



AMPLIACIÓN DE SISTEMAS OPERATIVOS Y REDES

Grados Ingeniería en Informática

Universidad Complutense de Madrid

TEMA 1. Protocolo IPv6: Direccionamiento

PROFESORES:

Rafael Moreno Vozmediano

Rubén Santiago Montero

Juan Carlos Fabero Jiménez

Introducción: Limitaciones IPv4

- Direccionamiento muy limitado
 - Espacio de direccionamiento limitado (Direcciones de 32 bits ~4K millones)
 - Soluciones:
 - Uso de direcciones sin clases (CIDR)
 - Uso de intranets con direcciones privadas (NAT)
 - Uso de direcciones dinámicas (DHCP)
- Formato complejo de la cabecera del paquete
 - Longitud variable (campo opciones)
 - Información de fragmentación (no siempre necesaria)
- Seguridad limitada
 - No incluye soporte para seguridad o autenticación
 - Solución: IPSec
- Soporte limitado para prioridad de tráfico o clase de servicio
 - Funcionalidad no implementada en la mayoría de routers
- Multicast limitado
 - No se ha llegado a implementar de forma completa y eficaz

Introducción: Características IPv6

- Direcciones de 128 bits
 - Espacio de direcciones mucho mayor ($3.4 * 10^{38}$ direcciones)
- Formato de cabecera más simple
 - Mayor velocidad de procesamiento en los routers
 - Mejora en el rendimiento de los protocolos de routing
- Posibilidad de autoconfiguración de direcciones
- Mejor soporte para opciones adicionales
 - Las opciones de IPv6 no se codifican en la cabecera, sino en el cuerpo del paquete IP mediante cabeceras de extensión
 - Dispone de mayor espacio para su codificación
 - Permite introducir nuevas opciones en el futuro
- Opciones de seguridad tanto para autenticación como para encriptación
- Soporte para tráfico en tiempo real (ej. VoIP)
- Encamamiento jerárquico basado en prefijos
- Mecanismos de transición desde la versión 4

Introducción: IP versión 4 y versión 6

Característica	IPv4	IPv6
Longitud de direcciones	32 bits	128 bits
Clases de direcciones	Clase A, Clase B, Clase C	Direcciones sin clase (Classless)
Tipo de direcciones	Unicast, Multicast, Broadcast	Unicast, Multicast, Anycast
Configuración de dirección	Estática (a través de ficheros de configuración) o por DHCP	Autoconfiguración (plug and play) o por DHCP
Formato cabecera	Complejo. Longitud variable	Simple. Longitud fija
Calidad de servicio	Sí, aunque no soportado totalmente por routers	Sí
Soporte tráfico en tiempo real	No	Sí
Seguridad	No	Sí

Direcciones IPv6: Tipos

Unicast

- Identifican a un único host en la red.
- Un paquete dirigido a una dirección unicast se entregará únicamente al host identificado con dicha dirección IP.

Multicast

- Identifican a un grupo de hosts
- Un paquete dirigido a una dirección multicast se entrega a todos los hosts identificados con esa dirección.
- Implementan también el tráfico broadcast

Anycast

- Identifican a un grupo de hosts.
- Un paquete dirigido a una dirección anycast se entrega a uno solo de los hosts identificados con esa dirección, normalmente al más cercano, en función de la métrica usada por el protocolo de routing.

Direcciones IPv6: Notación

- Las direcciones tiene una longitud de 128bits (16 bytes)
- Notación Hexadecimal
 - La dirección se divide en 8 bloques de 16 bits
 - Cada bloque se escribe en hexadecimal con 4 dígitos
 - Los bloques se separan por “:”
 - Ejemplos:
FEDC:BA98:7654:3210:0123:4567:89AB:CDEF
1080:0000:0000:0000:0008:0800:200C:741A
- Notación abreviada
 - En cada bloque los ceros a la izquierda se pueden omitir
0000 → 0
0074 → 74
 - Las cadenas de ceros seguidos se pueden comprimir con el símbolo “::”
1080:0:0:0:8:800:200C:741A → 1080::8:800:200C:741A
 - El símbolo “::” sólo puede aparecer una vez
21AB:0:0:A:0:0:1234:5678 →
21AB::A::1234:5678 (incorrecto)
21AB::A:0:0:1234:5678 (correcto)

Direcciones IPv6: Notación CIDR

- Las direcciones IPv6 son sin clase para soportar el direccionamiento jerárquico
- Se dividen en prefijo y sufijo
- La longitud del prefijo se denota en CIDR
- Ejemplo

FEDC:BA98:7654:3210:0123:4567:89AB:CDEF/64

1080:0:0:0:8:800:200C:741A/64

Direcciones IPv6: Ámbitos

- **Ámbito (scope):** Determina la zona de validez de la dirección.
 - **Enlace local (link-local):** Válida dentro del enlace en el que está conectado la interfaz de red (por ejemplo, una LAN)
 - **Sitio local (site-local):** Válida dentro de un *sitio*, que puede estar formado por una o varias redes interconectadas mediante routers (p.e. campus universitario)
 - **Global:** Válida en todo Internet.
- Las direcciones multicast definen su ámbito en un campo de 4 bits:
 - link-local (2)
 - site-local (5)
 - organization-local(8): Todos los sitios de una organización (mismo prefijo)
 - global (E)
- La unicidad de las direcciones sólo se garantiza dentro de su ámbito.
- Los datagramas con origen y destino en un ámbito no se redirigen a un ámbito diferente.

Direcciones IPv6: Estructura

- IPv4 tiene una estructura de un nivel (red y host)
- IPv6 permite una jerarquía flexible, que acomoda diferentes tipos de direcciones
- Cada tipo de dirección comienza con un prefijo (prefijo de formato) de longitud variable.

Tipo de dirección	FP (binario)	FP (hexadecimal)
Reserved Address	0000 0000	0000::/8
Aggregatable Global Unicast Address	001	2000::/3
Link-Local Unicast Address	1111 1110 10	FE80::/10
Site-Local Unicast Address (en desuso)	1111 1110 11	FEC0::/10
Universal Local Address (ULA)	1111 110	FC00::/7
Multicast Address	1111 1111	FF00::/10

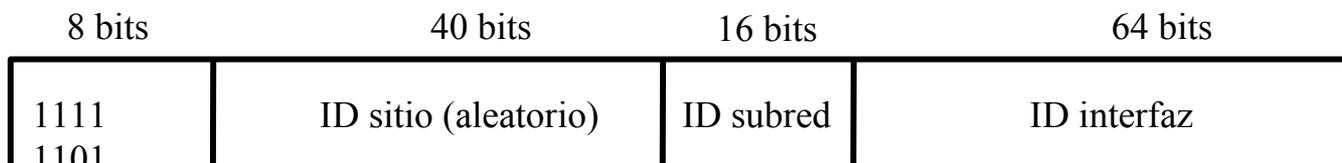
Direcciones IPv6: Enlace local

- Definen direcciones privadas unicast que se usan en intranets
- Es un espacio de direcciones plano
- Nunca se encamina fuera de la zona de ámbito del enlace
- Permite la autoconfiguración y el descubrimiento de vecinos
- Formato:
 - El prefijo de formato ocupa 10 bits: 1111 1110 10 (FE80::/10).
 - El resto de los primeros 64bits son 0
 - Identificador de host (64bits)
- **Ejemplo:**
`fe80::2e81:58ff:fee9:64bb/64`

Direcciones IPv6: Sitio local (ULA)

- Definidas en el RFC 4193 - Unique Local Address
- Direcciones unicast privadas que pueden usarse en intranets jerárquicas
- Nunca se encaminan fuera del sitio
- Sustituyen a las antiguas direcciones de sitio local (fec0::/10) - RFC 3879
- Formato:
 - Prefijo de formato fc00::/7, más un bit que indica si la gestión es global (0) o local (1).
 - Identificador de sitio (40 bits). Debe seleccionarse aleatoriamente para evitar colisiones
 - Identificador de subred (16 bits)
 - Identificador de host (64bits)
- **Ejemplo:**

fd12:A128:e8e1:1:FEDC:BA98:7865:4321/64



Direcciones IPv6: Unicast Globales

- Las direcciones unicast globales agregables están definidas en el RFC 3587
- Permite la autoconfiguración
- Formato:
 - Prefijo global encaminamiento (48bits). Los primeros tres bits son 001, y permiten 2^{45} organizaciones (ISP) diferentes. Es la única parte relevante en el encaminamiento global.
 - Identificador de subred (16bits), 65536 subredes por organización
 - Identificador de host (64bits)

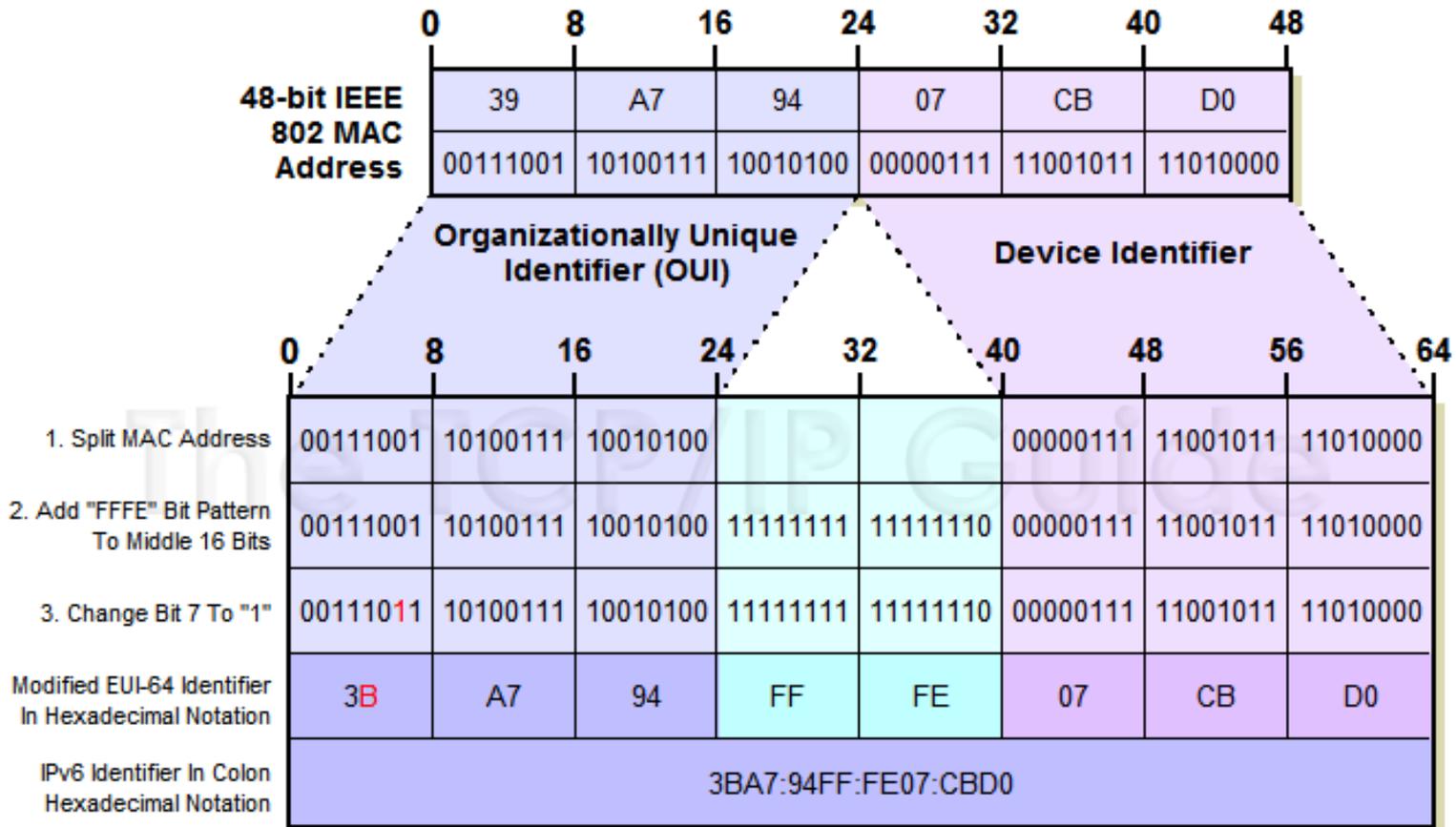
- **Ejemplo:**

2004:A128::32:FEDC:BA98:7865:4321/64



Direcciones IPv6: Unicast Globales (1)

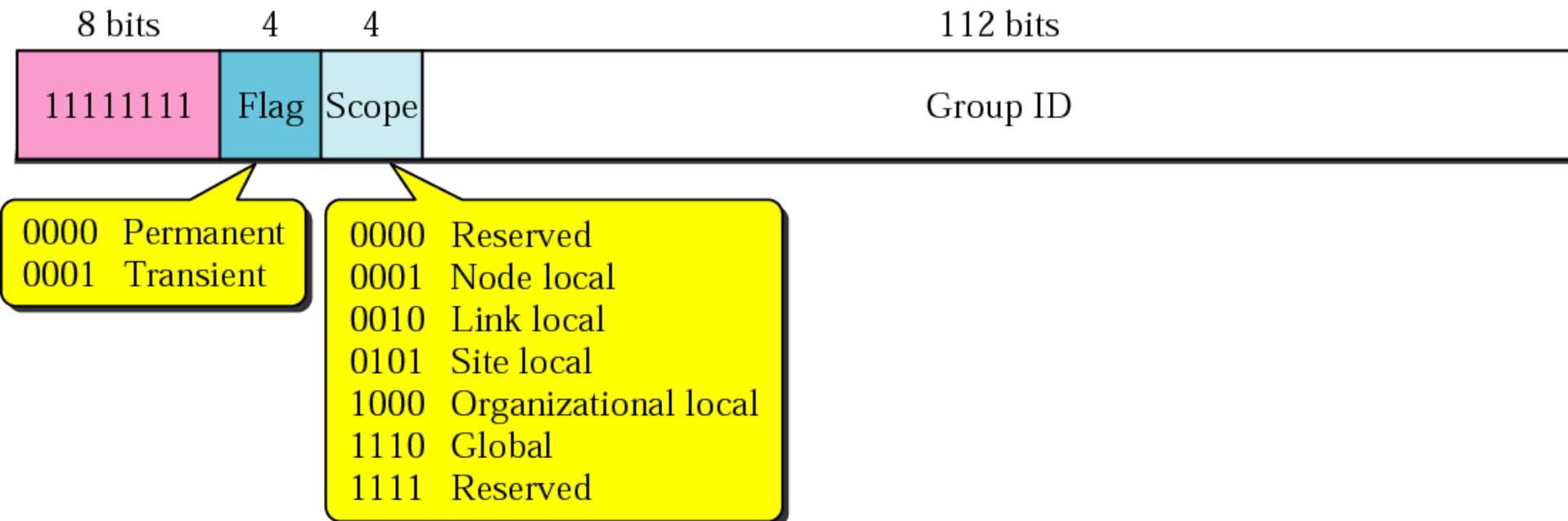
- Los 64 bits menos significativos determinan el identificador del interfaz (no host)
- Permite relacionar la dirección IP de red con la dirección MAC de enlace
- El procedimiento habitual es usar el 64-bit extended unique identifier (EUI-64)



64-Bit IPv6 Modified EUI-64 Interface Identifier

Direcciones IPv6: Multicast

- Definen un grupo de hosts en un ámbito determinado
- Formato:
 - El prefijo de formato es FF::/8
 - Flags(4bits) indican si es una dirección permanente o temporal para una comunicación (p.e. grupo de hosts en una teleconferencia). RFC 3306
 - Ámbito (4bits)
 - Grupo Multicast (112bits).



Direcciones IPv6: Multicast (1)

- Direcciones para el descubrimiento de vecinos
 - FF02::1:FF00:0 - FF02::1:FFFF:FFFF
- Direcciones para los computadores FF01::1 y FF02::1
- Direcciones de los encaminadores:

Dirección	Ámbito	Significado
FF01::1	Hosts, nodo local	Un paquete dirigido a esta dirección se envía a todas las interfaces del host
FF02::1	Hosts, link local	Un paquete dirigido a esta dirección se envía a todos los hosts del enlace local, pero no se reexpide a otras subredes locales a través de los routers internos
FF05:2	Routers, site local	Un paquete dirigido a esta dirección se envía a todos los routers del site local, por tanto se reexpide a todas las subredes a través de los routers internos
FF02::9	Routers RIP, link Local	Un paquete dirigido a esta dirección se envía a todos los routers del enlace local que realizan encaminamiento RIP

Direcciones IPv6: Otras Direcciones

- Dirección sin especificar: 0:0:0:0:0:0:0:0 (::)
 - Indica que el host no tiene ninguna dirección asignada
- Dirección de loopback: 0:0:0:0:0:0:0:1 (::1)
 - Análoga a la dirección de loopback IPv4 127.0.0.1
- Direcciones IPv4 codificadas
 - De uso en arquitecturas que mezclan las pilas IPv4, IPv6
 - **Formato**, ::FFFF:<IPv4>
 - Ejemplo ::FFFF:192.02.13.123



AMPLIACIÓN DE SISTEMAS OPERATIVOS Y REDES

Grados Ingeniería en Informática

Universidad Complutense de Madrid

TEMA 1. Protocolo IPv6: Datagrama

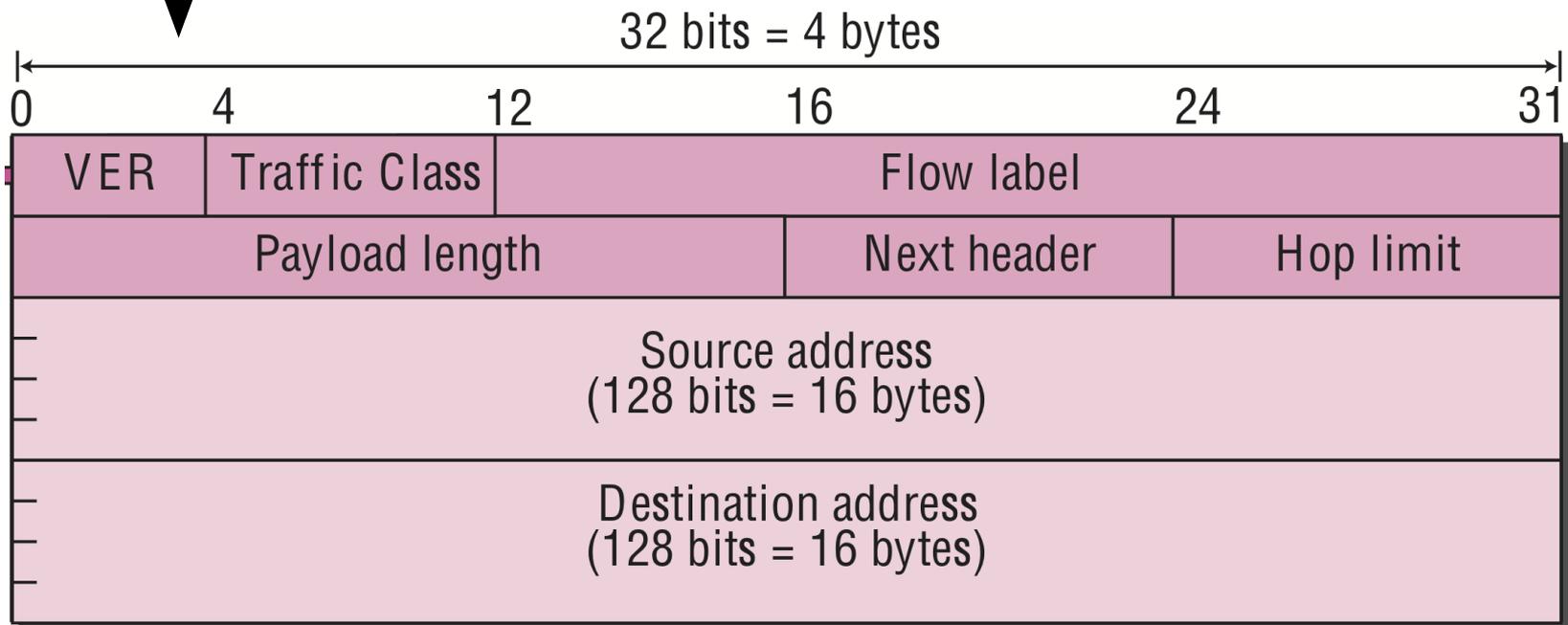
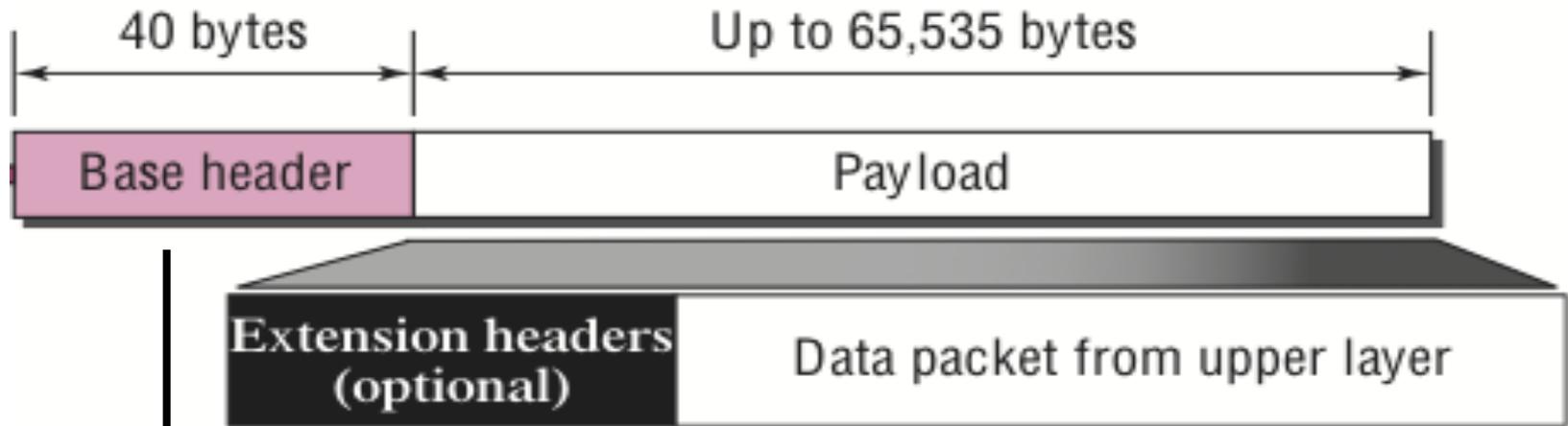
PROFESORES:

Rafael Moreno Vozmediano

Rubén Santiago Montero

Juan Carlos Fabero Jiménez

Datagrama IPv6: Formato



Datagrama IPv6: Formato

- **Version** (4bits): 4 ó 6 según la versión
- **Traffic Class** (8bits): distingue diferentes requisitos de entrega del datagrama, es equivalente al campo ToS de IPv4

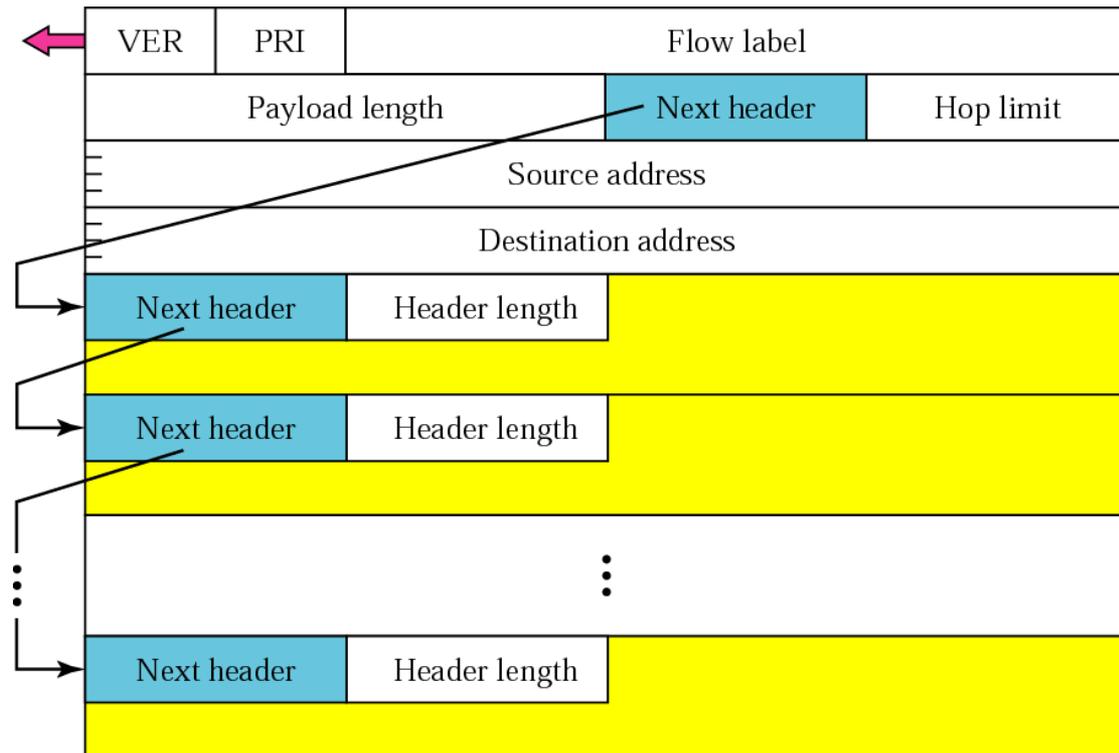
DSCP (Differentiated Services Code Point)	ECN (Explicit Congestion Notification)
---	--

- DSCP (6 bits). Clasificación del tráfico en grupos con distintos requisitos de calidad de servicio.
- ECN (2 bits). Permite detectar situaciones de congestión en la red sin descartar paquetes
- **Flow Label** (20bits). Etiqueta el paquete como perteneciente a un flujo para mejorar el procesamiento realizado por los encaminadores de la red.
 - Un flujo comparte las mismas características (origen/destino, requisitos...)
 - Usado por protocolos de tiempo real y reserva (RTP/RSVP)
- **Payload Length** (16bits). Longitud sin contar la cabecera (máx. 64Kbytes)
- **Hop Limit** (8bits). Equivalente a TTL de IPv4
- **Source/Destination Address** (128bits). Direcciones origen y destino

Datagrama IPv6: Formato

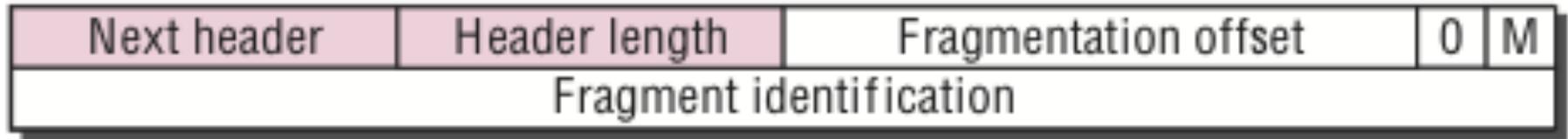
- **Next Header** (8bit): Define la siguiente cabecera en el datagrama.
 - La cabecera puede ser IP, similar al campo opciones en IPv4
 - Protocolo superior, encapsulado en la sección de datos (6 TCP, 17 UDP...)
 - Estructura regular en los datagramas de procesamiento sencillo
 - Longitud (8 bits) en múltiplos de 8-bytes

Código	Next Header
0	Hop-by-hop
43	Source routing
44	Fragmentación
50	Encrypted payload
51	Authentication
59	Null (no next header)
60	Destination



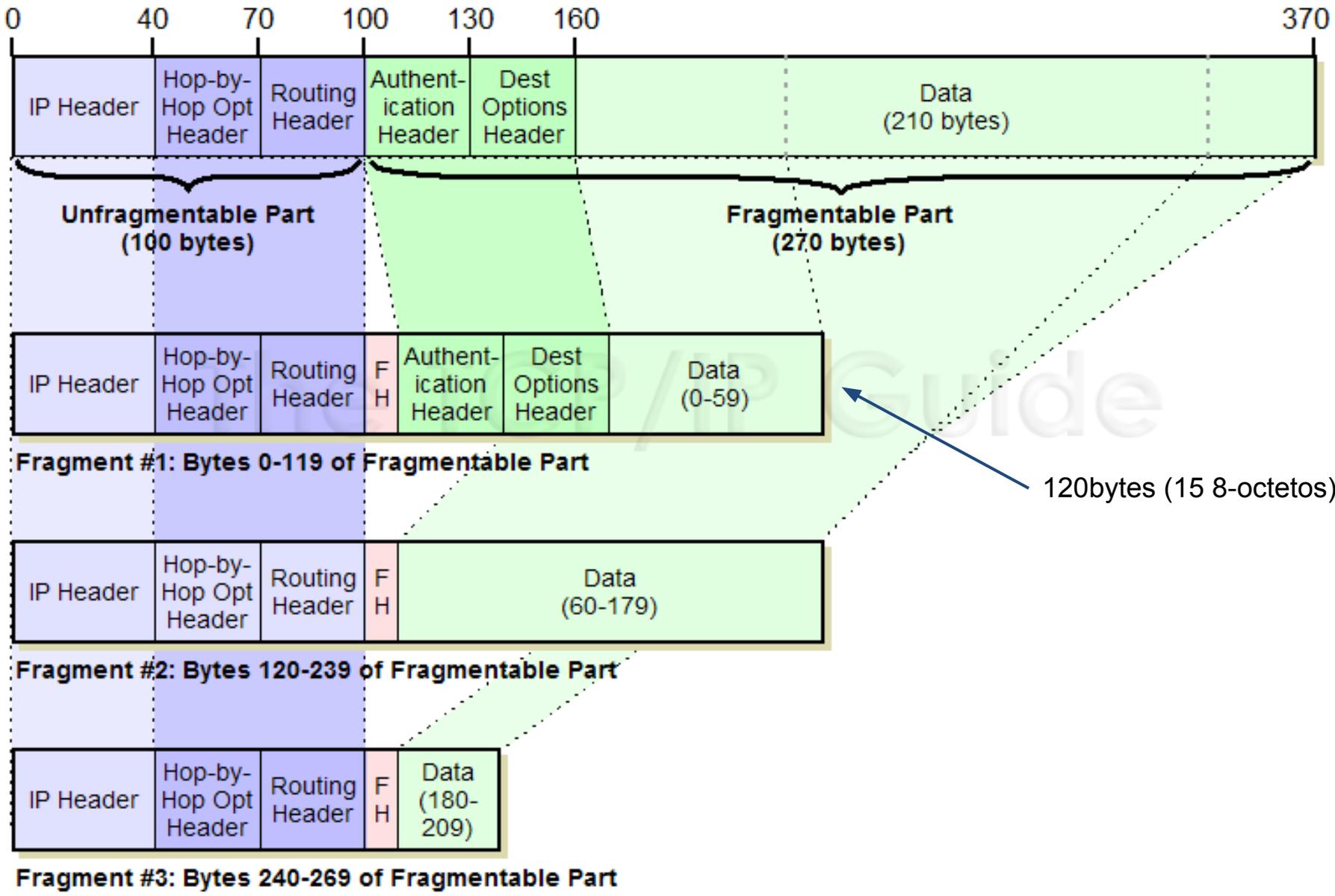
Datagrama IPv6: Fragmentación

- En IPv6 la fragmentación se debe realizar en origen (los routers nunca fragmentan)
- El host origen usa la técnica de Path MTU Discovery para descubrir la MTU mínima del camino
- En caso de no usar MTU Discovery, el emisor fragmentará el paquete en fragmentos inferiores a 1280 bytes (MTU mínima para redes en Internet)
- **Formato** de la cabecera de fragmentación



- **Header length** (8 bits). Reservado, inicializado a 0s
- **Offset** (13bits): desplazamiento respecto al inicio del datagrama en unidades de 8-bytes.
- **M**: indica si hay más fragmentos o no.
- **Identification**: permite identificar a los fragmentos del mismo datagrama.

Datagrama IPv6: Fragmentación



Datagrama IPv6: Comparativa IPv4

- El campo longitud de la cabecera se ha eliminado, ya que la longitud es fija
- El campo TOS se ha eliminado, y sustituido por los campos traffic class y flow label
- El tamaño del datagrama no incluye la cabecera
- Los campos de fragmentación se eliminan de la cabecera y se implementan en cabeceras de extensión
- El campo TTL se sustituye por Hop Limit
- El campo protocolo se sustituye por next header
- No hay campo checksum ya que se realiza por los protocolos superiores
- El campo opciones se realiza como cabeceras de extensión



AMPLIACIÓN DE SISTEMAS OPERATIVOS Y REDES

Grados Ingeniería en Informática

Universidad Complutense de Madrid

TEMA 1. ICMPv6

PROFESORES:

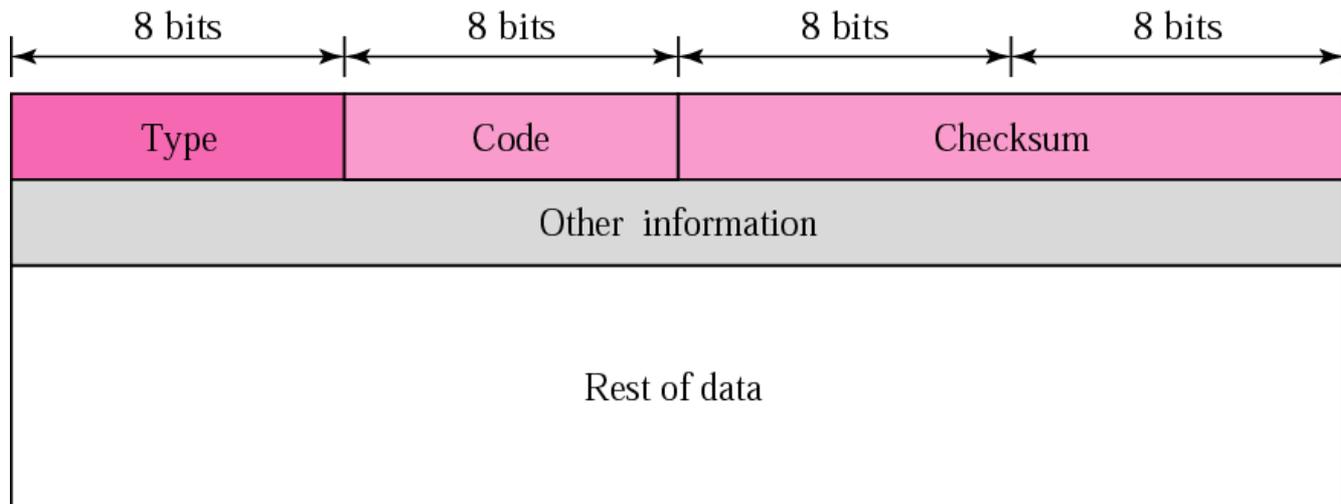
Rafael Moreno Vozmediano

Rubén Santiago Montero

Juan Carlos Fabero Jiménez

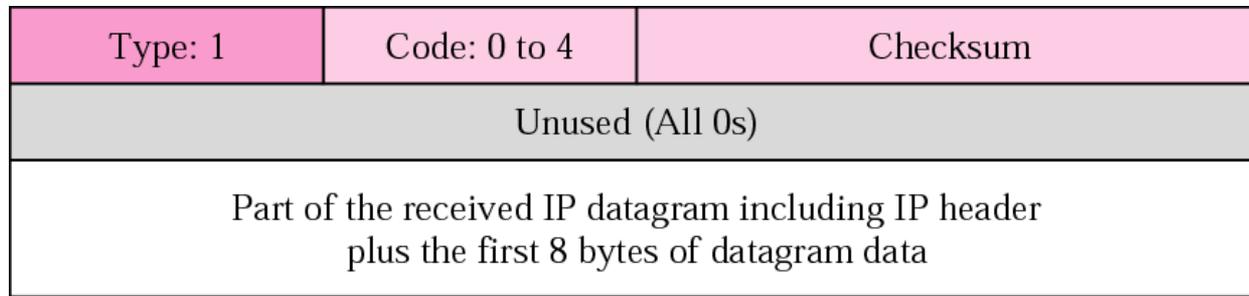
ICMPv6: Introducción

- ICMPv6 asume el papel de algunos protocolos auxiliares en IPv4
 - Funcionalidad ofrecida por ICMPv4
 - IGMP, protocolo de gestión de grupos multicast
 - ARP, protocolo de resolución de direcciones
- Protocolo orientado a mensajes
 - Mensajes de error
 - Mensajes de información
 - Mensajes para el descubrimiento de vecinos
 - Mensajes de pertenencia y gestión de grupos
- Todos los mensajes ICMPv6 tienen un formato común:



ICMPv6: Mensajes de Error

- Incluye errores relativos a:
 - Destino inalcanzable
 - Datagrama demasiado grande
 - Tiempo excedido
 - Problema de Parámetros
- Ejemplo: Destino inalcanzable
 - Un router o host no pueden encaminar o entregar un datagrama.
 - El datagrama se descarta y se envía un mensaje ICMP de error



- Code 0: Sin ruta al destino
- Code 1: Comunicación no permitida
- Code 2: Fuera del ámbito del origen
- Code 3: Dirección destino inalcanzable
- Code 4: Puerto inalcanzable
- Code 5: Fallo de la dirección origen
- Code 6: Ruta rechazada

ICMPv6: Mensajes de Información

- Incluye los mensajes de echo-request y echo-reply.
- Permite identificar errores en la capa de red
- Formato:
 - Identificador y Secuencia (16bits cada uno): Sirven para identificar las respuestas, dependen de la implementación de ping
 - Datos: deben copiarse en la respuesta

Type: 128 or 129	Code: 0	Checksum
Identifier		Sequence number
Optional data Sent by the request message; repeated by the reply message		

ICMPv6: Descubrimiento de Vecinos

- Protocolo multifunción que permite realizar operaciones de configuración.
- Opera sobre hosts y routers en el mismo enlace

Descubrimiento de vecino

- Resolución de direcciones (equivalente a ARP en IPv4)
- Detección de direcciones duplicadas
- Detección de vecino alcanzable
- Mensajes ICMPv6 Neighbor Solicitation (135) y Neighbor Advertisement (136)

Descubrimiento de router

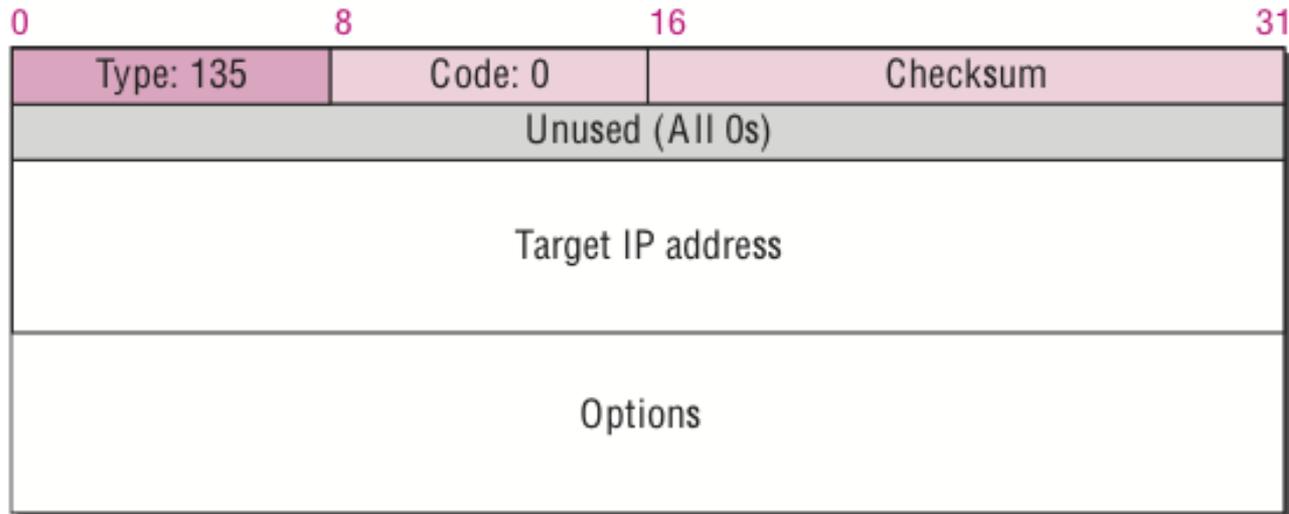
- Descubrimiento de routers
- Anuncio de prefijos y otra información de configuración de la red
- Mensajes ICMPv6 Router Solicitation (133) y Router Advertisement (134)

Redirección

- Notificar a un host una ruta más adecuada para alcanzar un determinado destino
- Mensaje ICMPv6 Redirect (137)

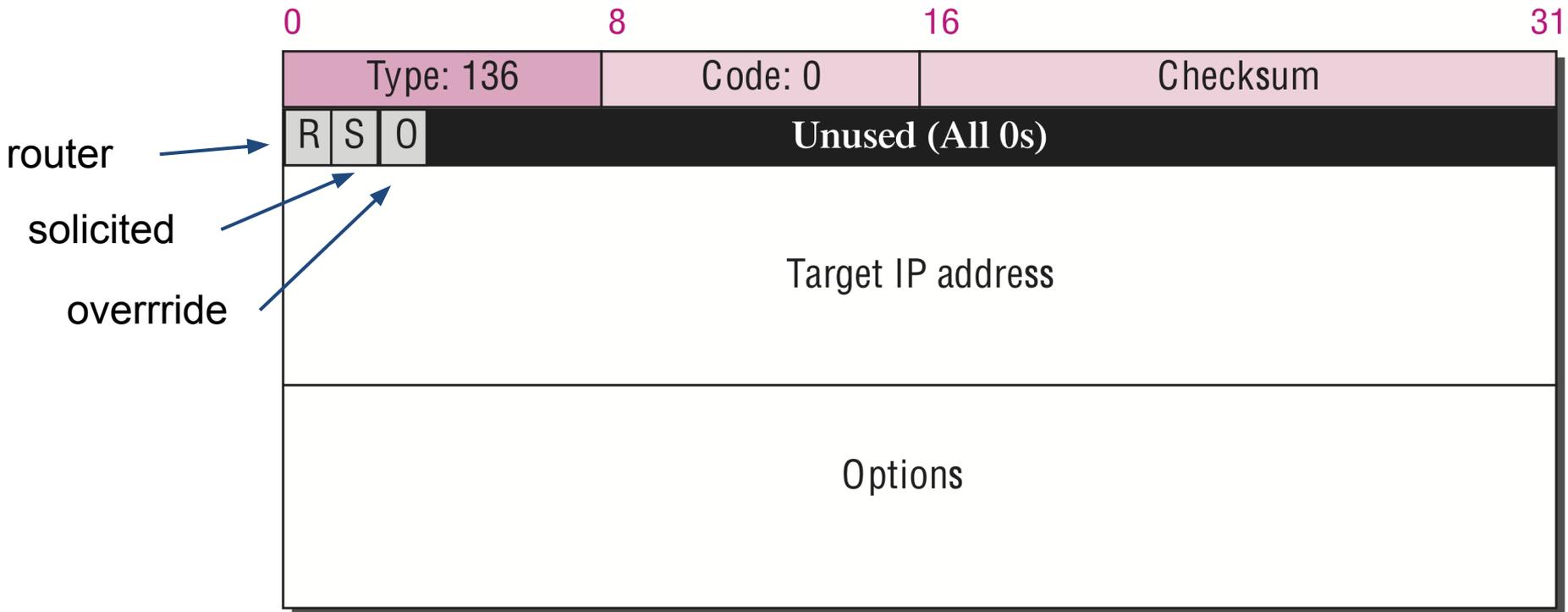
ICMPv6: Solicitud de vecino

- Este mensaje se genera en las siguientes situaciones:
 - Averiguar la dirección física asociada a una dirección IP. Dirección multicast destino es FF02::1 (todos los hosts del enlace local)
 - Determinar si un nodo vecino sigue siendo alcanzable. Dirección unicast del host
 - Detectar si la dirección IP está duplicada, en el proceso de autoconfiguración
- **Formato:**



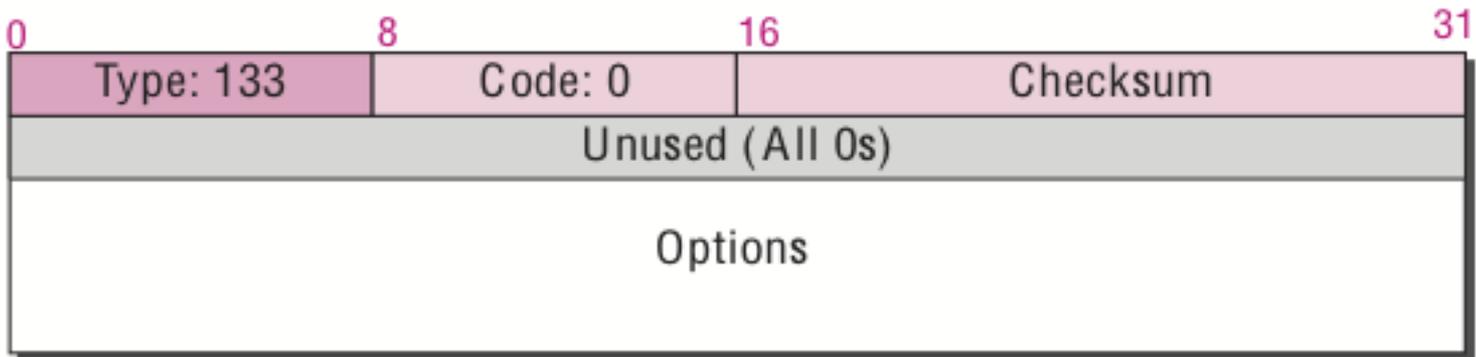
ICMPv6: Anuncio de vecino

- Este mensaje se genera en las siguientes situaciones:
 - Respuesta a un mensaje de Neighbor Solicitation (ARP reply de IPv4). La dirección destino es la dirección unicast del destinatario.
 - Cambio en la dirección física de un host, para notificar el cambio. La dirección multicast destino FF02::1
- Formato:



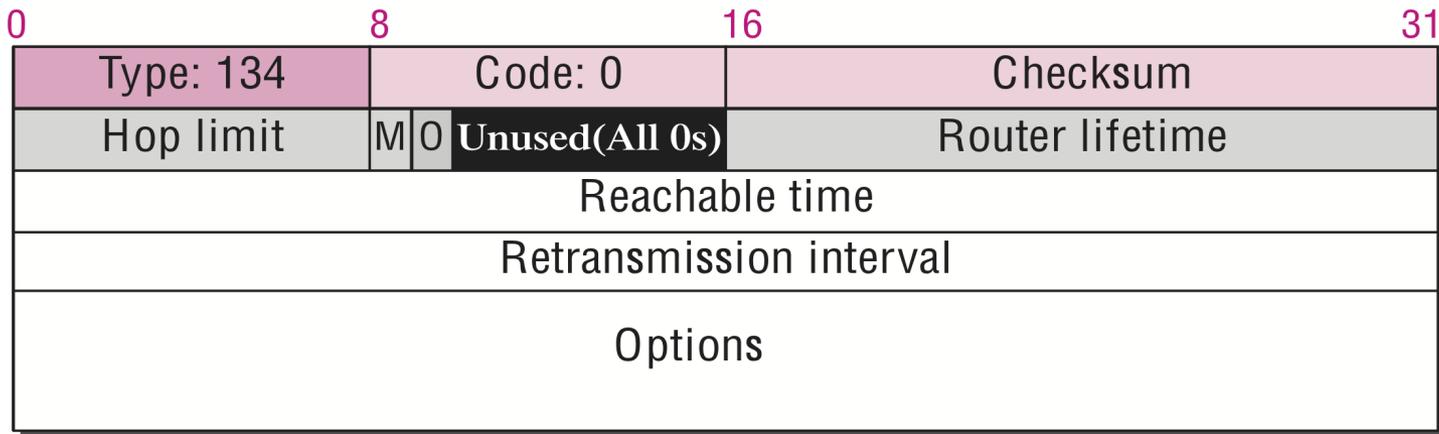
ICMPv6: Solicitud de router

- Este mensaje se genera en las siguientes situaciones:
 - Tras la activación de un interfaz para detectar los encaminadores y autoconfigurarlo
 - La dirección multicast destino es FF02::2, todos los encaminadores
- Formato:



ICMPv6: Anuncio de router

- Los envían los routers para anunciar su presencia en la red
- Estos mensajes se envían en las siguientes situaciones:
 - Periódicamente, para anunciar a los hosts el router en la red. El mensaje se envía a la dirección multicast FF02::1 (todos los hosts)
 - Como respuesta a un mensaje de Router Solicitation de un host. El mensaje se envía a la dirección unicast del host solicitante.
- Formato:



- M: Configuración via DHCPv6
- O: Otra configuración via DHCPv6
- Opciones: Dirección de enlace del interfaz del router, MTU y prefijo

ICMPv6: Anuncio de router

- La autoconfiguración de un interfaz incluye:
 - La generación de un identificador de host según modified-EUI64
 - El prefijo anunciado por el router
- Las opciones pueden incluir además información DNS
- Problemas de privacidad, generación aleatoria del identificador de interfaz
- DHCPv6: Versión 6 del protocolo DHCP