

Protocolos de Interconexión de Redes

Tema 04. Internet de nueva generación: IPv6



Luis Sánchez González

DPTO. DE INGENIERÍA DE COMUNICACIONES

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 3.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/)

Contenido

- Introducción
- Direccionamiento IPv6
- Formato de la cabecera IPv6
- Fragmentación IPv6
- IPv6 Neighbour Discovery

Contenido

- **Introducción**
 - Motivación
 - Criterios de diseño
 - Principales cambios
 - Transición de IPv4 a IPv6
- Direccionamiento IPv6
- Formato de la cabecera IPv6
- Fragmentación IPv6
- IPv6 Neighbour Discovery

Motivación de IPv6

- Si IPv4 funciona. porqué cambiarlo
- El principal problema de IPv4 es su relativamente limitado espacio de direccionamiento
- CIDR y NAT son parches que han permitido solucionar parcialmente el problema
- Sigue siendo necesario atacar el problema de raíz

Criterios de diseño

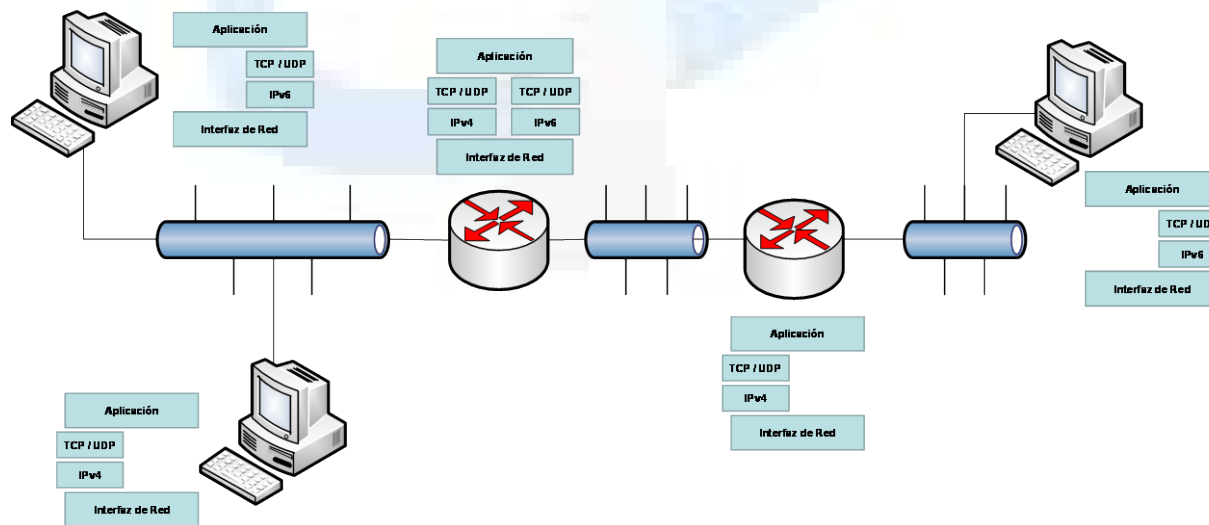
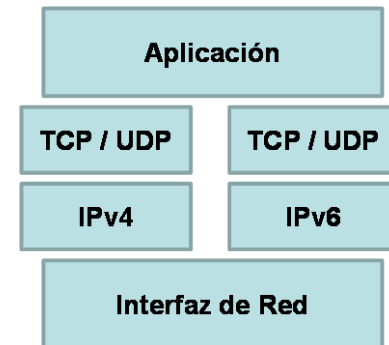
- Espacio de direccionamiento mayor
- Mejor gestión del espacio de direccionamiento
- Eliminar la necesidad de subterfugios
- Facilitar la administración de la red
- Diseño mejor adaptado al enrutamiento
- Mejorar el soporte para el multicast
- Mejorar el soporte para la seguridad
- Mejorar el soporte de la movilidad
- Transición de IPv4 a IPv6 suave

Principales cambios frente a IPv4

- Espacio de direccionamiento mucho mayor
- Direccionamiento y asignación de direcciones jerárquico
- Mejor soporte de direcciones no unicast
- Autoconfiguración y Reconfiguración
- Formato de la cabecera más eficiente
- Soporte de funcionalidades de valor añadido
 - QoS
 - Seguridad
 - Movilidad
- Nuevos procedimientos de fragmentación y reensamblado

Transición de IPv4 a IPv6

- La red 6BONE
- Dispositivos con doble stack
- Traducción IPv4/IPv6 (proxies)
- IPv6 en IPv4 (túneles)



Protocolos para Interconexión de Redes

Contenido

- Introducción
- **Direccionamiento IPv6**
 - Características del modelo de direccionamiento
 - Tipos de direcciones
 - Espacio de direccionamiento
 - Notación
 - Asignación de direcciones
 - Direcciones especiales
 - Autoconfiguración
 - Multicast y Anycast
- Formato de la cabecera IPv6
- Fragmentación IPv6
- IPv6 Neighbour Discovery

Características del modelo de direccionamiento

- Mantiene las principales funcionalidades
 - Identificación del dispositivo
 - Enrutamiento
- Direccionamiento de capa de red
- Número de direcciones por dispositivo
 - Normalmente una dirección por interfaz de red
 - Pero es posible que una interfaz de red tenga múltiples direcciones IPv6 asociadas
- Mantiene los conceptos de Identificador de Red e Identificador de Host
- Siguen existiendo las direcciones privadas
 - Su definición y uso son diferentes

Tipos de direcciones

- Direcciones unicast
 - Normalmente una dirección por cada interfaz de red
- Direcciones multicast
 - Representan a un grupo de nodos
 - A diferencia de IPv4 soportar tráfico multicast es obligatorio en IPv6
- Direcciones anycast
 - Representa a un nodo dentro de un grupo
 - Ej: Balanceo de carga

Espacio de direccionamiento en IPv6

- El gran cambio entre versiones
- IPv4 → 32 bits
- IPv6 → 128 bits
- $3.4 \cdot 10^{38}$ direcciones
 - Si se hubiesen asignado direcciones a razón de un billón por segundo desde el origen de la Tierra (4.5 billones de años) sólo se hubiese gastado una trillonésima parte
 - La misma trillonésima parte ocuparía unos 10 billones de ordenadores apilados a lo alto por cada cm^2 de la Tierra
 - No se acaban nunca

Notación en IPv6

- No tiene sentido mantener el formato dotted-decimal
 - 128.91.45.45.157.220.40.0.0.0.0.252.87.212.200.31.255
- Se usa una notación hexadecimal:
 - Los grupos se separan con : en lugar de con .

	0	32	64	96	128					
Básica	805B	2D9D	DC28	0000	0000	0057	D4C8	1FFF		
Eliminación de los 0s iniciales	805B	2D9D	DC28	0	0	57	D4C8	1FFF		
Compresión de los 0s	805B	2D9D	DC28	::		57	D4C8	1FFF		
Notación híbrida	805B	2D9D	DC28	::		57	212	200	31	255

Notación en IPv6

- Al igual que en IPv4 las direcciones IPv6 también tienen una parte que identifica a la red y otra al dispositivo
- Se usa una notación para el prefijo de red
 - Al igual que en IPv4 se usa la notación *slash*
 - / seguido del número de bits usados

Asignación de direcciones IPv6

- La gran mayoría de direcciones IPv6 se agrupan en porciones del espacio de direccionamiento no asignado
- Se usan los primeros 3 a 10 bits para definir los grupos
 - Similar a lo que se hacía en el direccionamiento IPv4 basado en clases

Bits iniciales	Asignación
0000 0000	No asignado. Incluye direcciones especiales
001	Direcciones globales unicast
1111 1110 10	Direcciones unicast <i>link-local</i>
1111 1110 11	Direcciones unicast <i>site-local</i>
1111 1111	Direcciones multicast

Direcciones globales unicast

- Comienzan con los bits 001
 - ¿Cómo se asignan los otros 125?
- Se trata de hacer que la estructura de las direcciones refleje la topología de Internet:
 - Asignación de bloques de direcciones por nivel en la jerarquía de Internet
 - Direcciones que reflejen la jerarquía de routers de forma que se puedan agregar rutas
 - Dar flexibilidad a los ISPs para asignar y dividir los bloques de direcciones entre sus clientes
 - Dar flexibilidad a las organizaciones para manejar sus bloques para que se ajusten a sus redes
 - Una dirección debe ser algo más que 128 bits

Direcciones globales unicast

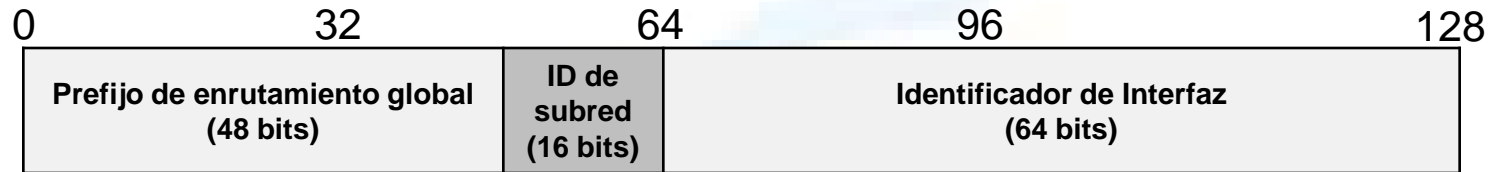
- Estructura genérica en el direccionamiento IPv6 unicast

Nombre del campo	Tamaño (bits)	Descripción
Prefijo	n	Prefijo de enrutamiento. Usado en el enrutamiento global
ID de subred	m	Identificador de subred dentro de la organización
ID de interfaz	$128 - n - m$	Identificador del dispositivo

- Estructura de las direcciones IPv6 globales unicast

Nombre del campo	Tamaño (bits)	Descripción
Prefijo	48	Usado en el enrutamiento global. Los primeros tres bits son 001
ID de subred	16	Identificador de subred dentro de la organización
ID de interfaz	64	Identificador del dispositivo

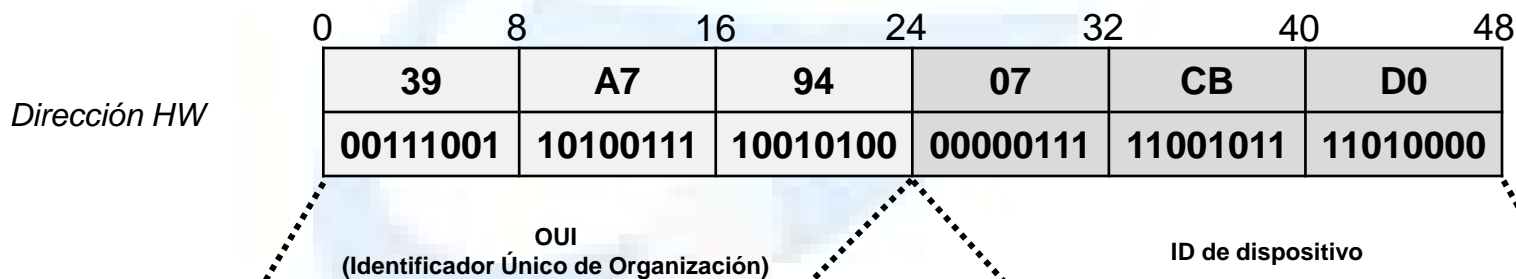
Direcciones globales unicast



- El prefijo de enrutamiento global se divide adecuándose a la jerarquía de Internet
 - RFC 2374: Organización original (y obsoleta) basada en dos niveles (TLA / NLA)
 - RFC3587: Organización libre basada en N niveles
- El manejo de los 16 bits de subred es igual que el que se podía hacer en VLSM para IPv4
- Los 64 bits del identificador de interfaz se deben a que se construye basado en el formato IEEE EUI-64

Direcciones globales unicast

- IEEE EUI-64 modificado:
 - Partiendo de las direcciones Ethernet o IEEE 802 de 48 bits se genera un identificador de 64 bits que se usa como ID de dispositivo en la dirección IPv6



Partimos la dirección HW

Añadimos el patrón FFFE

Modificación del bit U/L

00111001	10100111	10010100	11111111	11111110	00000111	11001011	11010000
00111001	10100111	10010100	11111111	11111110	00000111	11001011	11010000
00111011	10100111	10010100	11111111	11111110	00000111	11001011	11010000
3B	A7	94	FF	FE	07	CB	D0
3BA7:94FF:FE07:CB D0							

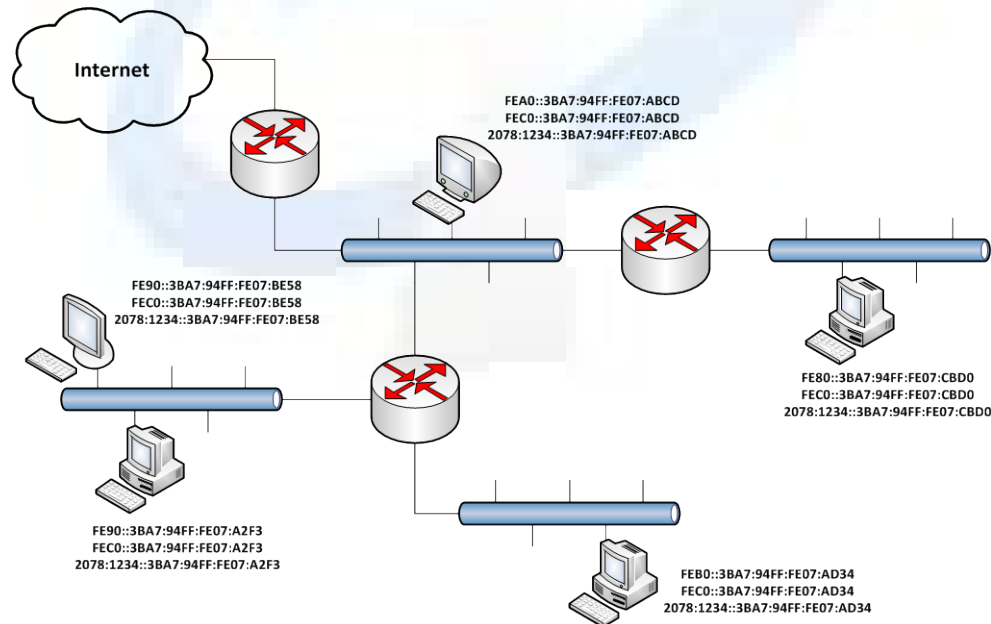
ID de dispositivo en notación IPv6

Direcciones especiales

- Dirección de loopback
 - 0:0:0:0:0:0:0:1 ó ::1
- Dirección no especificada
 - 0:0:0:0:0:0:0:0 ó ::
- Direcciones privadas
 - Sus nueve primeros bits son 1111 1110 1
 - En formato IPv6 comenzarán con FE8, FE9, FEA, FEB, FEC, FED, FEE o FEF
 - Direcciones Site-Local
 - Sus diez primeros bits son 1111 1110 11
 - En formato IPv6 comenzarán con FEC, FED, FEE o FEF
 - Direcciones Link-local
 - Sus nueve primeros bits son 1111 1110 10
 - En formato IPv6 comenzarán con FE8, FE9, FEA o FEB

Direcciones especiales – Alcance

- Direcciones Site–Local
 - Válidas únicamente dentro de una organización
 - Un router nunca reenviará datagramas destinados a una dirección Site–Local hacia la Internet pública
- Direcciones Link–Local
 - Válidas únicamente dentro de una red física
 - Un router nunca reenviará datagramas destinados a una dirección Link–Local fuera de la red física



Protocolos para Interconexión de Redes

Autoconfiguración de direcciones IPv6

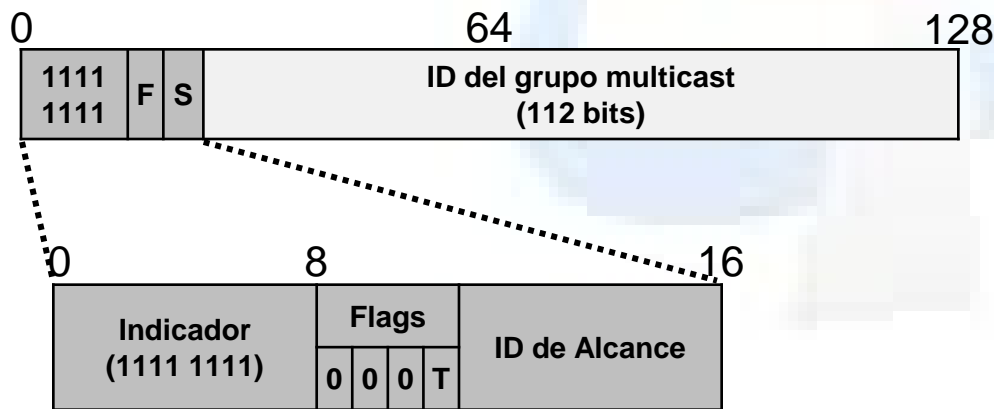
- Elimina la necesidad de DHCP
- Cualquier dispositivo, sin ninguna información previa puede generar su dirección IPv6 válida:
 - Genera una dirección Link-Local
 - Prefijo Link-Local + IEEE EUI-64 modificado
 - Comprueba que ningún otro dispositivo de la red está usando esa dirección
 - Protocolo de descubrimiento de vecinos
 - Contacta con el router de la red para determinar el método para la generación de una dirección IPv6 global
 - Protocolo de descubrimiento de vecinos
 - Configuración de la dirección IPv6 global
 - Dependiendo del método soportado

Transición IPv4 a IPv6

- Hay dos maneras de embeber una dirección IPv4 en su correspondiente IPv6
 - Depende de las capacidades del dispositivo
 - Ambas utilizan el bloque que comienza con ocho bits a 0
- Dispositivos con doble pila
 - Soportan tanto IPv4 como IPv6
 - Dirección IPv6 “IPv4-Compatible”
 - Se forma con 96 ceros seguidos de los 32 bits de la dirección IPv4
 - ::65.48.12.3
- Dispositivos sólo IPv4
 - Dirección IPv6 “IPv4-Mapped”
 - Se forma con 80 ceros seguidos de 16 unos seguidos a su vez de los 32 bits de la dirección IPv4
 - ::FFFF:65.48.12.3

Multicast

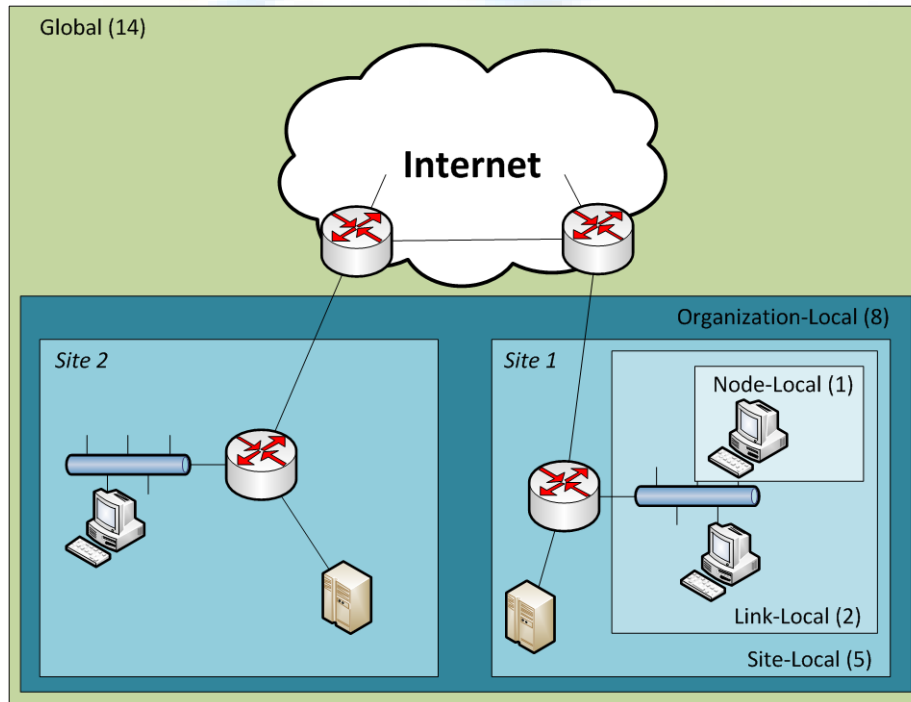
- Ya no hay dirección de broadcast para las redes
- Multicast ya no es una opción sino que es obligatorio para cualquier dispositivo IPv6 implementar los mecanismos que lo soportan
- Formato de las direcciones multicast:



Campo	Tamaño	Descripción
Indicador	8 bits	8 unos indican que es una dirección multicast
Flags	4 bits	3 reservados y fijados a 0 El bit T indica si la dirección es permanente o no
ID de Alcance	4 bits	Su valor indica el alcance de la dirección: 0 = Reservado 1 = Node-Local 2 = Link-Local 5 = Site-Local 8 = Organization-Local 14 = Global 15 = Reservado
ID de grupo	112 bits	Define al grupo multicast

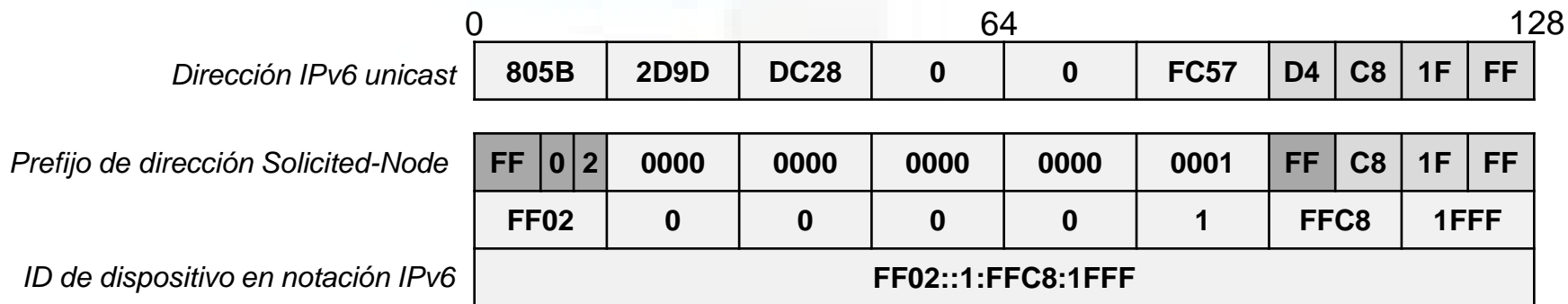
Multicast

- El alcance hace referencia a la validez de la dirección
- Los routers saben como manejar los datagramas usando la información de alcance



Multicast – Direcciones bien conocidas

- Todos los nodos
 - FF0x::1
 - Sólo es posible para los alcances Node-Local y Link-Local (FF01 o FF02)
- Todos los routers
 - FF0x::2
 - Sólo es posible para los alcances Node-Local, Link-Local y Site-Local (FF01, FF02 o FF05)
- Dirección multicast *Solicited-Node*
 - Se usa en el protocolo de descubrimiento de vecinos (equivalente a ARP en IPv4)
 - Se genera mapeando una dirección unicast de la siguiente manera:



Anycast

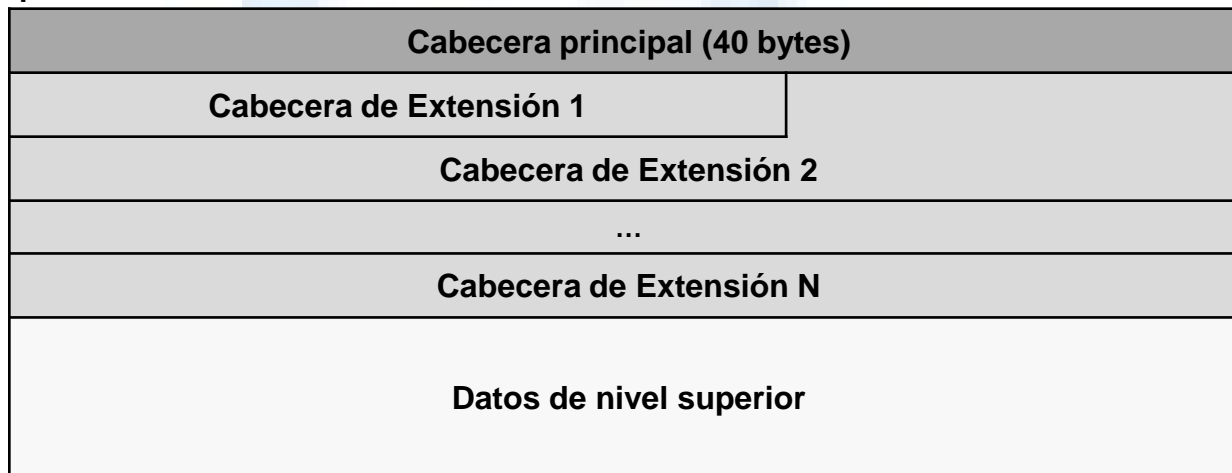
- El concepto aparece con IPv6
- Identifica a cualquier dispositivo/interfaz de un grupo
- No hay un formato de dirección anycast
 - Cuando se asigna una dirección unicast a varios interfaces dicha dirección se convierte en anycast
 - Aunque teóricamente se permite anycast a nivel global, por razones de complejidad se suele limitar al alcance de una red
 - Por el momento sólo los routers soportan anycast

Contenido

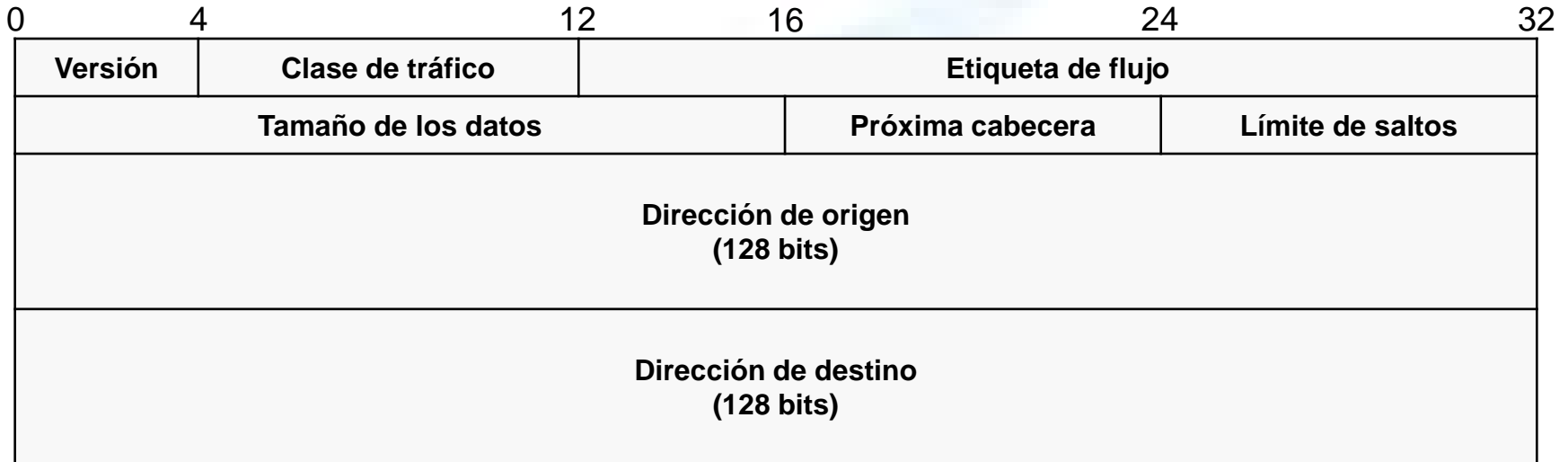
- Introducción
- Direccionamiento IPv6
- Formato del datagrama IPv6
 - Estructura
 - Cabecera obligatoria
 - Cabeceras de extensión
- Fragmentación IPv6
- IPv6 Neighbour Discovery

Estructura del datagrama IPv6

- Basada en una cabecera principal obligatoria y múltiples cabeceras de extensión opcionales
- En la cabecera básica sólo quedan los campos fundamentales
- Mayor flexibilidad con las cabeceras de extensión
- Sin checksum
- Soporte de la calidad de servicio (QoS) mejorado en la cabecera principal

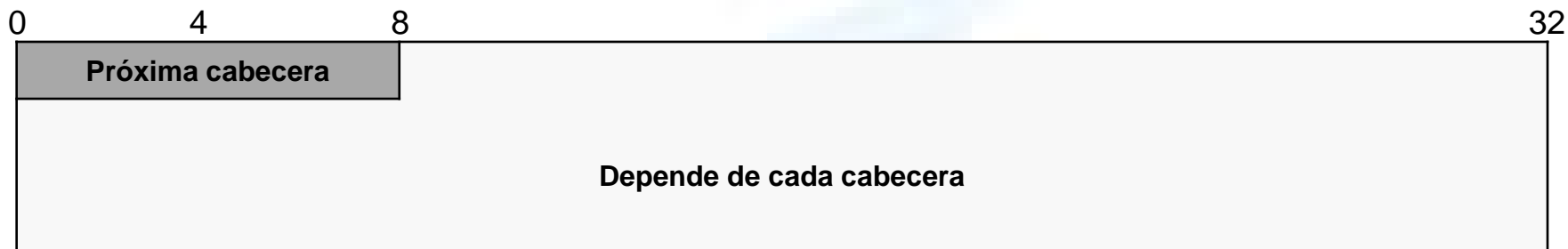


Cabecera principal



- **Versión:** similar a IPv4. Los bits toman el valor 0110 (6).
- **Clase de tráfico:** Similar al TOS de IPv4. RFC 2474 para más información.
- **Etiqueta de flujo:** Un flujo es una secuencia de datagramas. Se le da un identificador al flujo para que todos los routers traten a todos los datagramas de igual forma.
- **Tamaño de los datos:** El tamaño del datagrama IPv6 sin contar la cabecera principal.
- **Próxima cabecera:** Similar al campo Protocol de IPv4. Identifica el contenido de la cabecera que sucede a la principal (Ej. un segmento TCP ó una cabecera de extensión).
- **Límite de saltos:** Nuevo nombre para el campo TTL.

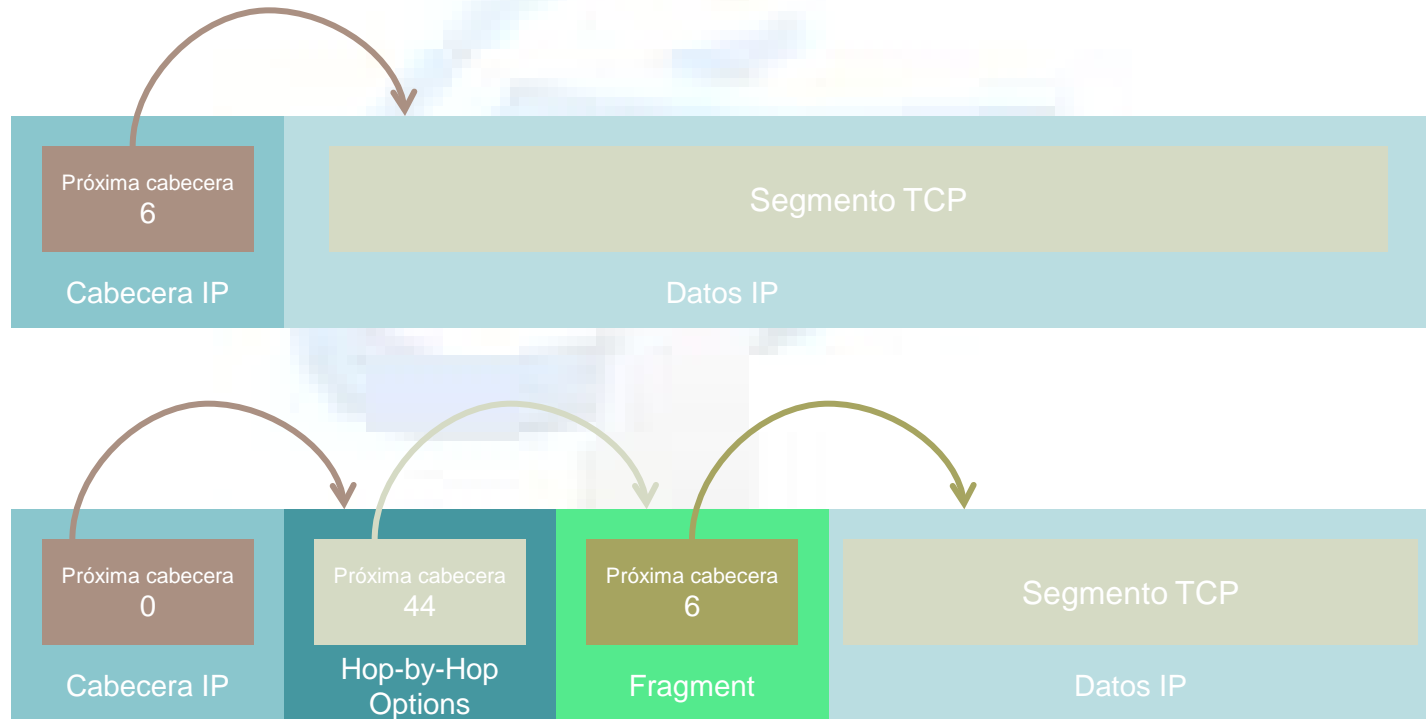
Cabeceras de extensión IPv6



Valor del campo Próxima Cabecera	Nombre	Tamaño (bytes)	Descripción
0	<i>Hop-By-Hop Options</i>	Variable	Opciones que se deben usar para el manejo del datagrama por todos los nodos en el camino entre origen y destino
60	<i>Destination Options</i>	Variable	Opciones que se deben usar para el manejo del datagrama sólo por el destinatario del datagrama. En algunos casos también por alguno de los routers si así lo especifica la cabecera de <i>Routing</i>
43	<i>Routing</i>	Variable	Permite especificar la ruta a seguir por el datagrama
44	<i>Fragment</i>	8	Soporte de la fragmentación del datagrama
51	<i>Authentication Header (AH)</i>	Variable	Contiene información para verificar la autenticidad de la información (IPSec)
50	<i>Encapsulating Security Payload (ESP)</i>	Variable	Contiene información encriptada (IPSec)

Encadenamiento de cabeceras

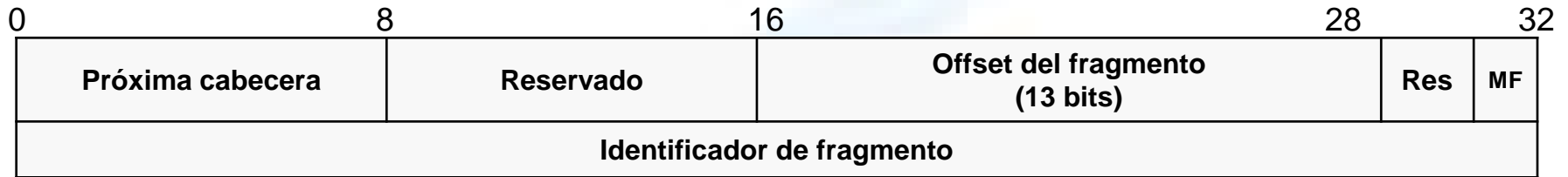
- Con el campo *Próxima Cabecera* se va encadenando la información en el datagrama



Contenido

- Introducción
- Direccionamiento IPv6
- Formato de la cabecera IPv6
- **Fragmentación IPv6**
 - Cabecera de fragmentación
 - Proceso de fragmentación
- IPv6 Neighbour Discovery

Cabecera de fragmentación IPv6



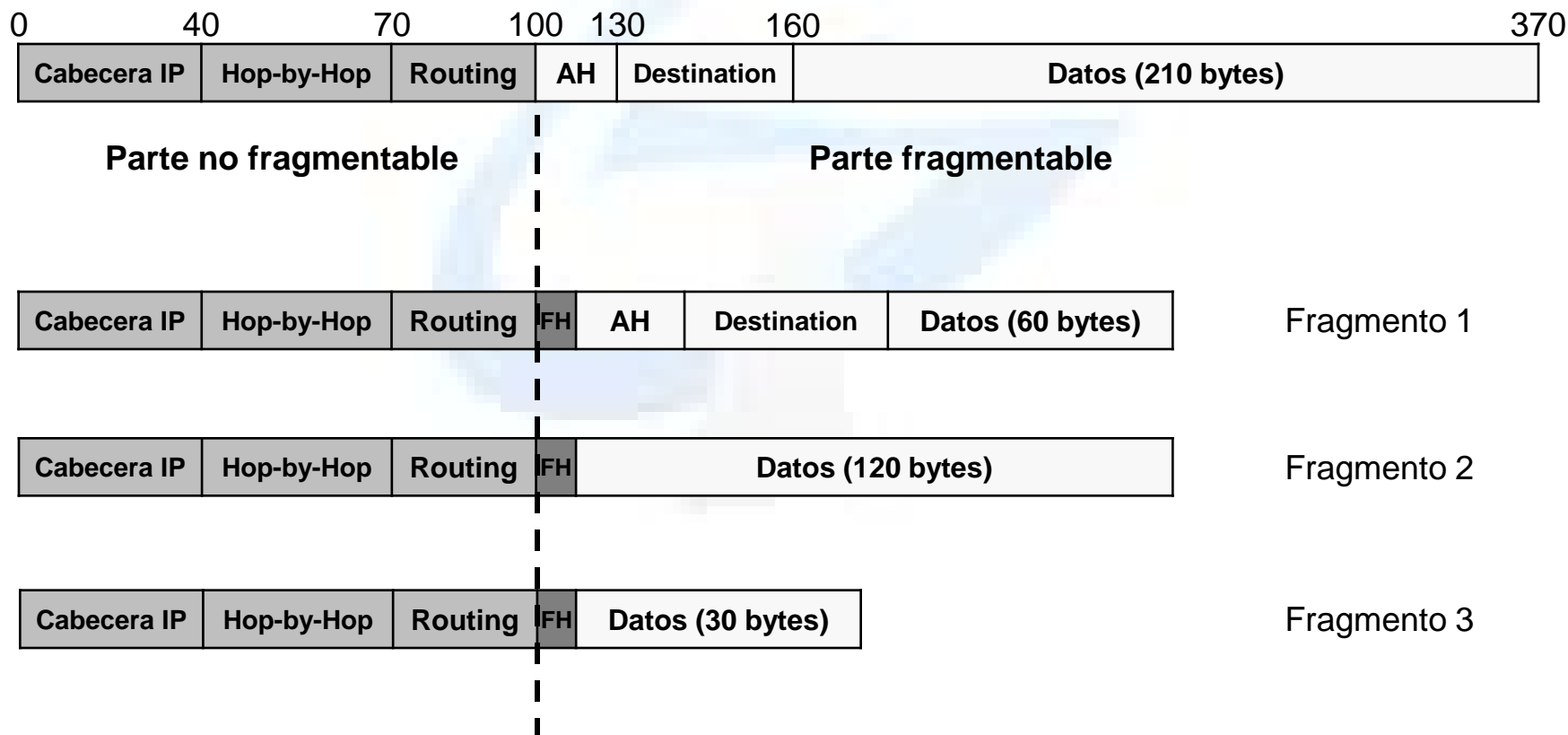
- **Próxima cabecera:** Similar al campo Protocol de IPv4. Identifica el contenido de la cabecera que sucede a la principal (Ej. un segmento TCP ó una cabecera de extensión).
- **Offset:** Determina la posición que ocupa el fragmento en el datagrama. Al igual que en IPv4 se hace por bloques de 8 bytes.
- **MF (More Fragments):** Indica si se trata del último fragmento (0) o es un fragmento intermedio (1).
- **Identificador:** Todos los fragmentos en que se divida un datagrama llevarán el mismo identificador.

Proceso de fragmentación IPv6

- Sólo en la fuente
 - Los routers ya no pueden fragmentar
 - Uso de la MTU por defecto (1280 bytes)
 - Uso de Path MTU Discovery
- Los datagramas IPv6 tienen 2 partes
 - Parte no fragmentable – Presente en todos los fragmentos
 - Cabecera fija
 - Extensiones que deben estar presentes en cada fragmento: Hop-by-Hop Options, Destination Options (procesadas en cada salto), Routing
 - Parte fragmentable – Dividida en los distintos fragmentos
 - Resto de extensiones: AH, ESP y Destination Options (procesadas sólo en el destino final)
 - Datos

Proceso de fragmentación IPv6

- Ej: MTU = 230 bytes

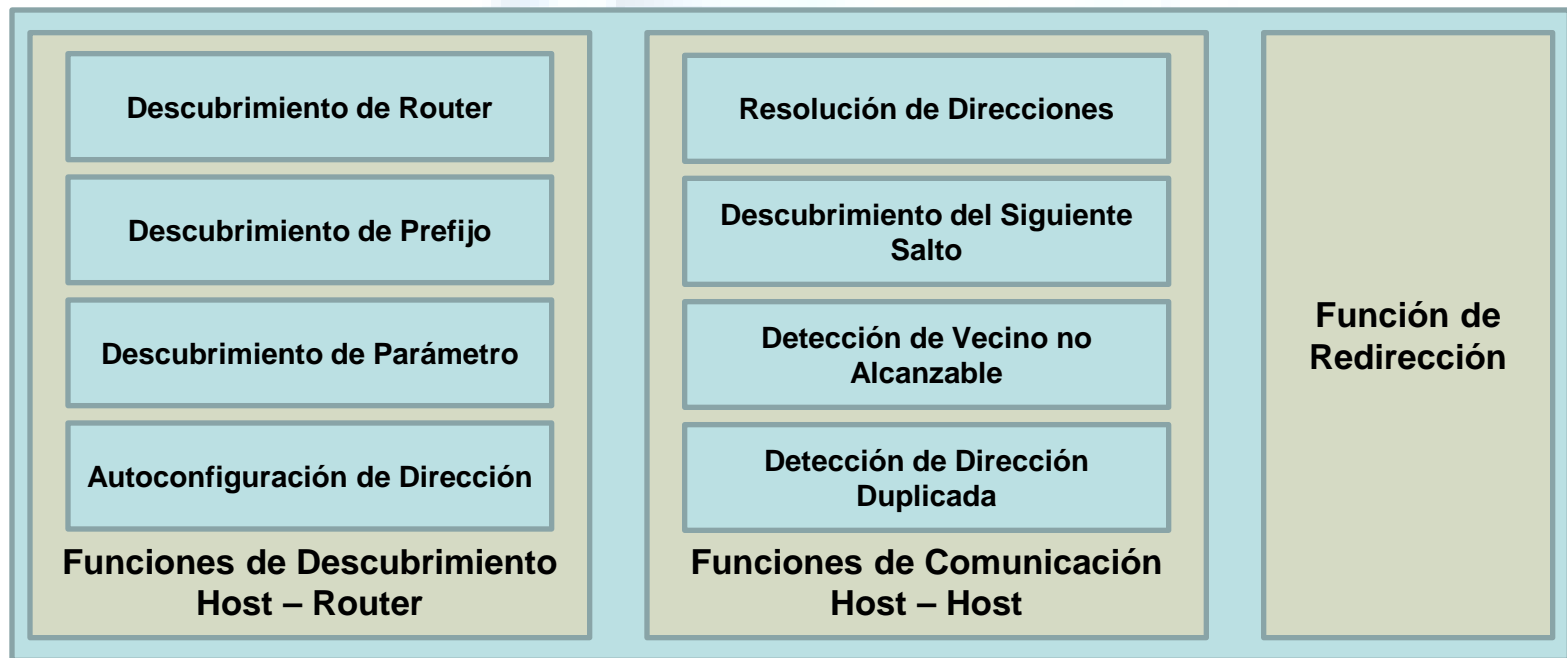


Contenido

- Introducción
- Direccionamiento IPv6
- Formato de la cabecera IPv6
- Fragmentación IPv6
- **IPv6 Neighbour Discovery**
 - Resolución de direcciones
 - Identificación de router
 - Configuración

IPv6 Neighbour Discovery

- Dos dispositivos son vecinos si pertenecen a la misma red física
- El protocolo IPv6 ND agrupa diversas funcionalidades necesarias para IP



IPv6 Neighbour Discovery

- Descubrimiento de Router (RD)
 - Descubrimiento de los router de la red local
- Descubrimiento de Prefijo
 - Descubrimiento del prefijo de la red local
- Descubrimiento de Parámetro
 - Información acerca de parámetros importantes de la red (Ej: MTU)
- Autoconfiguración de Dirección
 - Obtención de la información necesaria para la autoconfiguración
- Resolución de Direcciones
 - Equivalente al ARP en IPv4
- Descubrimiento del Siguiete Salto
 - A que router enviar el datagrama dependiendo de su destino
- Detección de Vecino no Alcanzable
 - Detección de si un vecino está en la red local o no
- Detección de Dirección Duplicada
 - Determinar si se puede usar una dirección IP o si otro vecino ya la está usando
- Función de Redirección
 - El router indica que existe un siguiente salto mejor