configuración.
- Puede configurarse de forma estática.
- Definido en RFC-4861.
- 2 tipos de mensajes: Neighbor Solicitation NS(135) y Neighbor Adv. NA(136).

Neighbor Discovery (cont.)

- Aprendizaje de direcciones:



Neighbor Discovery - NS y NA

- “n7” debe recurrir a un Neighbor Solicitation (NS).
- Como no sabe la MAC debe enviar un multicast L2 y L3.

```
root@n7:/# ip -6 addr show dev eth0
27: eth0: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 qdisc 1000
...
inet6 2001:db8:1234:3::10/64 scope global
    valid_lft forever preferred_lft forever
inet6 fe80::200:ff:feaa:7/64 scope link
    valid_lft forever preferred_lft forever

root@n7:/# ip -6 neigh show
fe80::200:ff:feaa:5 dev eth0 lladdr 00:00:00:aa:00:05 router STALE

root@n7:/# ping6 -c 5 2001:db8:1234:3::11 -I 2001:db8:1234:3::10
```

Neighbor Discovery NS

- Mensajes NS (Neighbor Solicitation):

No.	Time	Source	Destination	Length	Info
1	0.000000	2001:db8:1234:3::10	ff02::1:ff00:11	86	Neighbor Solicitation for 2001:db8:1234:3::11 from 00:00:00:aa:00:07
2	0.000151	2001:db8:1234:3::11	2001:db8:1234:3::10	86	Neighbor Advertisement 2001:db8:1234:3::11 (sol, ovr) is at 00:00:00:aa:00:07
3	0.000161	2001:db8:1234:3::10	2001:db8:1234:3::11	118	Echo (ping) request id=0x004e, seq=1, hop limit=64 (reply in 4)
4	0.000186	2001:db8:1234:3::11	2001:db8:1234:3::10	118	Echo (ping) reply id=0x004e, seq=1, hop limit=64 (request in 3)

```

▶ Frame 1: 86 bytes on wire (688 bits), 86 bytes captured (688 bits)
▶ Ethernet II, Src: 00:00:00:aa:00:07 (00:00:00:aa:00:07), Dst: 33:33:ff:00:00:11 (33:33:ff:00:00:11)
▼ Internet Protocol Version 6, Src: 2001:db8:1234:3::10 (2001:db8:1234:3::10), Dst: ff02::1:ff00:11 (ff02::1:ff00:11)
  ► 0110 .... = Version: 6
  .... 0000 0000 .... .... .... = Traffic class: 0x00000000
  .... .... 0000 0000 0000 0000 = Flowlabel: 0x00000000
  Payload length: 32
  Next header: ICMPv6 (58)
  Hop limit: 255
  Source: 2001:db8:1234:3::10 (2001:db8:1234:3::10)
  Destination: ff02::1:ff00:11 (ff02::1:ff00:11)
▼ Internet Control Message Protocol V6
  Type: Neighbor Solicitation (135)
  Code: 0
  Checksum: 0xf8db [correct]
  Reserved: 00000000
  Target Address: 2001:db8:1234:3::11 (2001:db8:1234:3::11)
  ▶ ICMPv6 Option (Source link-layer address : 00:00:00:aa:00:07)
    Type: Source link-layer address (1)
    Length: 1 (8 bytes)
    Link-layer address: 00:00:00:aa:00:07 (00:00:00:aa:00:07)

```

captures/ipv6-ns-na-icmp.pcap, rows: 1

Neighbor Discovery NA

- “n8” procesa el requerimiento y responde con un Neighbor Advertisement (NA):

No.	Time	Source	Destination	Length	Info
1	0.000000	2001:db8:1234:3::10	ff02::1:ff00:11	86	Neighbor Solicitation for 2001:db8:1234:3::11 from 00:00:00:aa:00:07
2	0.000151	2001:db8:1234:3::11	2001:db8:1234:3::10	86	Neighbor Advertisement 2001:db8:1234:3::11 (sol, ovr) is at 00:00:00:aa:00:07
3	0.000161	2001:db8:1234:3::10	2001:db8:1234:3::11	118	Echo (ping) request id=0x004e, seq=1, hop limit=64 (reply in 4)
4	0.000186	2001:db8:1234:3::11	2001:db8:1234:3::10	118	Echo (ping) reply id=0x004e, seq=1, hop limit=64 (request in 3)

► Frame 2: 86 bytes on wire (688 bits), 86 bytes captured (688 bits)
 ► Ethernet II, Src: 00:00:00:aa:00:08 (00:00:00:aa:00:08), Dst: 00:00:00:aa:00:07 (00:00:00:aa:00:07)
 ▾ Internet Protocol Version 6, Src: 2001:db8:1234:3::11 (2001:db8:1234:3::11), Dst: 2001:db8:1234:3::10 (2001:db8:1234:3::10)
 ► 0110 = Version: 6
 ► 0000 0000 = Traffic class: 0x00000000
 0000 0000 0000 0000 0000 = Flowlabel: 0x00000000
 Payload length: 32
 Next header: ICMPv6 (58)
 Hop limit: 255
 Source: 2001:db8:1234:3::11 (2001:db8:1234:3::11)
 Destination: 2001:db8:1234:3::10 (2001:db8:1234:3::10)
 ▾ Internet Control Message Protocol v6
 Type: Neighbor Advertisement (136)
 Code: 0
 Checksum: 0x54ef [correct]
 ► Flags: 0x00000000
 Target Address: 2001:db8:1234:3::11 (2001:db8:1234:3::11)
 ▾ ICMPv6 Option (Target link-layer address : 00:00:00:aa:00:08)
 Type: Target link-layer address (2)
 Length: 1 (8 bytes)
 Link-layer address: 00:00:00:aa:00:08 (00:00:00:aa:00:08)

captures/ipv6-ns-na-icmp.pcap, rows: 2

Neighbor Discovery NS, NA y PING-PONG

- “n7” debe recurrir a un Neighbor Solicitation:

```
root@n7:/# ping6 -c 5 2001:db8:1234:3::11 -I 2001:db8:1234:3::10
PING 2001:db8:1234:3::11(2001:db8:1234:3::11) from 2001:db8:1234:3::10 : 56 data bytes
64 bytes from 2001:db8:1234:3::11: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.222 ms
64 bytes from 2001:db8:1234:3::11: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.273 ms
64 bytes from 2001:db8:1234:3::11: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.344 ms
64 bytes from 2001:db8:1234:3::11: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.219 ms
64 bytes from 2001:db8:1234:3::11: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.181 ms
--- 2001:db8:1234:3::11 ping statistics ---
5 packets transmitted, 5 received, 0% packet loss, time 4000ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.181/0.247/0.344/0.059 ms
```

```
root@n7:/# ip -6 neigh show
2001:db8:1234:3::11 dev eth0 lladdr 00:00:00:aa:00:08 REACHABLE
fe80::200:ff:fea:8 dev eth0 lladdr 00:00:00:aa:00:08 REACHABLE
fe80::200:ff:fea:5 dev eth0 lladdr 00:00:00:aa:00:05 router STALE
```

Neighbor Discovery Flow

Time	Source	Destination	Comment
0.000000	01:db8:1234:3::10	2001:db8:1234:3::11	ICMPv6: Neighbor Solicitation for 2001:db8:1234:3::11 from 00:00:00:aa:00:07
0.000151	ff02::1:ff00:11	ff80::200:ff:fea:8	ICMPv6: Neighbor Advertisement 2001:db8:1234:3::11 (sol, ovr) is at 00:00:00:aa:00:08
0.000161			ICMPv6: Echo (ping) request id=0x004e, seq=1, hop limit=64 (request in 4)
0.000186			ICMPv6: Echo (ping) reply id=0x004e, seq=1, hop limit=64 (request in 3)
1.001056			ICMPv6: Echo (ping) request id=0x004e, seq=2, hop limit=64 (reply in 6)
1.001276			ICMPv6: Echo (ping) reply id=0x004e, seq=2, hop limit=64 (request in 5)
2.000626			ICMPv6: Echo (ping) request id=0x004e, seq=3, hop limit=64 (reply in 8)
2.000883			ICMPv6: Echo (ping) reply id=0x004e, seq=3, hop limit=64 (request in 7)
3.001138			ICMPv6: Echo (ping) request id=0x004e, seq=4, hop limit=64 (reply in 10)
3.001305			ICMPv6: Echo (ping) reply id=0x004e, seq=4, hop limit=64 (request in 9)
4.000855			ICMPv6: Echo (ping) request id=0x004e, seq=5, hop limit=64 (reply in 12)
4.000982			ICMPv6: Echo (ping) reply id=0x004e, seq=5, hop limit=64 (request in 11)
5.004705			ICMPv6: Neighbor Solicitation for 2001:db8:1234:3::10 from 00:00:00:aa:00:08
5.004917			ICMPv6: Neighbor Advertisement 2001:db8:1234:3::10 (sol)

captures/ipv6-ns-na-icmp.pcap

Neighbor Discovery NA (cont.)

- Mensajes NA (Neighbor Advertisement):
- Solicitado o no solicitado.
- Solicitado, respuesta a RS Flag: (S)Solicited=1.
- NO-solicitado, para actualizar caches Flag: (O)Override=1.
- Flag (R)Router=1, lo envía el router.

Neighbor Discovery NS (Router)

- “n7” debe recurrir a un Neighbor Solicitation, si no tiene router MAC/stale:

```
root@n7:/# ip -6 neigh show  
fe80::200:ff:fea:5 dev eth0 lladdr 00:00:00:aa:00:05 router STALE
```

```
root@n7:/# ping6 -c 5 2001:db8:1234:3::1 -I 2001:db8:1234:3::10  
PING 2001:db8:1234:3::1(2001:db8:1234:3::1) from 2001:db8:1234:3::10 : 56 data bytes  
64 bytes from 2001:db8:1234:3::1: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.906 ms  
64 bytes from 2001:db8:1234:3::1: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.303 ms
```

```
root@n7:/# ip -6 neigh show  
2001:db8:1234:3::1 dev eth0 lladdr 00:00:00:aa:00:05 router REACHABLE  
fe80::200:ff:fea:5 dev eth0 lladdr 00:00:00:aa:00:05 router STALE
```

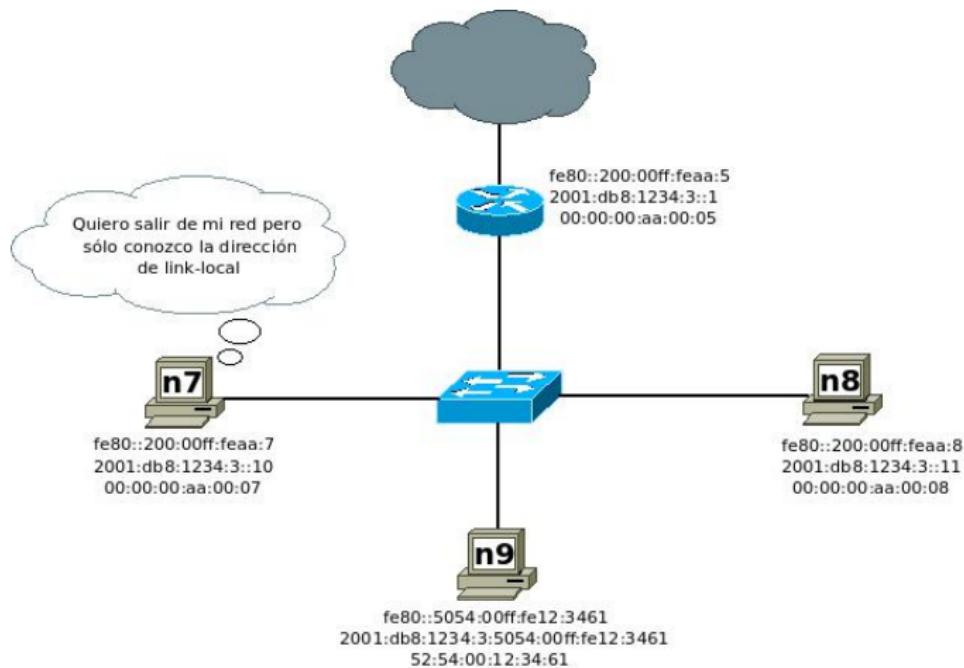
```
captures/ipv6-ns-na-router-icmp.pcap, row:4
```

IPv6 Stateless Autoconfiguration

- Parte del NDP.
- Reemplaza la configuración manual de direcciones IPv6 en IPv4.
- Alternativa básica a DHCPv6, pero sin estados, **SLAAC**.
- El router anuncia uno ó más prefijos de red mediante mensajes Router Advertisement RA (134).
- Se pueden solicitar bajo demanda Router Solicitation RS (133).
- Los hosts auto-configuran su dirección de link-local y solicitan el prefijo a algún router de la red.
- Una vez obtenido se auto-configuran generando su propias direcciones, previo realizar DAD (Duplicate Address Detection).
- Determinan y configuran el default gateway a partir de los Router Advertisement recibidos.
- Router Advertisement puede llevar opciones de configuración del DNS, RFC-6106.

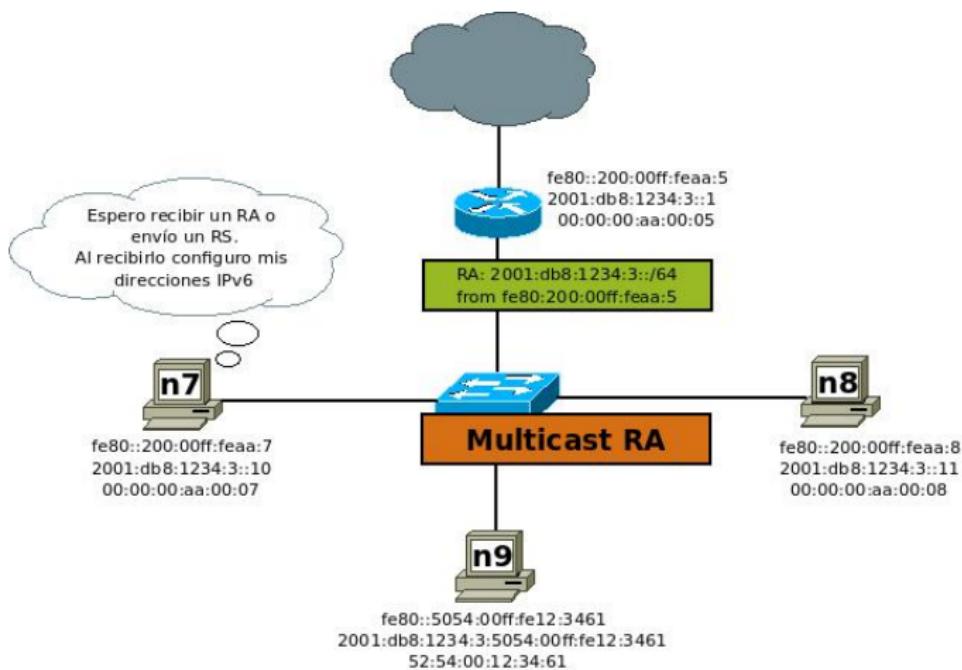
Router Discovery

- Aprendizaje de su propia configuración



Router Discovery

- Aprendizaje de su propia configuración



Mensajes RS y RA

```
root@n7:/# ifconfig eth0 down;sleep 1;ifconfig eth0 up
...
root@n7:/# sleep 4;ping6 2001:db8:1234:1::1
PING 2001:db8:1234:1::1(2001:db8:1234:1::1) 56 data bytes
64 bytes from 2001:db8:1234:1::1: icmp_seq=1 ttl=63 time=0.251 ms
64 bytes from 2001:db8:1234:1::1: icmp_seq=2 ttl=63 time=0.265 ms
...
...
```

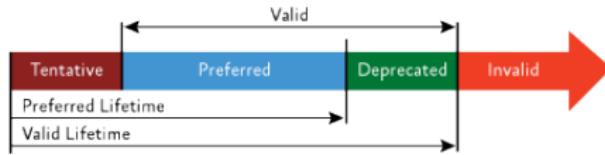
No.	Time	Source	Destination	Length	Info
1	0.000000	::	ff02::1:ffaa:7	78	Neighbor Solicitation for fe80::200:ff:fea:7
2	1.000020	fe80::200:ff:fea:7	ff02::2	70	Router Solicitation from 00:00:00:aa:00:07
3	1.001236	fe80::200:ff:fea:5	ff02::1	110	Router Advertisement from 00:00:00:aa:00:05
4	1.010120	fe80::200:ff:fea:7	ff02::16	110	Multicast Listener Report Message v2
5	1.750071	::	ff02::1:ffaa:7	78	Neighbor Solicitation for 2001:db8:1234:3:200:ff:fea:7
6	1.860154	::	ff02::1:ff88:4bb4	78	Neighbor Solicitation for 2001:db8:1234:3:6846:670b:7588:4bb4
7	3.745713	2001:db8:1234:3:6846:670b:7588	2001:db8:1234:1::1	118	Echo (ping) request id=0x0036, seq=1, hop limit=64 (reply in 8)

► Frame 3: 110 bytes on wire (880 bits), 110 bytes captured (880 bits)
 ► Ethernet II, Src: 00:00:00:aa:00:05 (00:00:00:aa:00:05), Dst: 33:33:00:00:00:01 (33:33:00:00:00:01)
 ► Internet Protocol Version 6, Src: fe80::200:ff:fea:5 (fe80::200:ff:fea:5), Dst: ff02::1 (ff02::1)
 ▾ Internet Control Message Protocol, v6
 Type: Router Advertisement (134)
 Code: 0
 Checksum: 0x2add [correct]
 Cur hop limit: 64
 Flags: 0x18
 Router lifetime (s): 30
 Reachable time (ms): 0
 Retrans timer (ms): 0
 ► ICMPv6 Option (Prefix information : 2001:db8:1234:3::/64)
 ► ICMPv6 Option (Source link-layer address : 00:00:00:aa:00:05)

captures/ipv6-rs-ra-dad-icmp-i.pcap, rows: 3 captures/ipv6-rs-ra-dns.pcap, row: 3

Detalles mensaje RA - RFC 4861

- Flags: L(on-link), A(Autonomous), R(Router).
 - L, indica que esta asignado a una interfaz (si no esta no se asume off-link).
 - A, sirve para autoconf. global.
 - R, indica que es router, sirve para NUD (Neighbor Unreach. Detection).
- Otros parámetros: Tiempo de vida válido y preferido (valid and preferred lifetime).



fuente: <http://www.microsoft.com>

IPv6 Autoconfiguration DHCP6

- Configuración manual es posible (routers, servers).
- Configuración automática, hay variantes: SLAAC, DHCP6.
- Combinaciones:
 - SLAAC solo, hoy puede obtener conf. básica para Internet, Prefijo, Router y DNS (otros MTU).
 - SLAAC solo, algunos equipos no soportan la opción de DNS, requieren DHCP6.
 - SLAAC + DHCP6, conf. básica más parámetros extras por DHCP6.
 - DHCP6 solo, requiere RA para Router/Gateway de la red.

IPv6 Autoconfiguration DHCP6 (cont.)

- Flags en RA:
 - O bit - Other Configuration Flag, RFC4861, indica que puede usar DHCP6 para obtener otros parámetros, por ejemplo DNS info.
 - M bit - Managed Address Configuration Flag, RFC4861, indica que usa DHCP6.
- Combinaciones:
 - $O = 0, M = 0$, conf. vía SLAAC, stateless; si hay DHCP6 no loaría.
 - $O = 1, M = 0$, conf. vía SLAAC, stateless; por DHCP6 obtiene parámetros adicionales. *AdvOtherConfigFlag*.
 - $O = *, M = 1$, conf. vía DHCP6 stateful; salvo router. *AdvManagedFlag*.

Datagrama DHCP6 (Wireshark)

No.	Time	Source	Destination	Length	Info
24	47.468477	fe80::200:ff:fea:5	ff02::1	110	Router Advertisement from 00:00:00:aa:00:05
25	52.675902	fe80::200:ff:fea:5	ff02::5	90	Hello Packet
26	52.720484	fe80::200:ff:fea:7	ff02::1:2	118	Solicit XID: 0x28f60b CID: 00010001le44f6e6000000aa0007
27	52.722313	fe80::200:ff:fea:5	ff02::1:ffaa:7	86	Neighbor Solicitation for fe80::200:ff:fea:7 from 00:00:
28	52.722390	fe80::200:ff:fea:7	fe80::200:ff:fea:5	86	Neighbor Advertisement fe80::200:ff:fea:7 (sol, ovr) is
29	52.722461	fe80::200:ff:fea:5	fe80::200:ff:fea:7	204	Advertise XID: 0x28f60b IAA: 2001:db8:1234:3::1ed6 CID:
30	52.724592	fe80::200:ff:fea:7	ff02::1:2	164	Request XID: 0x1afc22 CID: 00010001le44f6e6000000aa0007
31	52.725194	fe80::200:ff:fea:5	fe80::200:ff:fea:7	204	Reply XID: 0x1afc22 IAA: 2001:db8:1234:3::1ed6 CID: 0001

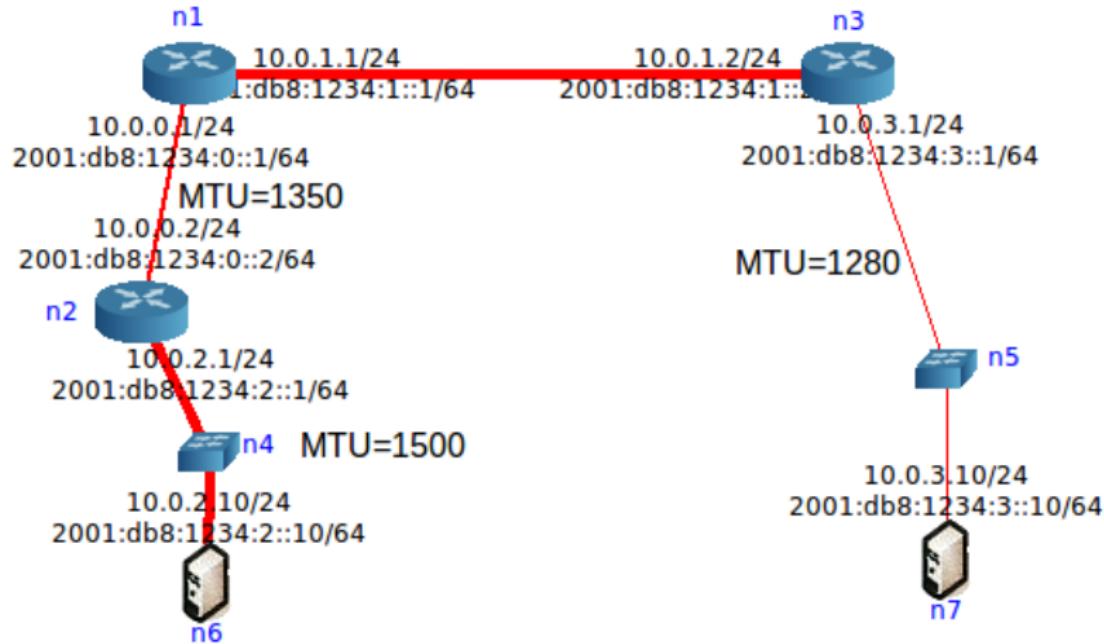
► Frame 24: 110 bytes on wire (880 bits), 110 bytes captured (880 bits)
 ► Ethernet II, Src: 00:00:00:aa:00:05 (00:00:00:aa:00:05), Dst: 33:33:00:00:00:01 (33:33:00:00:00:01)
 ► Internet Protocol Version 6, Src: fe80::200:ff:fea:5 (fe80::200:ff:fea:5), Dst: ff02::1 (ff02::1)
 ▼ Internet Control Message Protocol v6
 Type: Router Advertisement (134)
 Code: 0
 Checksum: 0x2a9d [correct]
 Cur hop limit: 64
 ▼ Flags: 0x58
 0.... = Managed address configuration: Not set
 .1.... = Other configuration: Set
 ..0.... = Home Agent: Not set
 ...1 1... ... = Prf (Default Router Preference): Low (3)
 0... = Proxy: Not set
 0... = Reserved: 0
 Router lifetime (s): 30
 Reachable time (ms): 0

captures/ipv6-radvd-dhcp6.pcap, rows: 24,26,29,...

PMTU Discovery

- MTU (Maximum Transmission Unit) depende de L2.
- Cada Link L2 puede tener su MTU Link-MTU.
- A lo largo de un camino se puede establecer Path MTU (PMTU).
- Para IPv6 min MTU=1280B (RFC-2460, RFC-8200), Para IPv4 68B(RFC-791).
- Recomendado, (estandarizado) 1500B.
- Las implementaciones hacen el PMTU discovery (RFC-1981).
- Se utiliza ICMPv6 Error: “Message Too Big”.
- Una vez determinado el PMTU se fragmenta de extremo a extremo.
- Se puede saltar y usar directamente 1280, no es óptimo.
- TCP trata de usar MSS (Maximum Segment Size).

PMTU Discovery (cont.)



PMTU Discovery (cont.)

Time	Source IP	Destination IP	Comment
0.000000	01:db8:1234:2::10	2001:db8:1234:2::1	ICMPv6: Echo (ping) request id=0x0032, seq=1, hop limit=64 (no response found!)
0.000539	(0)	(0)	IPv6 fragme...
1.999869	(0)	(0)	IPv6 fragment (nxt=ICMPv6 (58) off=0 id=0xbff2f2768)
2.000198	(0)	(0)	ICMPv6: Packet Too Big
2.000231	(0)	(0)	ICMPv6: Echo (ping) request id=0x0032, seq=2, hop limit=64 (no response found!)
4.002568	(0)	(0)	IPv6: IPv6 Fragment (nxt=ICMPv6 (58) off=0 id=0xbff2f2769)
4.002912	(0)	(0)	ICMPv6: Echo (ping) request id=0x0032, seq=3, hop limit=64 (reply in 9)
4.003248	(0)	(0)	IPv6: IPv6 Fragment (nxt=ICMPv6 (58) off=0 id=0x55c4a2e5)
4.003259	(0)	(0)	ICMPv6: Echo (ping) reply id=0x0032, seq=3, hop limit=61 (request in 7)
6.005221	(0)	(0)	IPv6: IPv6 fragment (nxt=ICMPv6 (58) off=0 id=0xbff2f276a)
6.005583	(0)	(0)	ICMPv6: Echo (ping) request id=0x0032, seq=4, hop limit=64 (reply in 13)
6.005893	(0)	(0)	IPv6: IPv6 Fragment (nxt=ICMPv6 (58) off=0 id=0x55c4a2e6)
6.005904	(0)	(0)	ICMPv6: Echo (ping) reply id=0x0032, seq=4, hop limit=61 (request in 11)
8.007685	(0)	(0)	IPv6: IPv6 fragment (nxt=ICMPv6 (58) off=0 id=0xbff2f276b)
8.007895	(0)	(0)	ICMPv6: Echo (ping) request id=0x0032, seq=5, hop limit=64 (reply in 17)
8.008197	(0)	(0)	IPv6: IPv6 fragment (nxt=ICMPv6 (58) off=0 id=0x55c4a2e7)
8.008208	(0)	(0)	ICMPv6: Echo (ping) reply id=0x0032, seq=5, hop limit=61 (request in 15)

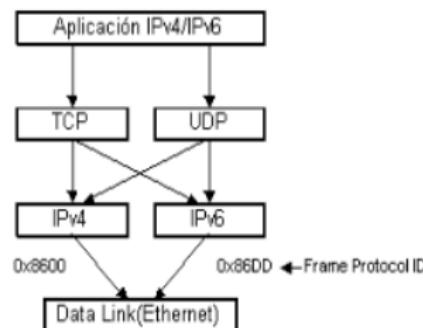
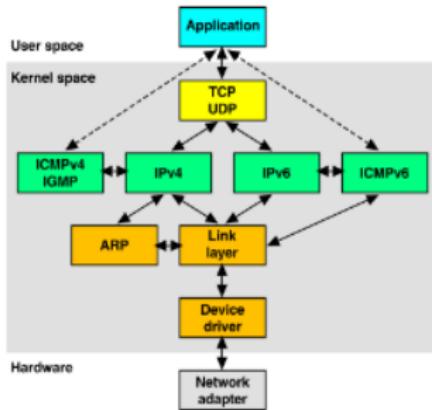
captures/ipv6-frag-doble-nocont-i.pcap

Transición/Coexistencia de IPv4 a IPv6

- No va a existir un día “D” para cambiar de IPv4 a IPv6.
- Amplio abanico de técnicas disponibles:
 - Doble pila (Dual-Stack).
 - Técnicas de tunneling.
 - Técnicas de traducción IPv6 ↔ IPv4.
 - Técnicas combinadas.

Dual Stack IPv4/IPv6

- No se elimina la pila IPv4.
- Técnica multi-protocolo como con: NetBIOS, Appletalk, IPX.
- Actualmente, la mayoría de los OSs soportan IPv6.
- La aplicación, biblioteca de código elige cual usar (registros de DNS AAAA y A).
- RFC-6555, “Happy Eyeballs: Success with Dual-Stack Hosts”.
- Van a co-existir por “mucho” tiempo.

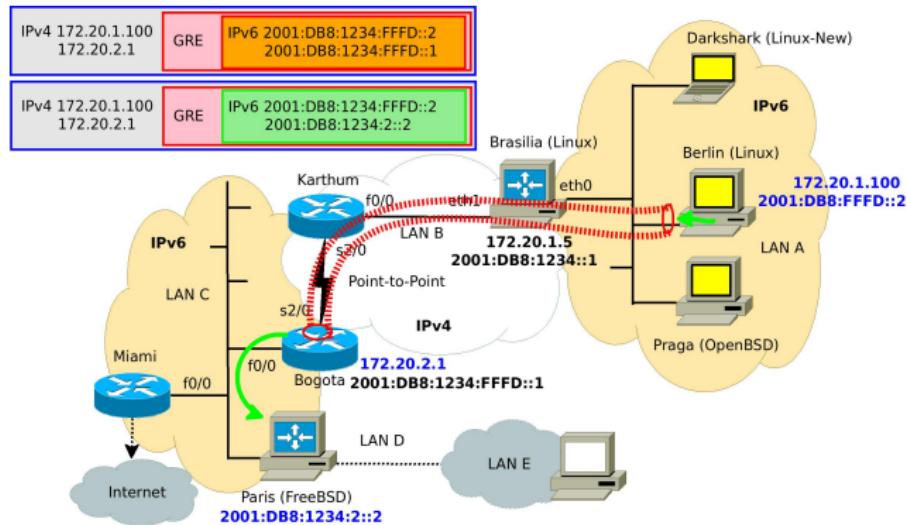


Túneles IPv4/IPv6

- Encapsular IPv6 en IPv4 donde no hay cobertura
- Se requiere doble pila IPv4/IPv6 en los routers
- Pueden ser:
- **Manuales:**
 - GRE (point-to-point).
 - SIT (Simple Internet Tunnel) IP-IP - IPv6-IPv4 (point-to-point).
 - 6in4.
- **Tunnels Brokers, interfaces web de ayuda:**
 - 6in4+TB (<https://tunnelbroker.net/>)
- **Automáticos:**
 - 6to4 (No funciona sobre NAT)
 - ISATAP (no funciona sobre NAT)
 - Teredo (sobre NAT)

Túneles IPv4/IPv6

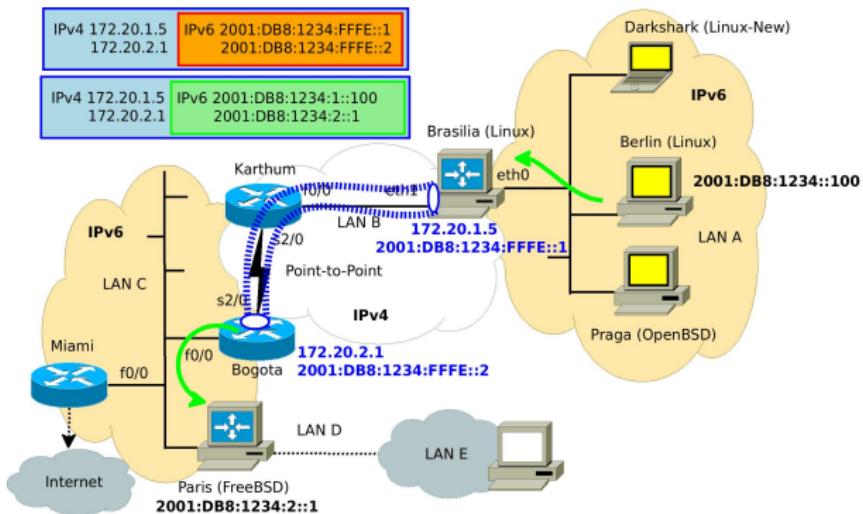
- Manuales (en caso intranet con GRE):
 - Encapsula en GRE (47) General Routing Encapsulation.
 - Punto a punto entre host y router o entre routers.



[captures/113-ipv6-tun-gre-Berlin-e0.pcap. row:1](#)

Túneles IPv4/IPv6 (cont.)

- Manuales (en caso intranet con SIT):
 - Encapsula directamente en IPv4, proto 41(IPv6).
 - Punto a punto entre host y router o entre routers.



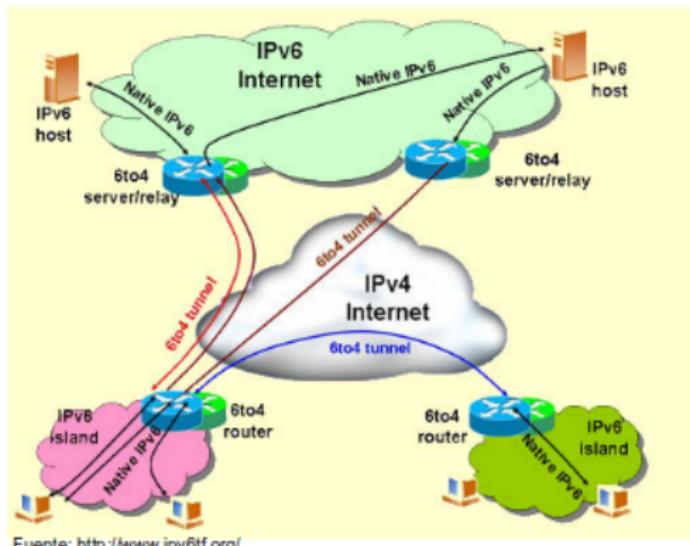
`captures/110-ipv6-tun-sit.pcap, row:4 captures/111-ipv6-tun-sit-Bogota-S00.pcap, row:8`

Túneles IPv4/IPv6 (cont.)

- sit/6in4 con TB (Tunnel Broker):
 - Encapsula en IPv4 como SIT.
 - Se consideran Punto a Punto.
 - Direcciones de ambos extremos en el mismo bloque, por ejemplo /126.
 - Para funcionar con NAT requiere que no se filtre proto 41 (IPv6 en IPv4).
 - Agregan un site web que determina la conf. (TB).
 - El usuario entra al site y obtiene la conf.

Túneles IPv4/IPv6 (cont.)

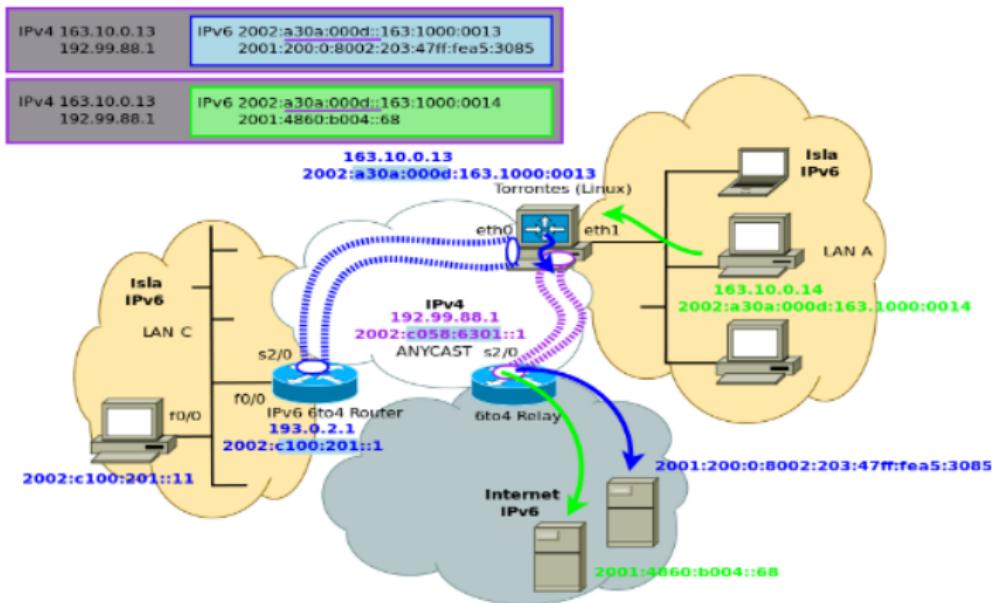
- 6to4: sobre direcciones IPv4 globales:
 - Se usa el bloque: 2002::/16
 - Paquetes de salida siempre al 6to4 relay.
 - Paquetes de vuelta, pueden usar otro origen.
 - Prefijo 6to4 relays anycast: 192.88.99.1/24



Fuente: <http://www.ipv6tf.org/>

Túneles IPv4/IPv6 (cont.)

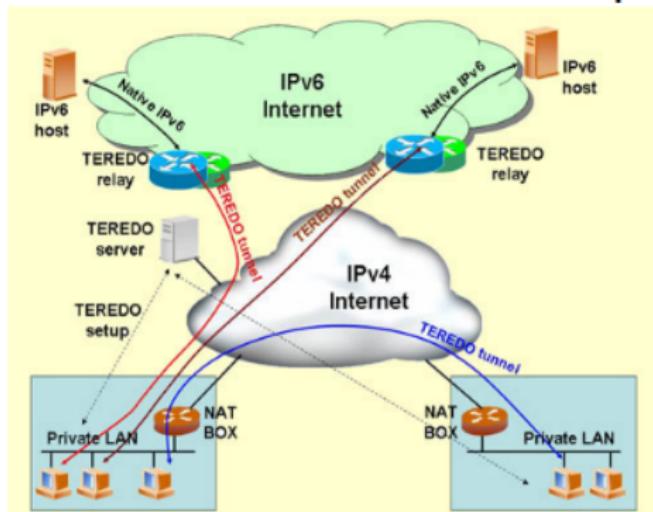
- 6to4: en Intranet



Túneles IPv4/IPv6 (cont.)

- Teredo:

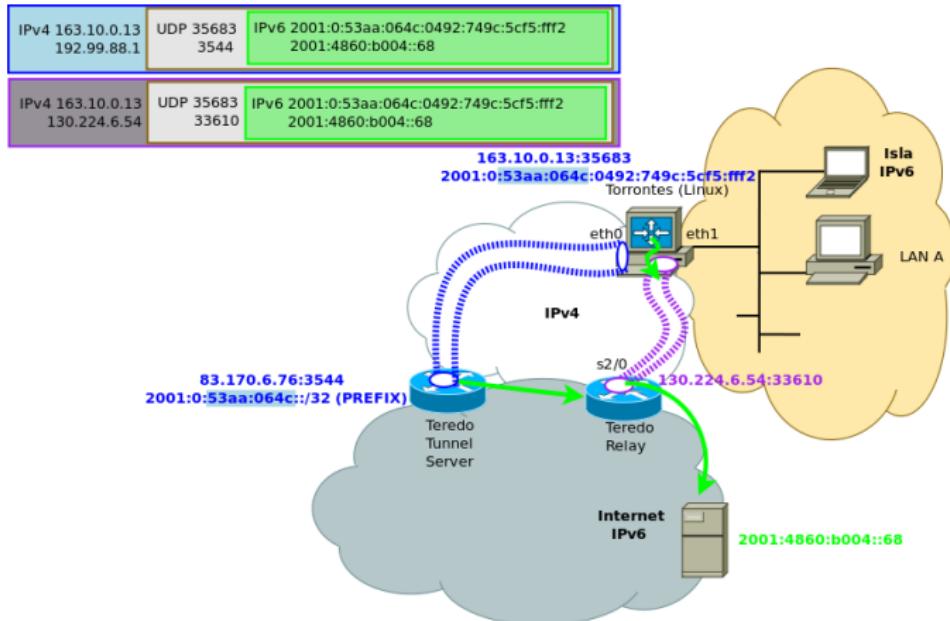
- funciona sobre direcciones IPv4 privadas, con NAT y sin Proto 41.
- Encapsula el datagramas UDP.
- Se configura el cliente contra un Server Teredo.
- El Server Teredo proporciona acceso a los Teredo Relay.



Fuente: <http://www.ipv6tf.org/>

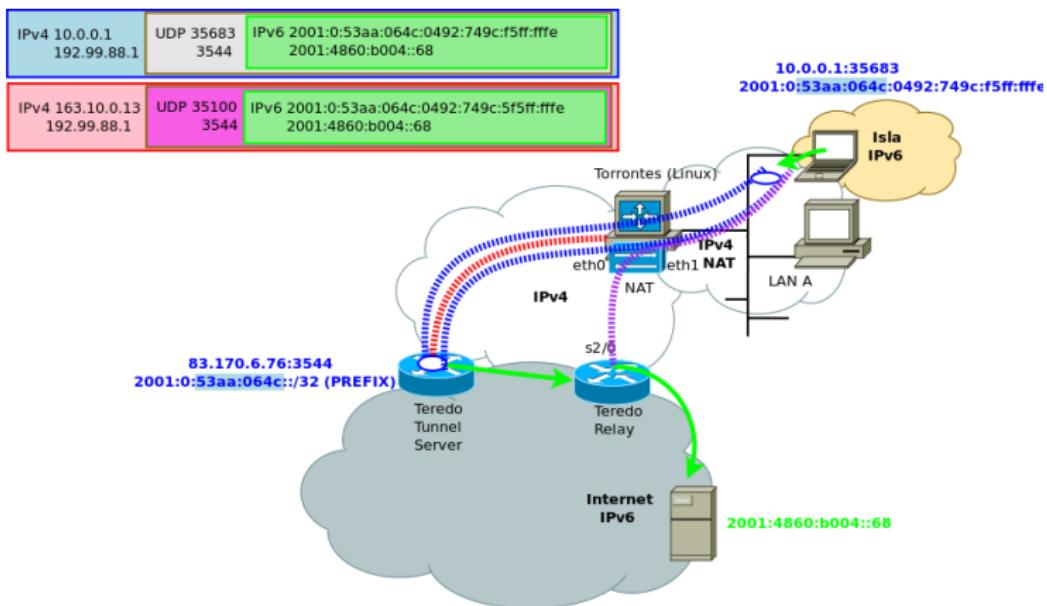
Túneles IPv4/IPv6 (cont.)

- Teredo: sobre direcciones IPv4 públicas.



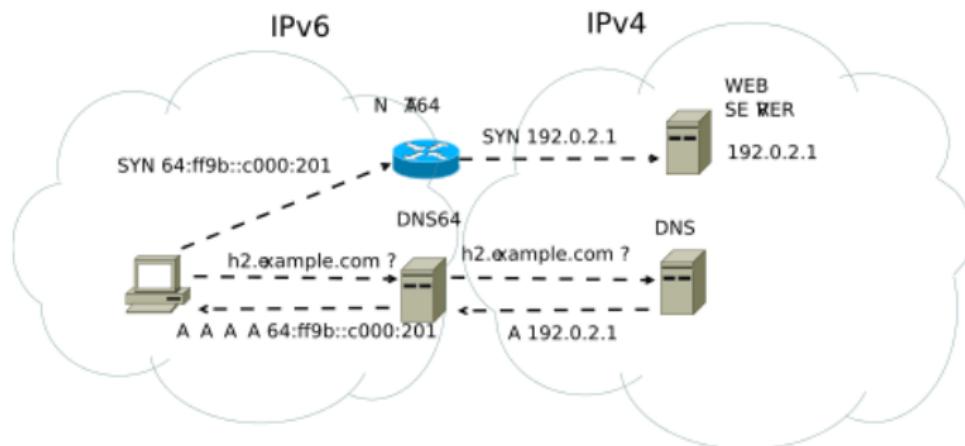
Túneles IPv4/IPv6 (cont.)

- Teredo: sobre direcciones IPv4 privadas.



Técnicas de Traducción

- NAT64(NATPT) + DNS64.
- No es una técnica recomendada, rompe principio end-2-end.

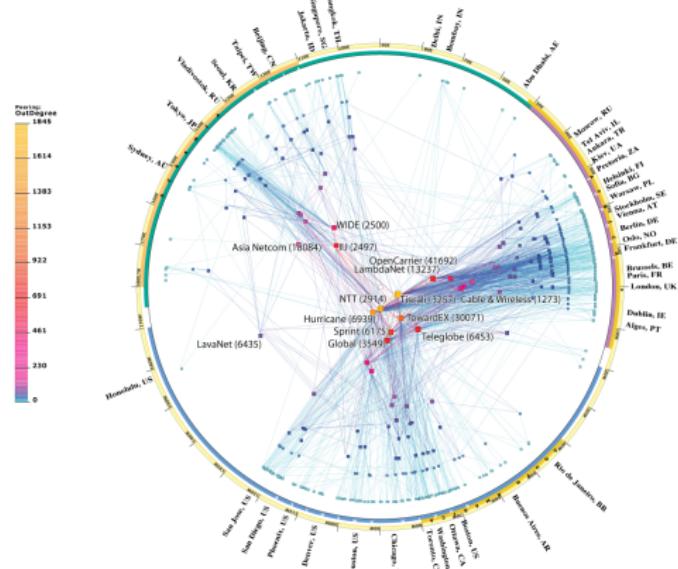


fuente: <http://www.wikipedia.com>

IPv6 en 2008

CAIDA's IPv6 AS Core AS-level INTERNET GRAPH

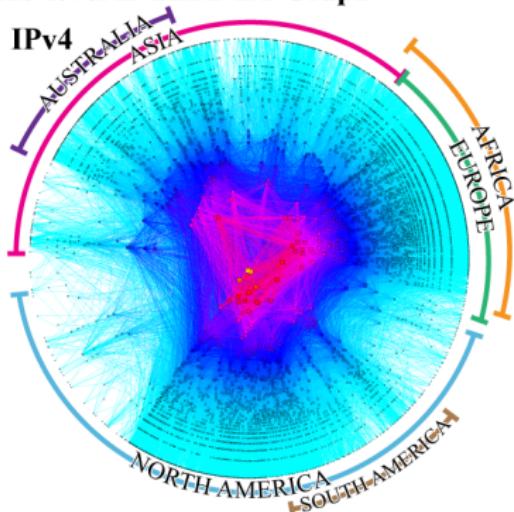
Community Collected January 2008



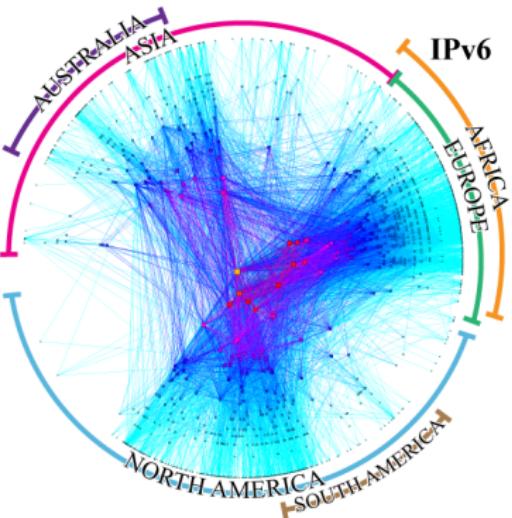
copyright © 2008 UC Regents. all rights reserved.

IPv4 vs IPv6 en 2013

CAIDA's IPv4 & IPv6 AS Core
AS-level INTERNET Graph



Archipelago
Jan 2013

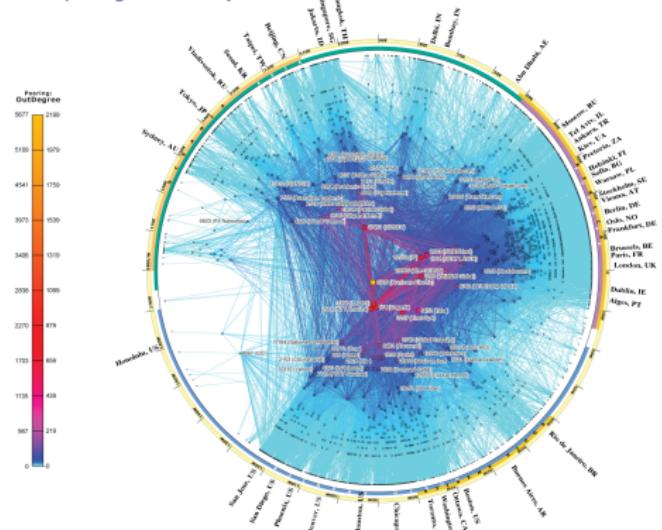


Copyright 2013 UC Regents. All rights reserved.

La Internet Actual

CAIDA's IPv6 AS Core AS-level INTERNET GRAPH

Archipelago January 2015



copyright © 2015 UC Regents. All rights reserved.

fuentre: <http://www.caida.org>

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](http://www.consulintel.es/html/ForoIPv6/Documentos/Tutorial%20de%20IPv6.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>.