

upna

Universidad Pública de Navarra  
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**Tecnologías Avanzadas de Red**  
*Área de Ingeniería Telemática*

# IPv6

Area de Ingeniería Telemática

<http://www.tlm.unavarra.es>

Grado en Ingeniería en Tecnologías de  
Telecomunicación, 3º

upna

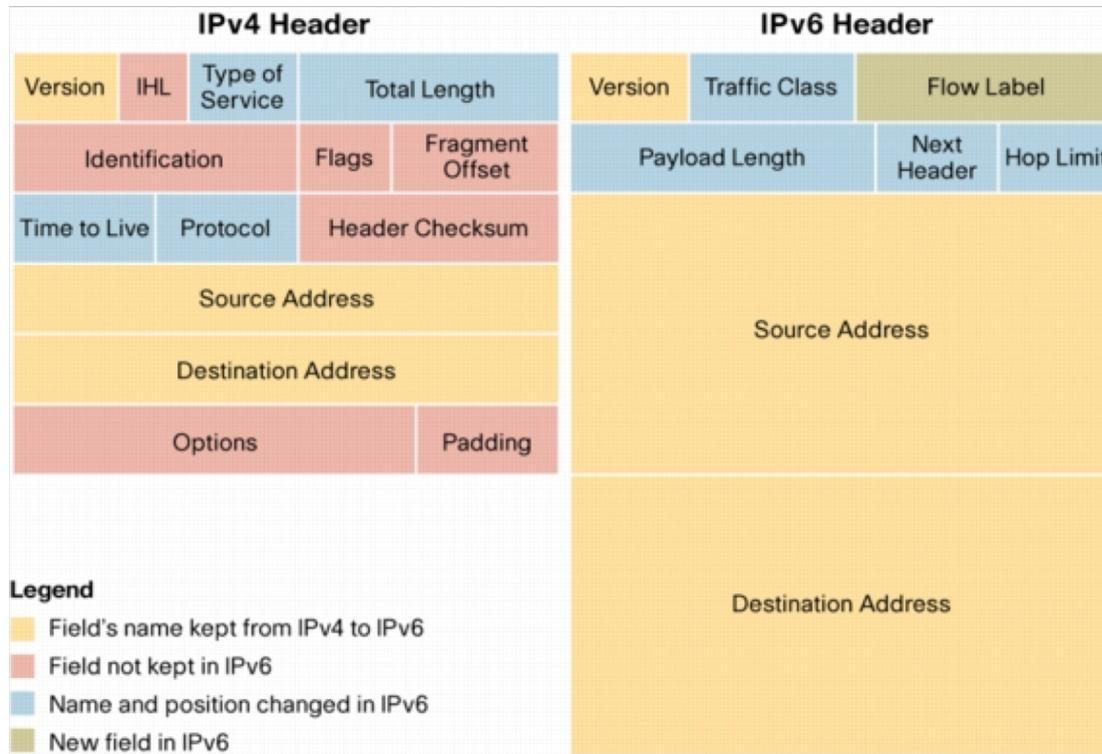
Universidad Pública de Navarra  
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**Tecnologías Avanzadas de Red**  
*Área de Ingeniería Telemática*

# IPv6: Lo básico

# IPv6

- ¿En qué se diferencia de IPv4?



[http://www.cisco.com/en/US/technologies/tk648/tk872/technologies\\_white\\_paper0900aecd8054d37d.html](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...



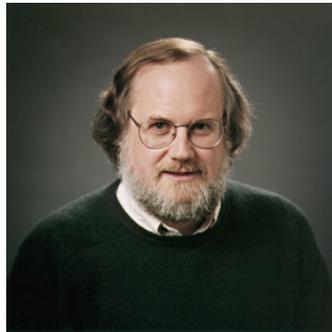
# IPv6

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



# IPv6

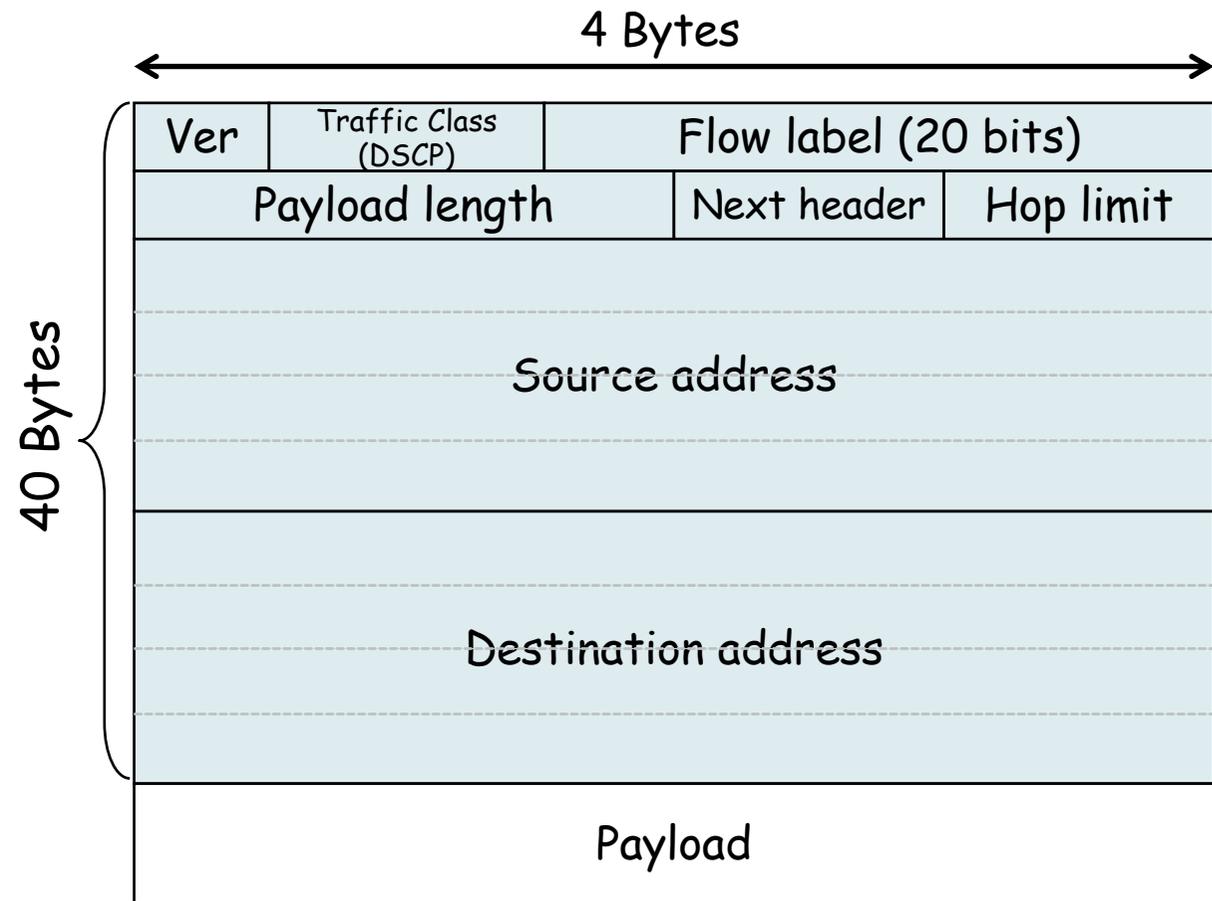
- RFC 8200 (2017) “*Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification*” (antes RFC 2460 de 1998, antes RFC 1883 de 1995)



Steve Deering

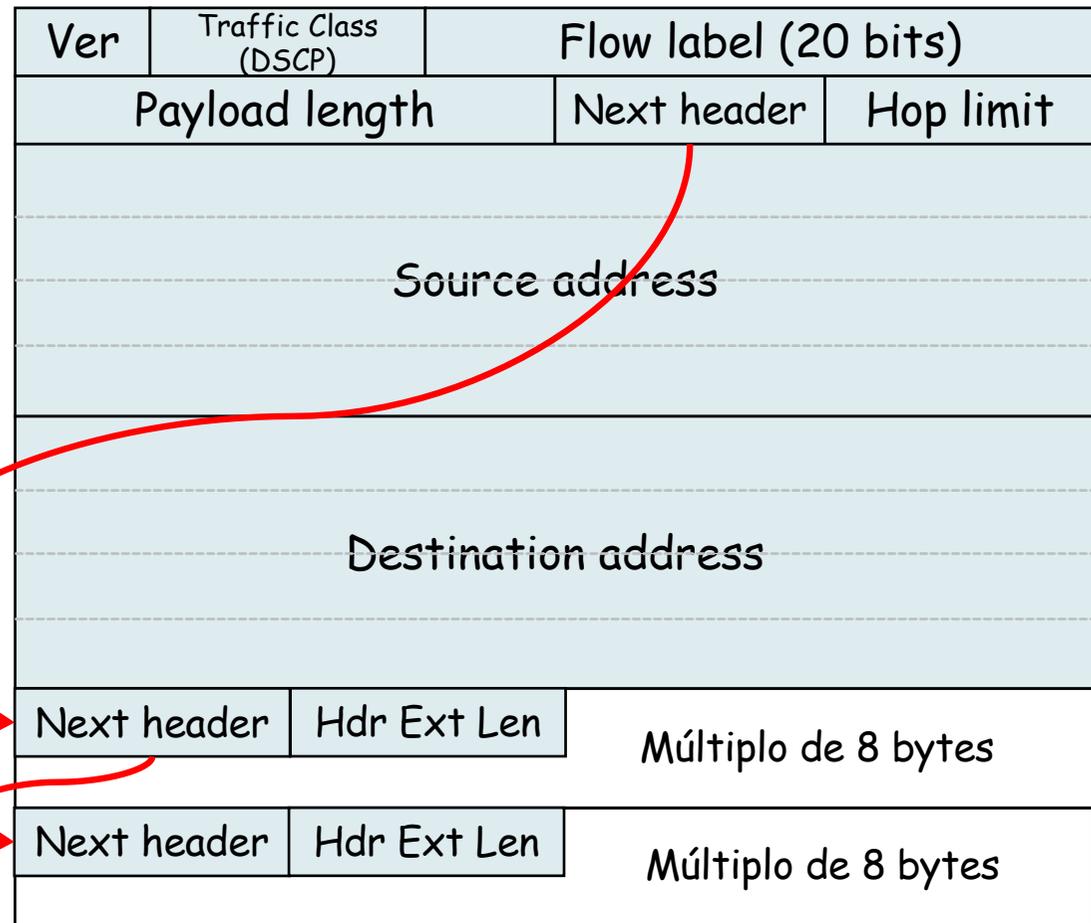


Robert M. Hinden



# 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

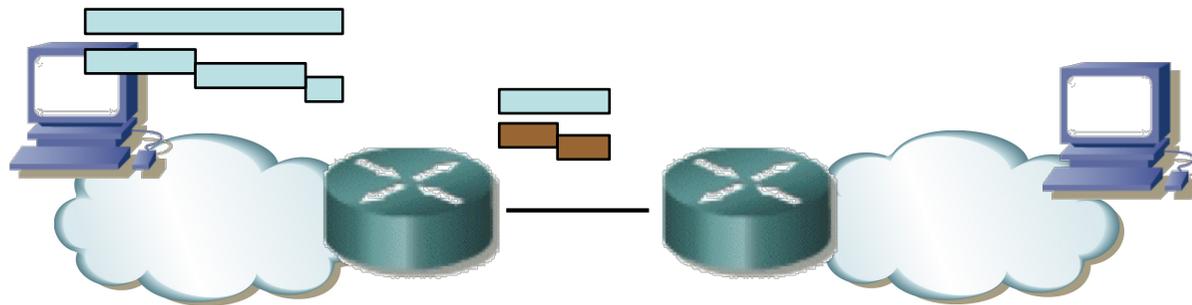
## **Authentication Header (next-header=51)**

## **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



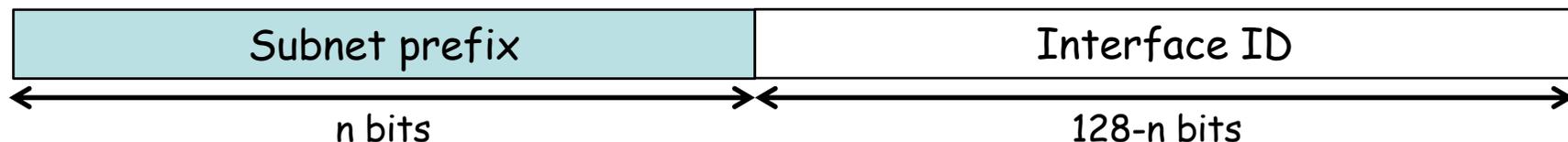
# IPv6: Representación de las direcciones

# 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, <i>deprecated</i> 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, <i>deprecated</i> 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>

# IPv6: Direcciones globales unicast

# Espacio de direcciones

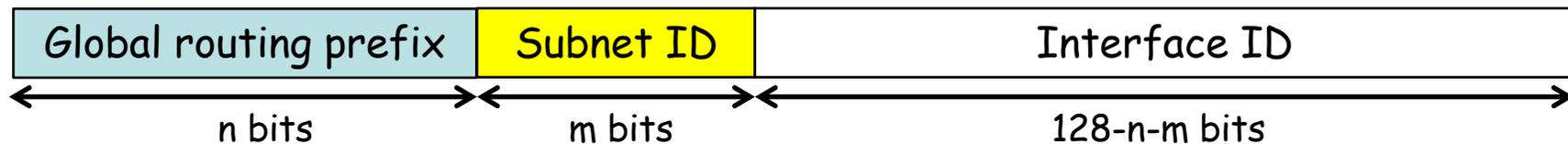
00000000	Reservadas. Hay algunas en uso como ::1/128 (loopback) y ::/128
00000001	Reservadas
0000001	Reservadas (mapeo de OSI CNLP a IPv6, <i>deprecated</i> en RFC 4048)
000001	Reservadas
00001	Reservadas
0001	Reservadas
<b>001</b>	<b>Global Unicast en uso (*)</b>
010	Reservadas
011	Reservadas
100	Reservadas
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, <i>deprecated</i> 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 IPv6 que empiezan por 000 (binario)
- ¿Modified EUI-64? (...)





# IPv6: Direccionamiento local

# Espacio de direcciones

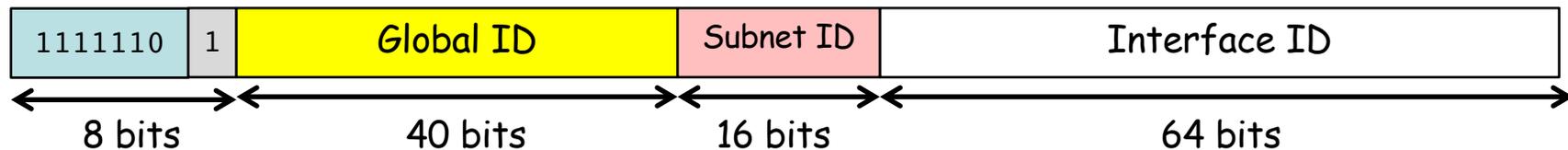
00000000	Reservadas. Hay algunas en uso como ::1/128 (loopback) y ::/128
00000001	Reservadas
0000001	Reservadas (mapeo de OSI CNLP a IPv6, <i>deprecated</i> en RFC 4048)
000001	Reservadas
00001	Reservadas
0001	Reservadas
001	Global Unicast en uso (*)
010	Reservadas
011	Reservadas
100	Reservadas
101	Reservadas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

# 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 (privadas) 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



# 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, <i>deprecated</i> 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
<b>1111111010</b>	<b>Link-Local Unicast (fe80::/10, RFC 4291)</b>
<b>1111111011</b>	<b>Reservadas (fec0::/10, Site-Local, <i>deprecated</i> en RFC 3879)</b>
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>

# Direccionamiento local

## Link-Local IPv6 Unicast

- Todos los interfaces tienen una
- fe80::/10 usadas como fe80::interfacelD
- 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):interfacelD(64bits)
- *Deprecated* (RFC 3879)



# IPv6: Direcciones especiales

# Espacio de direcciones

<b>00000000</b>	<b>Reservadas. Hay algunas en uso como ::1/128 (loopback) y ::/128</b>
<b>00000001</b>	<b>Reservadas</b>
0000001	Reservadas (mapeo de OSI CNLP a IPv6, <i>deprecated</i> en RFC 4048)
000001	Reservadas
00001	Reservadas
0001	Reservadas
<b>001</b>	<b>Global Unicast en uso (*)</b>
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, <i>deprecated</i> 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>

# 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 sniffer
- 100::/64

# IPv6: Direcciones multicast

# Espacio de direcciones

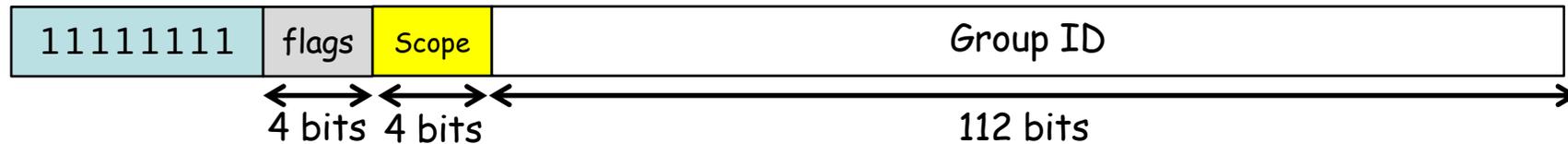
00000000	Reservadas. Hay algunas en uso como ::1/128 (loopback) y ::/128
00000001	Reservadas
0000001	Reservadas (mapeo de OSI CNLP a IPv6, <i>deprecated</i> en RFC 4048)
000001	Reservadas
00001	Reservadas
0001	Reservadas
001	Global Unicast en uso (*)
010	Reservadas
011	Reservadas
100	Reservadas
101	Reservadas
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, <i>deprecated</i> en RFC 3879)
<b>11111111</b>	<b>Multicast (ff00::/8)</b>

<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>

# 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)



# Algunas direcciones mcast

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

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

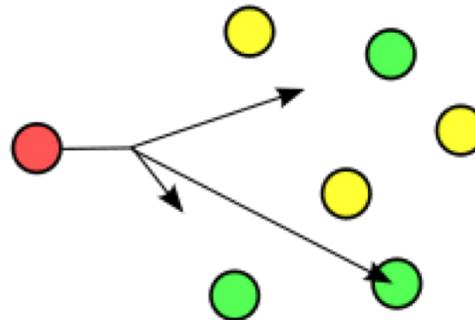
## Scope link-local

- 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

# IPv6: Más aún sobre direccionamiento

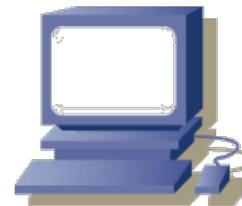
# Anycast

- 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 (dirección de la subred con interface ID a 0)
  - 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

