IPv6

Area de Ingeniería Telemática
http://www.tlm.unavarra.es

Grado en Ingeniería en Tecnologías de Telecomunicación, 3º

Temas de teoría

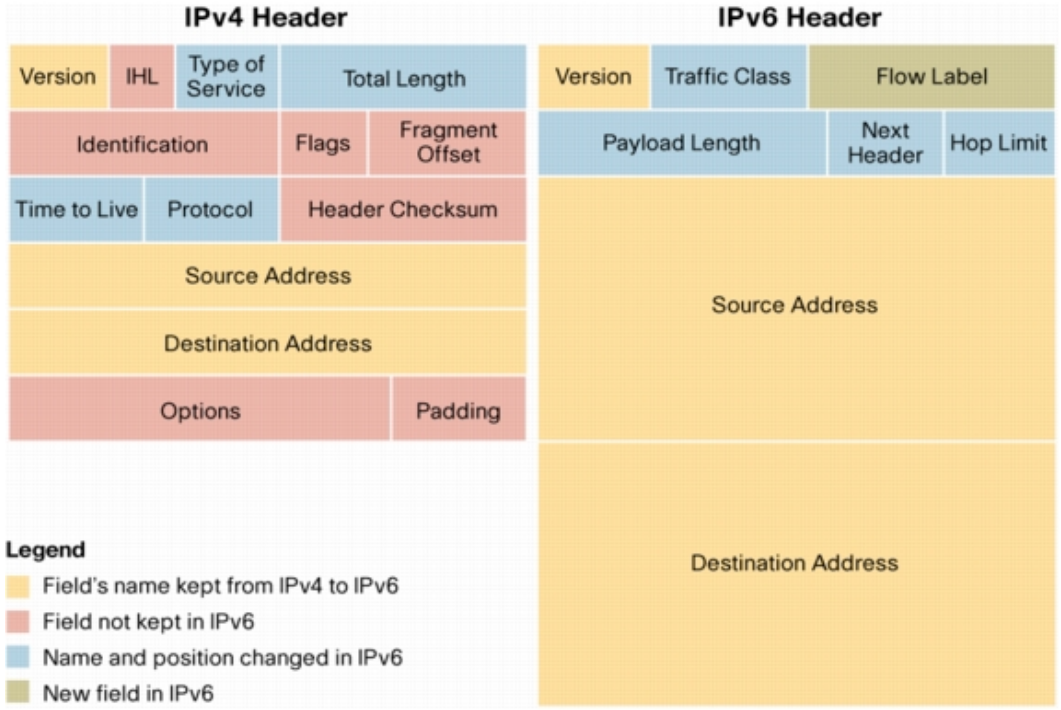
0. Introducción
1. QoS
2. Encaminamiento dinámico en redes IP
3. Tecnologías móviles

Objetivo

- Conocer los cambios que introduce IPv6 en el direccionamiento de la red IP
- Conocer el funcionamiento básico de los mecanismos de transición propuestos

IPv6

- ¿En qué se diferencia de IPv4?



http://www.cisco.com/en/US/technologies/tk648/tk872/technologies_white_paper0900aecd8054d37d.html

IPv6

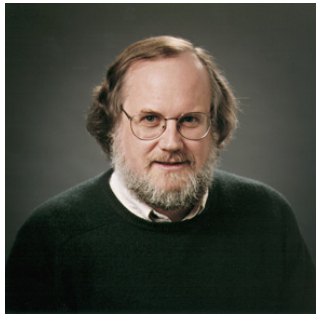
- ¿En qué se diferencia de IPv4?
  - Cabecera más simple
  - No hay checksum
  - Más rápido de procesar
  - Opciones como protocolos
  - Seguridad integrada en el diseño
  - Etiqueta de flujo
  - Llamamos Hop Limit al TTL
  - Bla bla bla...

IPv6

- ¿En qué se diferencia de IPv4?
- ¿En qué se diferencia "**importante**"?
- 4.3×10^9 direcciones IPv4
- 3.4×10^{38} direcciones IPv6
- Población > 7×10^9 personas
- ¿Cuántas tienen más de un móvil?

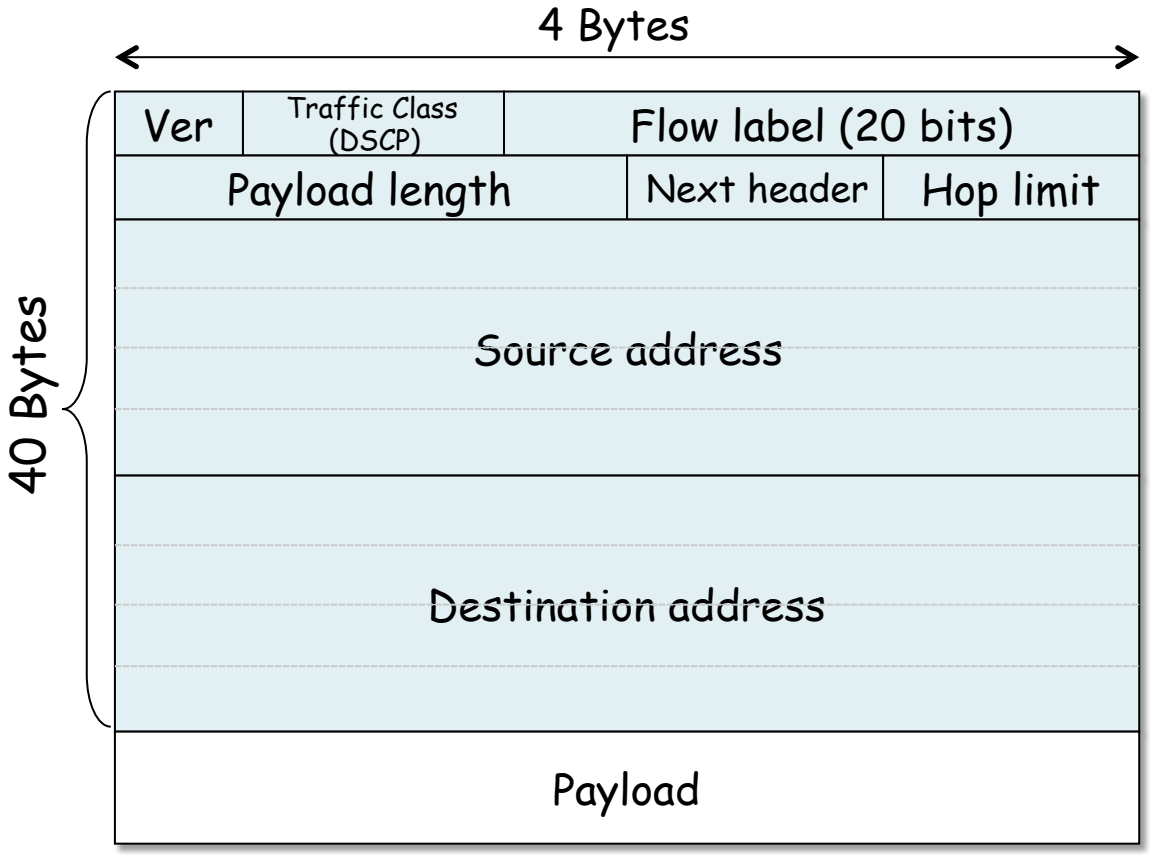
IPv6

- RFC 2460 (2006) *"Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification"* (antes RFC 1883 de 1995)



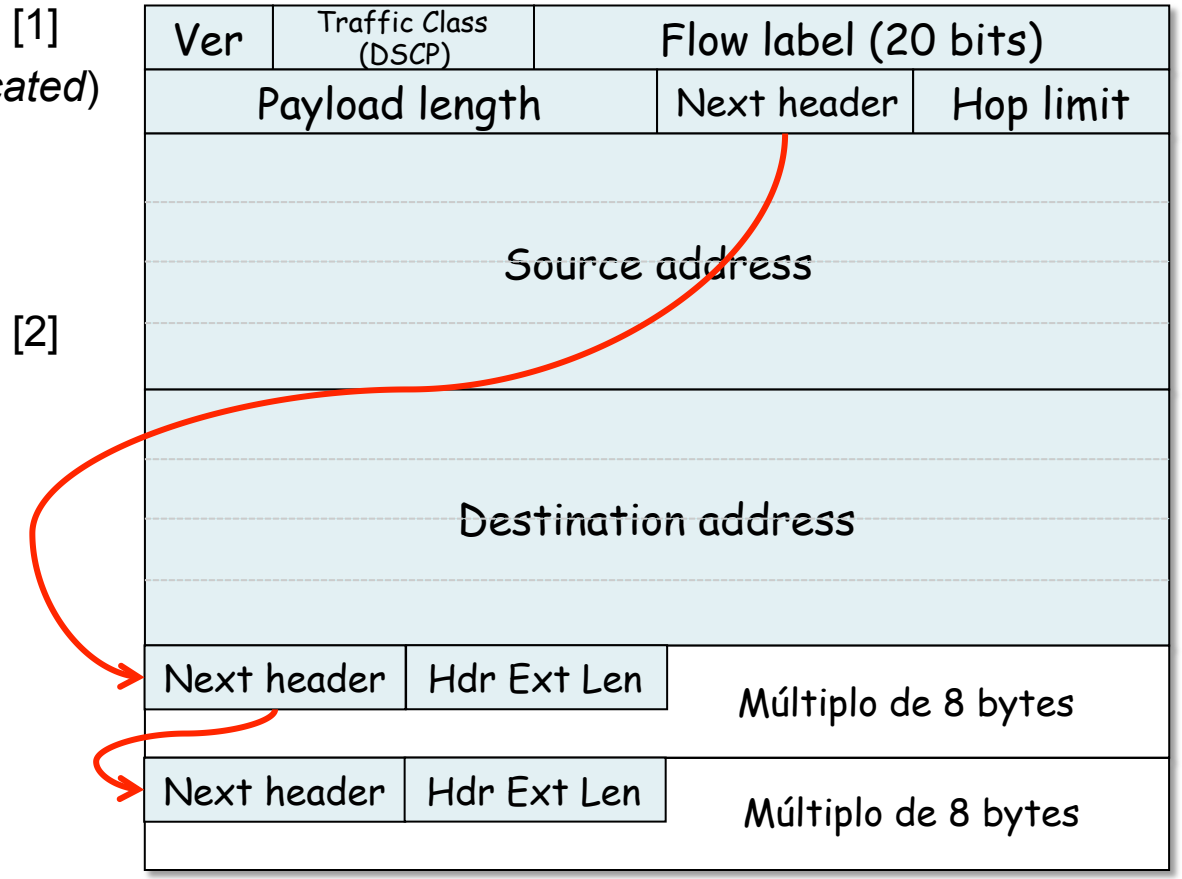
Steve Deering

Robert M. Hinden



Options

- Los nodos del camino solo procesan la opción Hop-by-Hop que de existir debe ser la primera
- El orden, de existir las opciones, debe ser:
  - Hop-by-Hop (0)
  - Destination (60) [1]
  - Routing (*deprecated*)
  - Fragment (44)
  - AH (51)
  - ESP (50)
  - Destination (60) [2]



[1] Aplica también a los destinos que aparezcan en la opción *Routing* [2] Solo para el destino final

Options

Hop-by-Hop (next-header=0)

- Contiene opciones al estilo TLV
- Ejemplos: Router Alert (RFC 2711), Jumbo Payload (RFC 2675)

Fragmentación (next-header = 44)

- Solo la puede hacer el origen, los routers no fragmentan
- Campos de offset e identificación dentro de una opción

Destination (next-header=60)

- Contiene opciones al estilo TLV
- Información opcional para el destino del paquete
- Por ejemplo lo emplea Mobile IP

No Next Header (next-header=59)

- No hay nada a continuación y si hay algo se debe ignorar

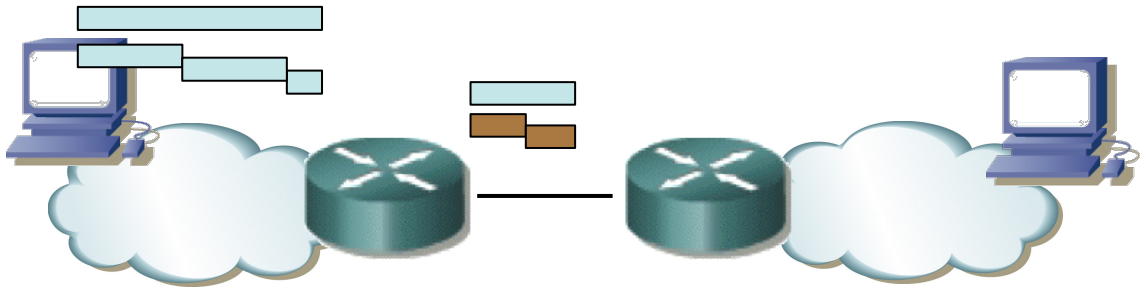
Authentication Header (next-header=51)

Encapsulating Security Payload (next-header=50)

- RFCs 4302 y 4303 respectivamente
- Asignatura sobre seguridad

MTU y checksums

- Requiere que los enlaces tengan una MTU de al menos 1280 bytes
- De hacerse fragmentación debe ser por debajo del nivel de red
- El cálculo de checksums de TCP y UDP debe tener ahora en cuenta las direcciones de 128 bits



Dirección IP origen	
Dirección IP destino	
Upper-Layer Packet Length	
0	Next header
puerto origen	puerto dest.
longitud	checksum
datos de la aplicación (mensaje)	

Direccionamiento IPv6

Representación de direcciones

- Números de 128 bits
- Representación en texto tiene varias alternativas aunque hay una forma canónica (RFC 5952)
- Preferida: “x:x:x:x:x:x:x:x” donde “x” es el hexadecimal de 16 bits
  Ejemplo: 2001:ab8:1:23a:8:800:200c:417a
- Las letras deben ser minúsculas
- Los 0 a la izquierda en un campo de 16 bits se eliminan: 000a ➔a
- Un campo de 16bits 0000 debe representarse como solo 0
- Se deben comprimir 0s seguidos (solo una vez) con “::”
- Solo se comprimen 0s si hay más de una palabra de 16 bits a 0
  Ejemplo: 2001:db8:0:1:1:1:1:1 no se comprime
  Ejemplo: ff01::101
- Si hay varias posibilidades de comprimir 0s se aplica al que más ahorre (la primera si empata)
  Ejemplo: 2001:0:0:0:800:0:0:417a ➔ 2001::800:0:0:417a

Representación de direcciones

- En escenarios IPv4+IPv6 los últimos 4 bytes en *dotted-decimal*
  Ejemplo: ::ffff:128.144.52.38
- Representación de prefijo similar a CIDR: ipv6-address/prefix-length
  Ejemplo: 2001:0db8:0:cd30::/60
- Mismas reglas para el caso de prefijos de red
- Para representar una dirección y un puerto de transporte usar el estilo RFC 3986 (corchetes):
  Ejemplo: [2001:1::cd30:a1]:80
- Esto es la representación canónica pero hay muchos otros estilos que se deben aceptar
  - Acortar con :: aunque no sea el bloque óptimo
  - Letras en mayúsculas
  - Poner todos los 0 de la izquierda de un bloque de 16 bits
  - etc
- Surge la representación canónica para evitar ciertos errores humanos (ver RFC 5952)

Direccionamiento

- RFC 4291 *"IPv6 Addressing Architecture"*
- Tipos:
  - Multicast: ff00::/8
  - Unicast: el resto
  - Anycast: cualquiera unicast
  - Broadcast: No hay
- Scopes (alcances) para unicast (hay más para multicast):
  - Link-Local
  - Site-Local (*deprecated*)
  - Global

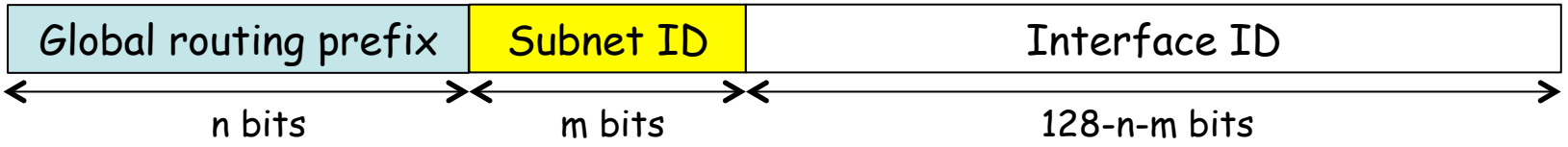
Espacio de direcciones

00000000	Reservadas. Hay algunas en uso como ::1/128 (loopback) y ::/128
00000001	Reservadas
0000001	Reservadas (mapeo de OSI CNLP a IPv6, *deprecated* en RFC 4048)
000001	Reservadas
00001	Reservadas
0001	Reservadas
001	Global Unicast en uso (*)
010	Reservadas
011	Reservadas
100	Reservadas
101	Reservadas
110	Reservadas
1110	Reservadas
11110	Reservadas
111110	Reservadas
1111110	Unique Local Unicast (fc00::/7, RFC 4193)
111111100	Reservadas
1111111010	Link-Local Unicast (fe80::/10, RFC 4291)
1111111011	Reservadas (fec0::/10, Site-Local, *deprecated* en RFC 3879)
11111111	Multicast (ff00::/8)

http://www.iana.org/assignments/ipv6-address-space/ipv6-address-space.xml
(*) http://www.iana.org/assignments/ipv6-unicast-address-assignments/ipv6-unicast-address-assignments.xml

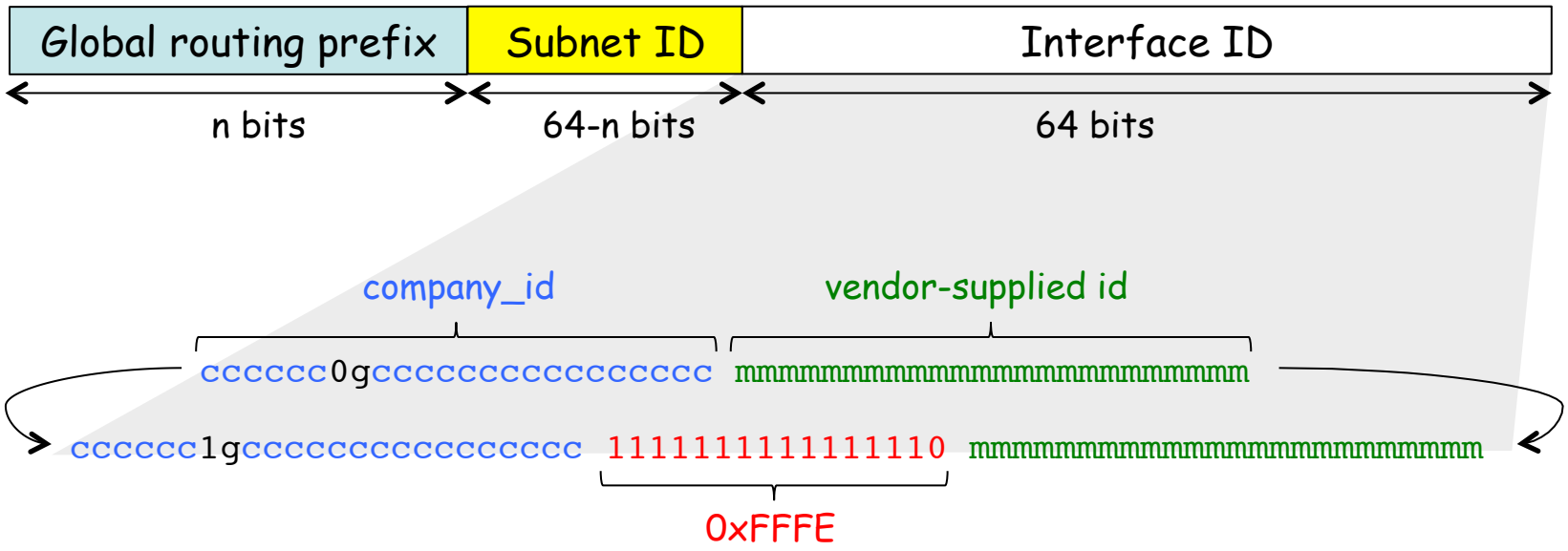
Global Unicast

- 2000::/3
- Estructura jerárquica
- El Subnet ID identifica a un enlace en un dominio
- El IID (Interface ID) tiene 64 bits pero no tiene necesariamente una "interpretación" (RFC 7136)
- Es decir, puede construirse de distintas formas así que no se puede deducir nada de él
- Si se ha construido a partir de una dirección MAC IEEE entonces debe ser un *Modified EUI-64* salvo en las direcciones que empiezan por 000 (binario)
- ¿Modified EUI-64? (...)



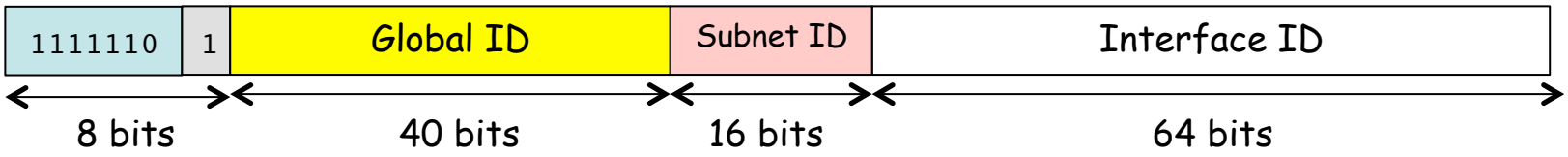
Modified EUI-64

- A partir de una dirección MAC IEEE de 48 bits se crea un *Modified EUI-64* insertando 0xFFFE tras el OUI e invirtiendo el bit de universal/local
- Es común que el prefijo global asignado sea /48 ó /64 pero puede ser diferente
- Lo importante es que los dominios siempre puedan obtener suficientes direcciones



Unique-Local

- IPv6 ULA, RFC 4193 *"Unique Local IPv6 Unicast Addresses"*
- fc00::/7, de momento solo definido el uso de fd00::/8
- Direcciones que "podrían" ser globalmente únicas
- No para enrutar en la Internet pero sí en un dominio o entre unos dominios que lo acuerden
- El *Global ID* se debe generar como un número pseudo-aleatorio para intentar evitar colisiones
- 16 bits para subredes



Direccionamiento local

Link-Local IPv6 Unicast

- Todos los interfaces tienen una
- fe80::/10 usadas como fe80::interfaceID
- Para configuración automática, *neighbor discovery* o cuando no hay router
- Paquetes con alguna dirección de éstas no son reenviados por los routers

Site-Local IPv6 Unicast

- fec0::/10
- fec0:subnetID(54bits):interfaceID(64bits)
- *Deprecated* (RFC 3879)

Otras direcciones IPv6

Otras reservadas

Special-Use

- RFC 6890
- http://www.iana.org/assignments/iana-ipv6-special-registry/iana-ipv6-special-registry.xml

Loopback Address

- ::1/128

Unspecified Address

- ::/128

IPv4-Mapped IPv6 Address

- Representa una dirección IPv4 como una IPv6
- ::ffff:0:0/96 usada como ::ffff:ipv4address

IPv4-Embedded IPv6 address

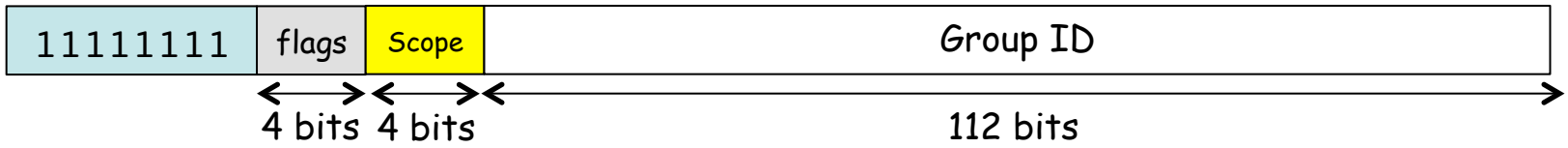
- RFC 6052 “IPv6 Addressing of IPv4/IPv6 Translators”
- 64:ff9b::/96 usadas como 64:ff9b::ipv4address (da algoritmo para otros prefijos)

Discard-Only Address Block

- RFC 6666
- Para dirigir tráfico probablemente de ataques a descartar o a un snifffer
- 100::/64

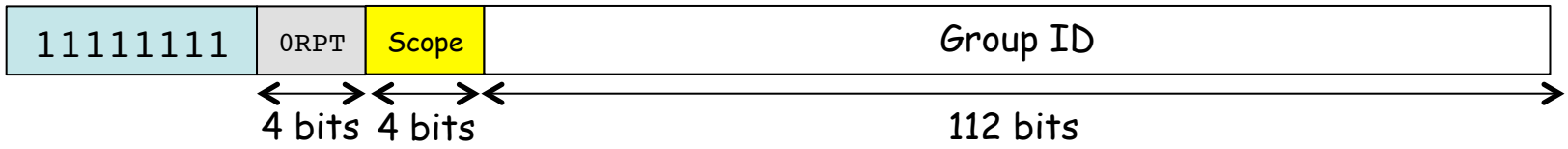
Multicast IPv6

- ff00::/8
- En la propia dirección está codificado si es permanente o temporal
- Hay para cada red (contienen el prefijo de la red) (RFC 3306)
- Un host puede generar una local a partir de su MAC (RFC 4489)
- Puede incluir información para localizar a un *rendezvous point* (RFC 3956)
- (...)



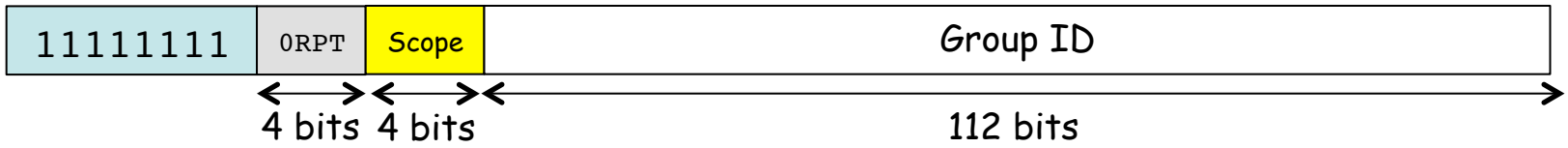
Multicast IPv6: Flags

- Flags 0RPT
- R : 1=la dirección incluye la de un *rendezvous-point* (RFC 3956)
- P : 1=dirección en base al prefijo de red en el group ID (RFC 3306, implica T=1 pues son no permanentes)
- T : 0=dirección permanente, 1=dirección no permanente (RFC 4291)



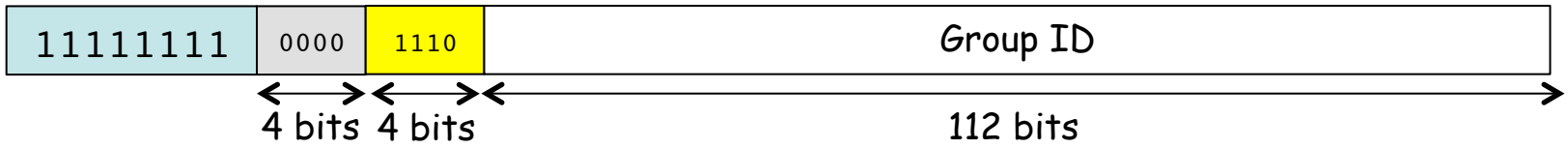
Multicast IPv6: Scope

- 1 : Interface-Local (para transmisión por el loopback)
- 2 : Link-Local, un interfaz puede generar un Group ID único para su interfaz en base a su Interfaz ID (RFC 4489)
- 4 : Admin-Local
- 5 : Site-Local
- 8 : Organization-Local
- E : Global
- Scopes 0 y F reservados, resto de scopes disponibles para los administradores



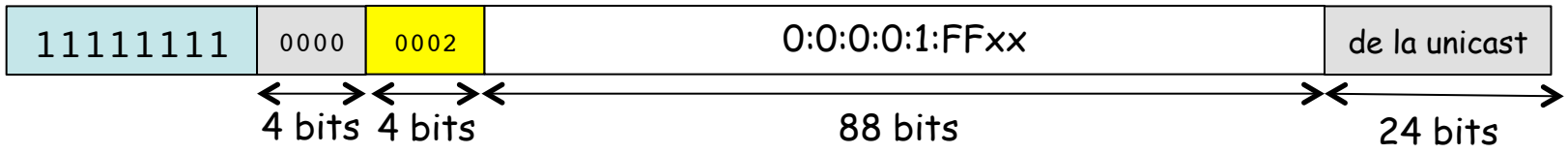
Multicast IPv6: Globales

- Una dirección Multicast Global debe ser:
  - R=0 (no RP), P=0 (no se basa en prefijo), T=0 (permanente)
  - Scope Global (valor E)
  - Primeros 16 bits: 11111111 0000 1110 ➔ ff0e::/16



Multicast IPv6

- *Solicited-Node multicast address*
  - Flags: 0000 (no RP, no prefijo, permanente)
  - Scope: 02 (Link-local)
  - ff02::1:ff00:0/104
  - Toma los 24 bits bajos de la dirección unicast para formarla
  - El nodo debe unirse a ese grupo
  - Empleadas por el *Neighbor Discovery Protocol*



Algunas direcciones mcast

Scope interface-local (a.k.a. node-local)

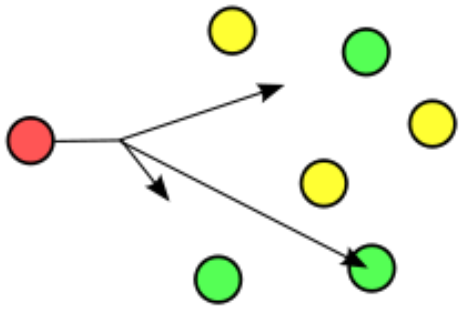
- ff01::1 All Nodes
- ff01::2 All Routers

Scope link-local

- ff02::1 All Nodes
- ff02::2 All Routers
- ff02::4 DVMRP routers
- ff02::5 OSPFIGP
- ff02::6 OSPFIGP Designated Routers
- ff02::9 RIP Routers
- ff02::a EIGRP Routers
- ff02::d All PIM Routers
- ff02::e RSVP-ENCAPSULATION
- ff02::f UPnP
- ff02::12 VRRP

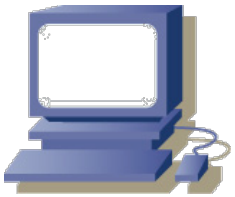
Anycast

- Una dirección unicast cualquiera
- Asignada a más de un interfaz
- Un nodo que la tenga debe saber que es anycast (es decir, que otro también la tiene)
- Un paquete a esa dirección se encamina al interfaz más cercano que la tenga
- Normalmente rutas a host a ellas
- *Subnet-Router anycast address*:
  - Es la dirección de la subred con interface ID a 0
  - Paquetes dirigidos a ella llegarán a uno de los routers de la subred



Direcciones de un nodo

- RFC 4291, sección 2.8
- Un host debe reconocer las siguientes direcciones que le identifican:
  - Sus direcciones Link-Local (una por interfaz)
  - Direcciones unicast y anycast configuradas
  - Loopback
  - All-Nodes multicast (ff01::1 y ff02::1)
  - *Solicited-Node* multicast para cada una de sus direcciones unicast y anycast
  - Direcciones multicast de grupos a los que pertenezca

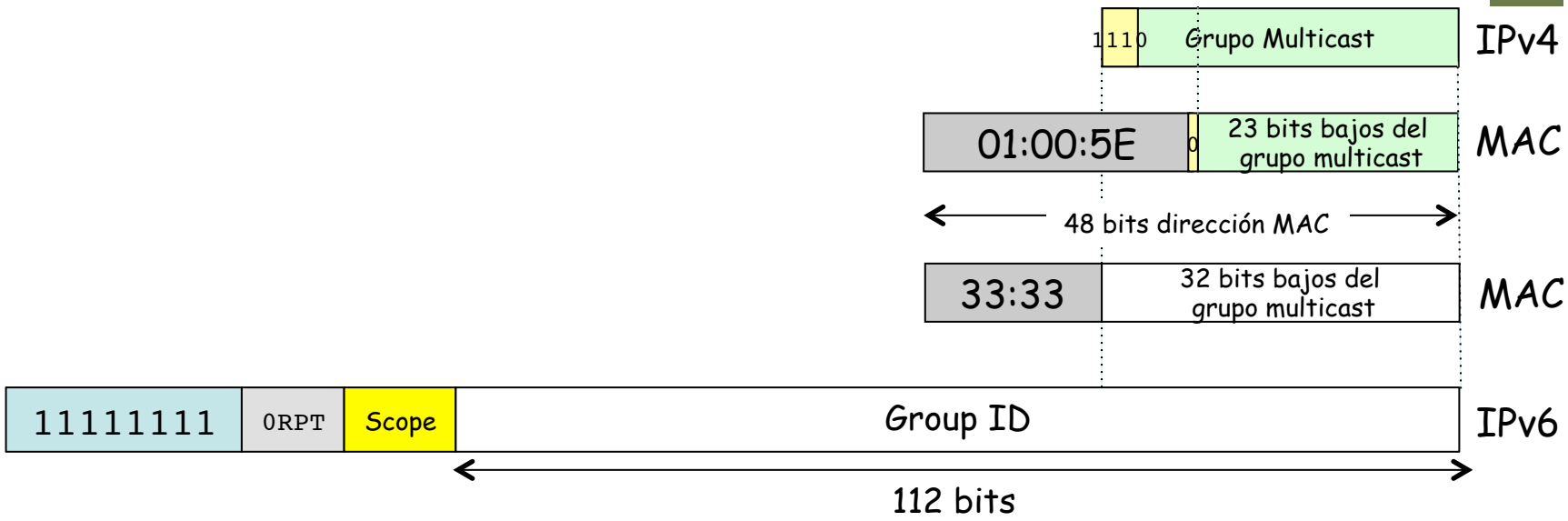


Direcciones de un nodo

- Un router
  - Las mismas que un host más...
  - *Subnet-Router Anycast* para todos los interfaces para los que actúe como router
  - All-Routers multicast addresses (ff01::2, ff02::2, ff05::2 – site local)

IPv6 sobre Ethernet

- RFC 2464 *"Transmission of IPv6 Packets over Ethernet Networks"*
- Ethertype 0x86DD
- No existe ARP sino que se resuelve con *Neighbor Discovery*
- Mapeo de direcciones multicast IPv6 a MAC multicast
  - Los dos primeros bytes 0x3333
  - A continuación los últimos 4 bytes de la dirección multicast



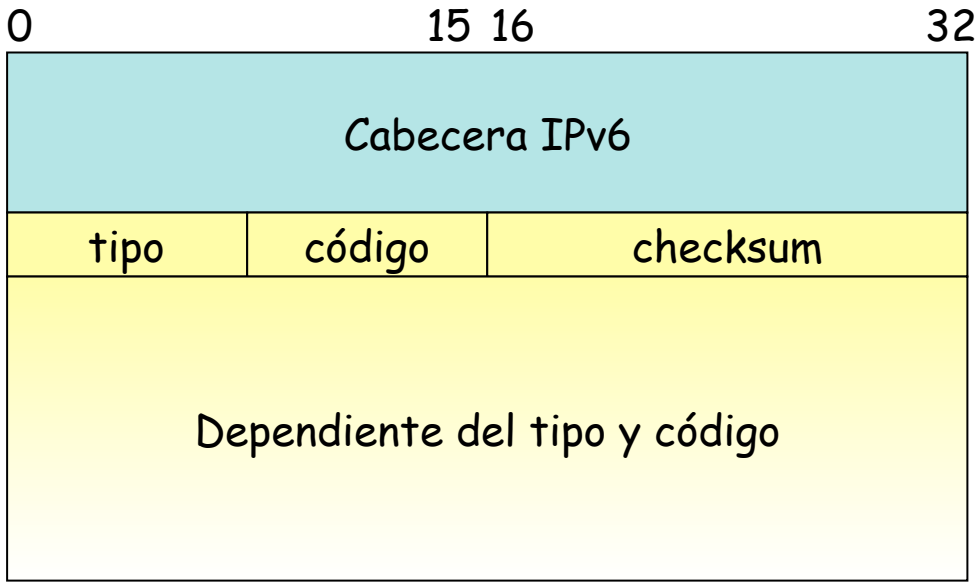
ICMPv6

Area de Ingeniería Telemática
http://www.tlm.unavarra.es

Grado en Ingeniería en Tecnologías de Telecomunicación, 3º

ICMPv6

- RFC 4443 “Internet Control Message Protocol (ICMPv6) for the Internet Protocol Version 6 (IPv6) Specification”
- Next-header = 58
- Dos tipos de mensajes
  - Error (tipo 0-127)
  - Informativos (tipo 128-255)



ICMPv6: tipos

Destination Unreachable (tipo = 1)

- Códigos para: no hay ruta al destino, comunicación prohibida, puerto inalcanzable, etc.

Packet Too Big (tipo = 2)

- Paquete excede MTU de enlace por el que reenviarlo
- Incluye la MTU de ese enlace

Time Exceeded (tipo = 3)

- Códigos para: hop limit exceeded y fragment reassembly time exceeded

Parameter Problem (tipo = 4)

- No se pudo procesar la cabecera
- Códigos para: next-header no reconocido, opción no reconocida

Echo Request y Echo Reply (tipos 128 y 129)

- Good old friend ping

http://www.iana.org/assignments/icmpv6-parameters/icmpv6-parameters.xml

ICMPv6: ND

- RFC 4861 “Network Discovery for IP version 6 (IPv6)”
- Para determinar la dirección de enlace de vecinos
- Para localizar routers vecinos
- Para saber los vecinos alcanzables
- Añade 5 tipos de mensajes ICMPv6 nuevos (más en extensiones) (...)

ICMPv6: ND

- Añade 5 tipos de mensajes ICMPv6 nuevos (más en extensiones)
  - Router Solicitation (RS)
    - Enviado al activar un interfaz (a All-routers multicast)
    - Para provocar el envío de ...
  - Router Advertisement (RA)
    - Router anuncia su presencia periódicamente o ante petición
    - Contiene prefijos, un hop limit sugerido, cómo hacer autoconfiguración, etc
    - Hosts descubren así default gateways
  - Neighbor Solicitation (NS) (sustituto de ARP Request)
    - Enviado para determinar la dirección de enlace de un vecino
    - O para verificar que el vecino aún es alcanzable
    - Se envía a la dirección multicast *Solicited-node* del vecino
  - Neighbor Advertisement (NA) (sustituto de ARP Reply)
    - Unicast de respuesta con la dirección de enlace
  - Redirect (sustituto de ICMP Redirect)

ICMPv6

MLD

- Multicast Listener Discovery
- Empleado por un router IPv6 para descubrir hosts interesados en un grupo multicast
- MLDv1 RFC 2710 como IGMPv2
- MLDv2 RFC 3810 como IGMPv3
- Añade nuevos tipos de mensajes a ICMPv6

MRD

- Multicast Router Discovery (RFC 4286)
- Permite identificar a mrouters, por ejemplo para hacer snooping, sin depender del protocolo de enrutamiento multicast empleado

Routing protocols

RIPng

- RFC 2080 “RIPng for IPv6”
- Distance-vector, 15 saltos, split-horizon, sobre UDP

OSPFv3

- RFC 5340 “OSPF for IPv6”
- Router ID y area ID siguen siendo de 32 bits
- LSAs nuevos

EIGRP for IPv6

BGP-4

- RFC 2545 “Use of BGP-4 Multiprotocol Extensions for IPv6 Inter-Domain Routing”

IS-IS

- RFC 5308 “Routing IPv6 with IS-IS”
- Mantiene misma topología para IPv4 e IPv6 (mismo SPT)
- RFC 5120 “M-ISIS: Multi Topology (MT) Routing in Intermediate System to Intermediate Systems (IS-ISs)

PIM-SM

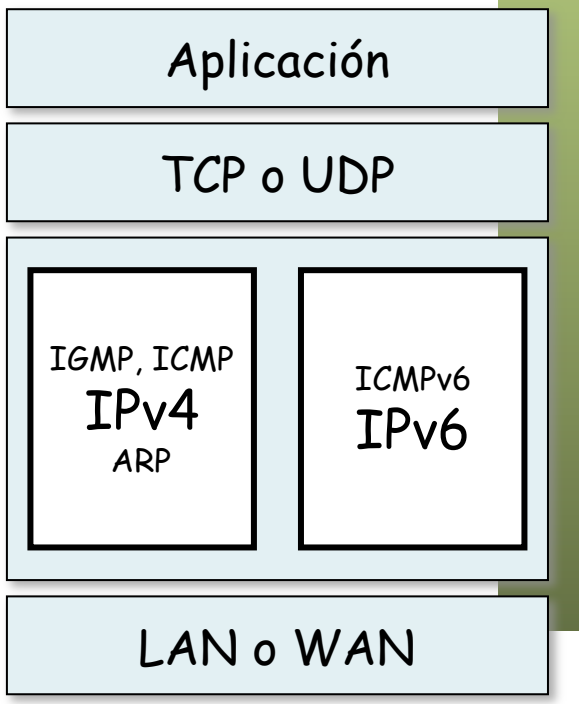
- Soporta IPv6 multicast

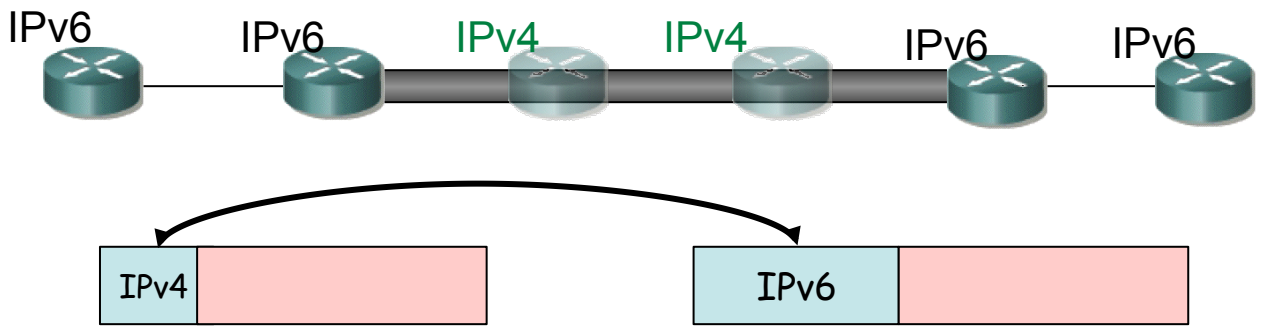
upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Tecnologías Avanzadas de Red
Área de Ingeniería Telemática

Transición IPv4-IPv6

Transición

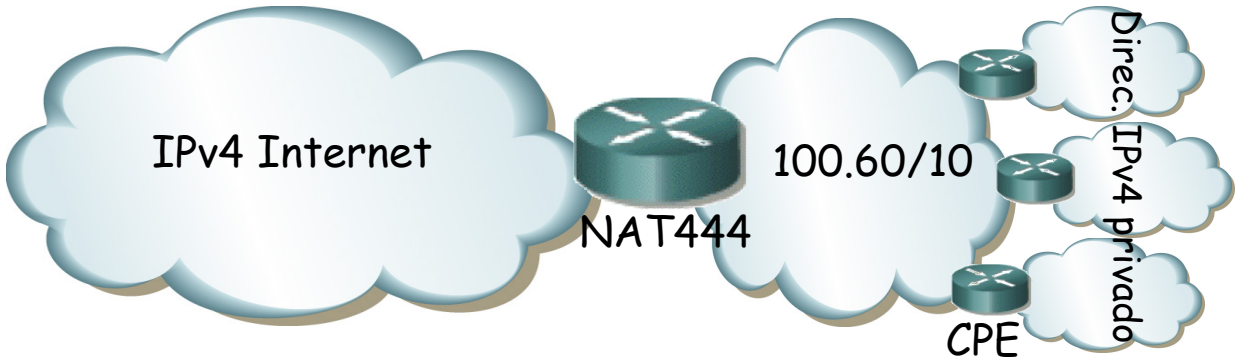
- RFC 4213 “Basic IPv6 Transition Mechanisms”
- Dual stack
  - Nodos IPv6/IPv4; aplicación decide cuál emplear
  - DNS puede resolver nombres a ambos protocolos
- Tunneling
  - Paquetes IPv6 sobre red IPv4 (protocolo=41)
  - Router-to-Router, Host-to-Host
  - Host-to-Router, Router-to-Host
  - Usuarios IPv6 pierden acceso a la red IPv4
  - Puede usar *Tunnel brokers/servers*
- Translation
  - Convertir cabeceras, se pierden las opciones
  - IP/ICMP Translation (RFCs 6145, 6052)





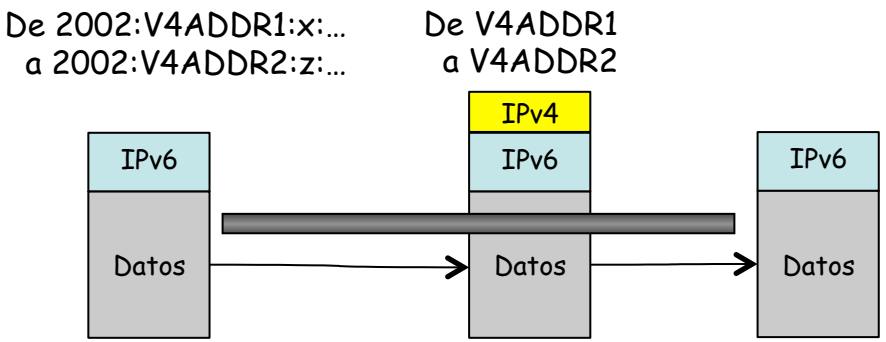
NATs

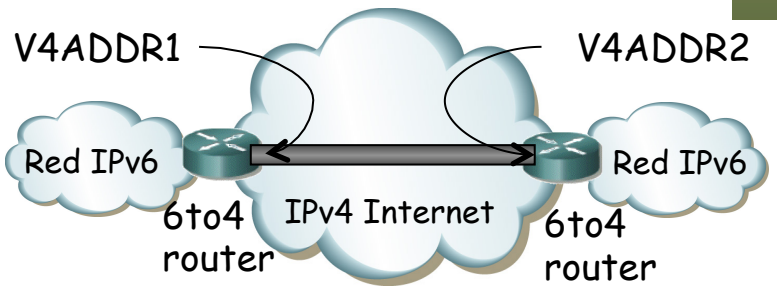
- NAT-PT y NAPT-PT (RFC 2766, año 2000)
  - Network Address (and Port) Translation – Protocol Translation (RFC 2766)
  - Para hosts en red IPv6 acceder a hosts en red IPv4, incluye un DNS-ALG
  - Problemas de NATs ➔ histórico desde RFC 4966
- NAT64 (RFC 6146, año 2011)
  - Cumple recomendaciones para NATs UDP/TCP/ICMP
  - Emplea DNS64 (RFC 6147)
  - IP/ICMP Translation (RFC 6145, 6052)
- Carrier-Grade NAT (RFC 6264, año 2011)
  - CGNs o NAT444 o Large Scale NAT
  - Principalmente para prolongar aún más la vida de la Internet IPv4
  - Usuarios en LANs IPv4 con direccionamiento privado, CPE tal vez NAT44
  - Shared Address Space 100.60.0.0/10 (RFC 6598, año 2012)

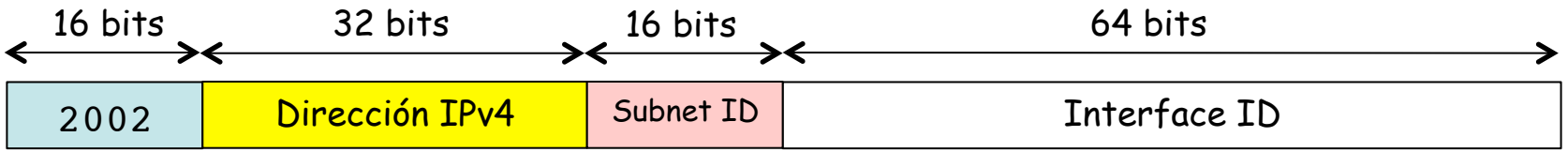


6to4

- RFC 3056 *"Connection of IPv6 Domains via IPv4 Clouds"*
- Permite comunicación entre dominios IPv6 mediante túneles que no necesitan configurarse explícitamente
- No requiere modificar hosts, solo routers frontera
- Cada dominio requiere una dirección IPv4 pública
- Debe emplear en la red IPv6 un direccionamiento global que contiene la IPv4 pública del router
- De esa forma al enviar un paquete IPv6 a un host en otra red IPv6 con un router 6to4 la propia dirección del destino indica la del router
- El paquete IPv6 se encapsula en uno IPv4 de router a router

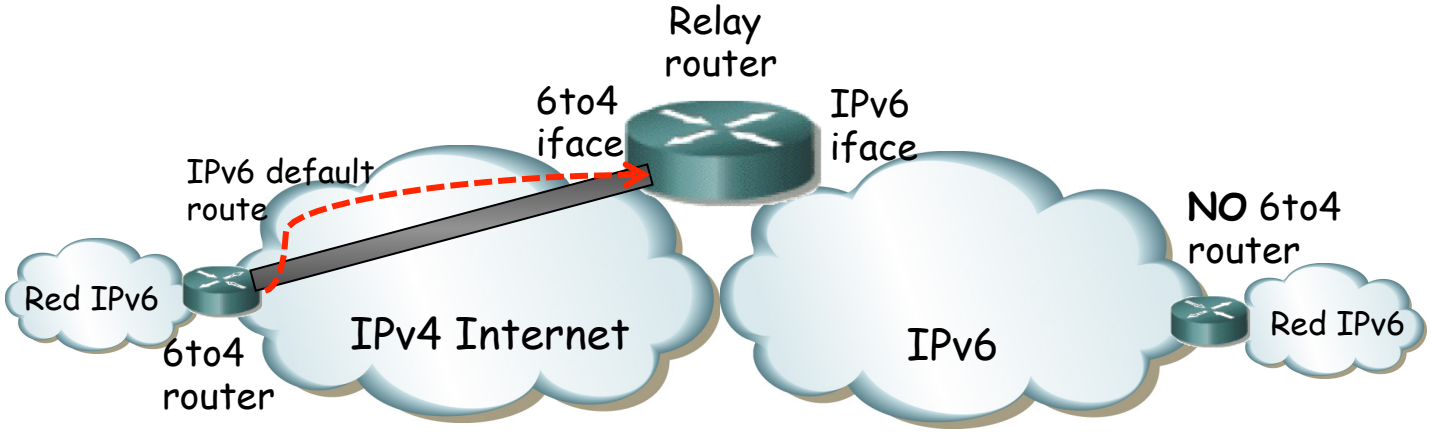






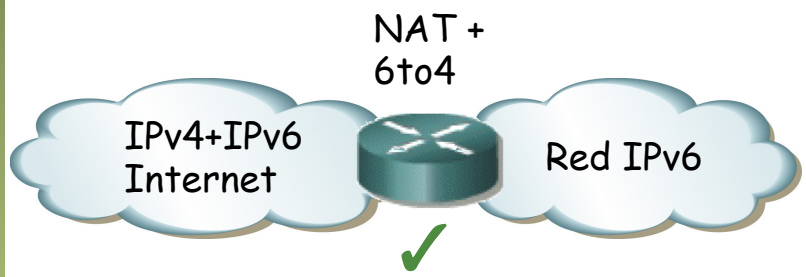
6to4

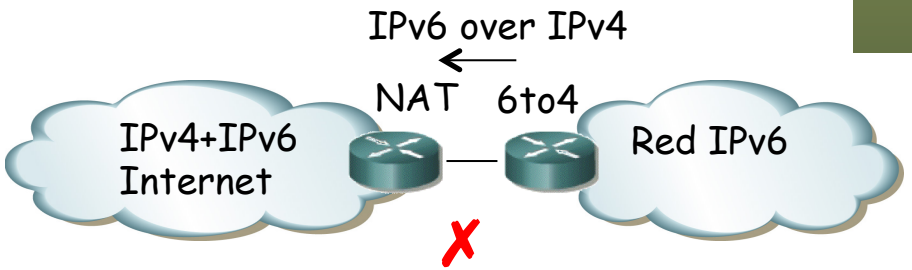
- Necesita un relay para comunicarse con redes IPv6 que no tengan router 6to4
- Son las redes IPv6 con direccionamiento global diferente de 2002::/16
- Mediante un *relay router* que tiene interfaz 6to4 y también IPv6 nativo
- Router 6to4 podría aprender las rutas a las redes IPv6 por el relay mediante un EGP
- Para redes pequeñas mejor una ruta por defecto hacia el relay
- La dirección 192.88.99.1 (RFC 3068) se anuncia anycast (en realidad todo 192.88.99.0/24 pues en la *default-free* se suelen filtrar redes pequeñas)
- Se convierte en 2002:c058:6301:: (c0.58.63.01=192.88.99.1)
- Los routers 6to4 ponen ruta IPv6 por defecto a esa dirección
- Les llevará al relay más cercano anunciado por BGP-4

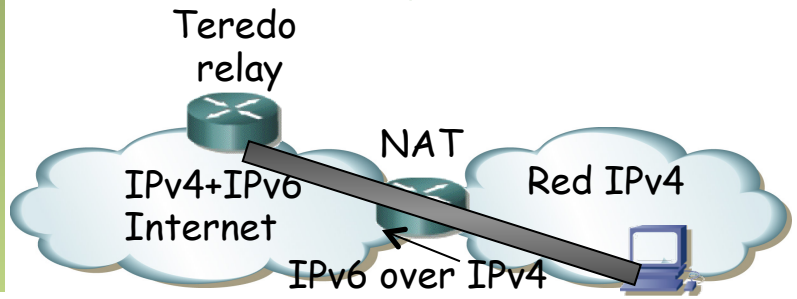


Teredo

- RFC 4380 "Teredo: Tunneling IPv6 over UDP through Network Address Translations (NATs)
- Un NAT no suele permitir más que TCP/UDP/ICMP así que no dejaría pasar IPv6 sobre IPv4 para un 6to4
- Un router 6to4 necesita tener una dirección IP pública
- El NAT podría funcionar si integrara 6to4 pero no si están separados
- El servicio Teredo permite establecer túneles desde detrás de NATs IPv4 (transporta IPv6 sobre UDP)
- Se propone como solución de último recurso
- No funciona si el NAT hace un mapeo *Address and Port Dependent*

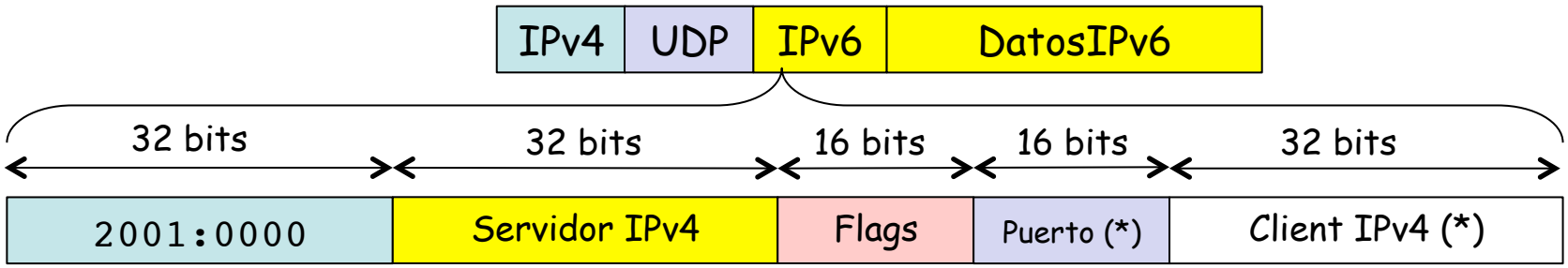






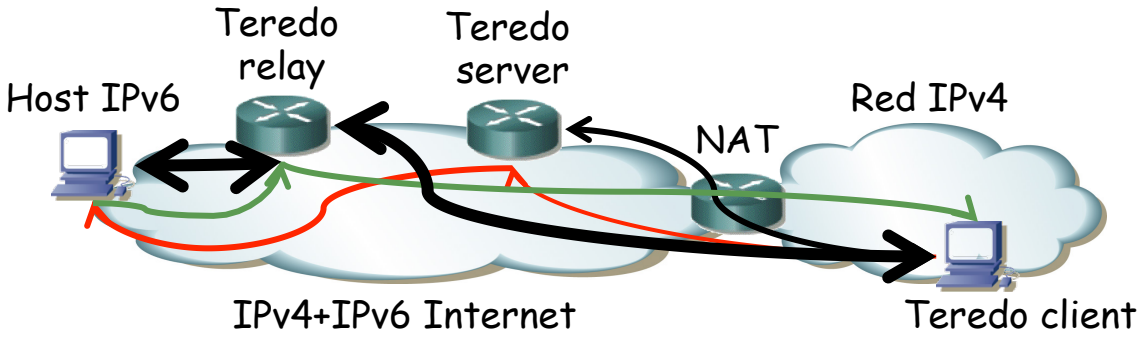
Teredo

- Prefijo reservado 2001::/32
- En primer lugar el cliente contacta con un servidor Teredo
- El cliente se configura una dirección IPv6 Teredo que contiene la IPv4 pública de su NAT y el puerto UDP por los que puede recibir paquetes
  - Los paquetes IPv6 van en los datos de datagramas UDP
  - Dirección IPv4 del cliente y puerto UDP aparecen en los datos UDP (porque van en la cabecera IPv6)
  - No se colocan tal cual sino ofuscados para evitar que el NAT decida hacerles traslación
- Los últimos 64 bits deben ser un *Modified EUI-64* así que los flags
  - Se ajustan para ello: bits 7º y 8º a 0 indican dirección unicast no global
  - Primer bit a 0 si cree que el NAT es *Address and Port Dependent*
  - 0x0000 ó 0x8000



Teredo

- Teredo server
  - En la comunicación con él el cliente descubre el tipo de NAT tras el que se encuentra (...)
  - Cliente debe descubrir al Teredo relay más cercano al host IPv6
  - Para ello envía ICMPv6 echo request al host IPv6 por el Teredo server (...)
  - Llega al host IPv6 y contesta, que como va a una dirección Teredo pasará la contestación por el relay más cercano a él (...)
  - Cliente continúa la comunicación por ese relay (...)
- Teredo relay
  - Anuncia el prefijo de Teredo a la Internet IPv6



Otras alternativas

6rd

- RFC 5569 *"IPv6 Rapid Deployment on IPv4 Infrastructures (6rd)"*
- RFC 5969 *"IPv6 Rapid Deployment on IPv4 Infrastructures (6rd) – Protocol Specification"*

ISATAP

- *RFC 5214 "Intra-Site Automatic Tunnel Addressing Protocol (ISATAP)"*

Conclusiones

- Agotamiento de direcciones IPv4 está aquí
- IPv6 está aquí
- 2014: nosotros no estamos ahí...
- Vamos a tardar aún bastante (CGNs?)
- Los mecanismos de transición no son evidentes y requieren colaboración de ISPs