



3º Grado en Ingeniería Informática

# Transmisión de Datos y Redes de Computadores

## TEMA 2. PROTOCOLOS Y SERVICIOS DE RED (2020-2021)



# TEMA 2. Índice

- © 2.1. Enrutamiento estático y dinámico. (2h)
- © 2.2. Protocolos de enrutamiento. (2h)
- © 2.3. El problema del direccionamiento en IPv4. (4h)

APLICACIÓN

PRESENTACIÓN

SESIÓN

TRANSPORTE

**RED**

ENLACE

FÍSICO





# TDRC

## Tema 2.3.

# El problema del direccionamiento en IPv4 (II)

Antonio M. Mora García



# Recordemos

Run-out  
Exhaustion  
Depletion

- Los bloques de direcciones IPv4 se han agotado ya (Nov. 2019):



*Centro de Coordinación de Redes IP Europeas*

<https://www.ripe.net/publications/news/about-ripe-ncc-and-ripe/the-ripe-ncc-has-run-out-of-ipv4-addresses>

- Sólo quedan disponibles bloques /24 (256 direcciones) a /32 (1 dirección).
- Se van recopilando direcciones de sitios obsoletos, empresas que hayan desaparecido, proyectos terminados, hosting que ya no está en uso...
- Hay una lista de espera en RIPE NCC (<https://www.ripe.net/manage-ips-and-asns/ipv4/ipv4-waiting-list>).

# Recordemos

## SOLUCIONES

- **CIDR** (*Classless Inter-Domain Routing*)
- **Direccionamiento privado**
- **DHCP** (*Dynamic Host Configuration Protocol*)
- **NAT** (*Network Address Translation*)

**Ya no son  
suficientes**

- **IPv6** 

# IPv6 - Introducción

- IPng (1994) → IPv6 (1995).
- RFC 8200 (2017).
- IPv6 usa un esquema de **direccionamiento de 128 bits**.
- **Notación hexadecimal**. 8 grupos de **4 dígitos**, separados por “:”.
- Cada **dígito hexadecimal** corresponde a **4 dígitos en binario** (4 bits).
- Rango: 0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000 a  
FFFF:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF
- 340.282.366.920.938.463.463.374.607.431.768.211.456 (340 sextillones) direcciones diferentes.
- **Compatible con IPv4.**

# IPv6 - Características

- **Mayor eficiencia en los routers:** simplicidad en el procesamiento de cabeceras (tamaño fijo), no hay comprobación de errores en las mismas, no hay fragmentación.
- **Posibilidad de etiquetado de flujos:** etiquetado de secuencias de paquetes para tratarlos como un único flujo (prioridad común, QoS).
- **Posibilidad de autenticación y privacidad:** Ofrece extensiones para autenticación, encriptación (confidencialidad) e integridad de los datos.
- **Algoritmos de enrutamiento específicos:** existen implementaciones para IPv6 de los más habituales: RIPng (*RIP Next Generation*), OSPFv3, EIGRPv6, MP BGP-4.
- **Se pueden usar direcciones anycast:** un grupo al que se envía sólo a uno de ellos.

# IPv6 - Características

## No ARP:

- Mecanismo de autoconfiguración y descubrimiento de routers y vecinos IPv6 mediante multicast sin necesidad de ARP (*Stateless Address Autoconfiguration* - RFC 4862).

### **ARP (*Address Resolution Protocol*)**

Permite obtener la dirección física de un equipo (MAC) para transferencias a nivel físico (Ethernet).

Para ello:

- 1) El equipo que quiere hacer un envío a una IP, pero no conoce la MAC de ese destino, difunde una consulta ARP a todos los hosts de la subred.
- 2) El host que tiene asignada dicha IP envía al host que hace la petición una respuesta ARP con su dirección física (MAC).



# IPv6 - Direcccionamiento

- **Formato de direcciones IPv6:**

3	13	8	24	16	64 bits
FP	TLA ID	RES	NLA	SLA ID	Interface ID
public topology				site topology	Interface
network portion					host portion

- 64 bits para direcciones de red (**prefijo de red**) y 64 bits para direcciones de hosts.
- De los 64 bits de red, por defecto **16 bits** se dedican a la **definición de las subredes** (*site topology*).
- **Interface ID:** Los **últimos 64 bits equivalen** a lo que en IPv4 se llama **hostID**. Son usados para distinguir un host de otro y son de carácter único para el mismo prefijo de 64 bits.

# IPv6 - Direcccionamiento

- **Formato de direcciones IPv6:**

3	13	8	24	16	64 bits
FP	TLA ID	RES	NLA	SLA ID	Interface ID
public topology				site topology	Interface
network portion					host portion

- **FP (*Format Prefix*):** Para una dirección unicast, IPv6 siempre tiene los mismos 3 bits al principio: 001
- **TLA ID (*Top Level Aggregator Identifier*):** Para ISP globales
- **RES:** Reservados
- **NLA ID (*Next Level Aggregator ID*):** Permite a ISP hacer una jerarquización de su espacio de direcciones para asignar a clientes (instituciones, empresas u otros ISPs locales).
- **SLA ID (*Site Level Aggregator ID*):** Permite definir subredes dentro de cada Sistema Autónomo (centro, institución, empresa, etc).

# IPv6 - Direcccionamiento

- IPv6 al tener que denotar una dirección de **128 bits** usa **8 grupos hexadecimales**, de **16 bits cada uno (4 dígitos)**.
- El formato de las direcciones está dividido en campos que permiten crear niveles jerarquizados.
- Ejemplo:

2FC2:43AB:3240:0000:85E2:0002:2900:00AC  
FPTLA RES NLA SLA INTERFACE  
(3) (13) (8) (24) (16) (64)

# IPv6 - Direccionamiento

## Tipos de direcciones:

- **Unicast:** asociada a un único interfaz de red. Un paquete se entrega en esa dirección *unicast*.
- **Multicast:** usada por varios interfaces. Un paquete enviado a una dirección *multicast* se entrega en todos los interfaces que se hayan unido al grupo *multicast*. Se descubren estas direcciones usando un protocolo específico de multidifusión entre routers.
- **Anycast:** usada por varios interfaces. Un paquete enviado a una dirección *anycast* se entrega únicamente a una de las interfaces del grupo. Normalmente a la del host con menos coste (según la métrica del protocolo de encaminamiento).
- **No existen** las direcciones **broadcast** como tal.

# IPv6 - Direcccionamiento

- **Públicas y privadas:** IPv6 dispone de un esquema de direcciones públicas y privadas similar a IPv4.
  - **Global Unicast:** Direcciones públicas
  - **Unique Local:** Direcciones privadas de uso libre (incluyen 40 bits aleatorios)
  - **Link Local:** Direcciones privadas asociadas a cada host (incluyen su MAC)

- **Prefijos:**

TIPO	PRIMEROS DIGITOS HEX
GLOBAL UNICAST	2 o 3
UNIQUE LOCAL	FD
LINK LOCAL	FE80
MULTICAST	FF

# IPv6 - Direcccionamiento

TIPO	PRIMEROS DIGITOS HEX
GLOBAL UNICAST	2 o 3
UNIQUE LOCAL	FD
LINK LOCAL	FE80
MULTICAST	FF

- **GLOBAL UNICAST:** Direcciones públicas que siempre comienzan por los bits '001'.
- **Prefijos globales:** Conjunto de direcciones Global Unicast que han sido asignadas a una empresa o institución para operar en Internet.

# IPv6 - Direcccionamiento

TIPO	PRIMEROS DIGITOS HEX
GLOBAL UNICAST	2 o 3
UNIQUE LOCAL	FD
LINK LOCAL	FE80
MULTICAST	FF

*Direcciones no  
enrutables en  
Internet (IPv6 Global)*

- **UNIQUE LOCAL:** Direcciones privadas (de uso libre en redes privadas).  
Construidas de la siguiente forma:
  - Primeros dígitos (8 bits): FD
  - 40 bits aleatorios en formato hexadecimal
  - 16 bits para definir subredes (desde 0000 hasta FFFF)
  - 64 bits para direccionamiento de hosts

# IPv6 - Direcccionamiento

TIPO	PRIMEROS DIGITOS HEX
GLOBAL UNICAST	2 o 3
UNIQUE LOCAL	FD
LINK LOCAL	FE80
MULTICAST	FF

*Direcciones no  
enrutables en  
Internet (IPv6 Global)*

- **LINK LOCAL:** Direcciones privadas para comunicaciones internas en la subred. Construidas de la siguiente forma:
  - Primeros dígitos (16 bits): FE80
  - 54 bits a 0
  - 64 bits para direccionamiento de hosts  $\Leftrightarrow$  MAC del host en formato EUI-64

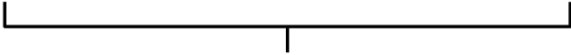



# IPv6 - Direcccionamiento

- Permite simplificación **eliminando grupos/bloques todos a '0'**.
- Cuando se **omiten varios bloques** (consecutivos) se indican con “::”.
- Sólo se puede hacer esta **reducción una vez** (bloque más a la izquierda si hay varios).

Ejemplo:

**2001:0DB8:AC10:FE01:0000:0000:0000:0000**

↓ ↓ ↓ ↓   
**2001:0DB8:AC10:FE01::** Se pueden omitir los ceros

  
0010000000000001:0000110110111000:1010110000010000:1111111000000001:

Parte Omitida



0000000000000000:0000000000000000:0000000000000000:0000000000000000

Imagen:Wikipedia

# IPv6 - Direcccionamiento

- También se pueden eliminar todos los **ceros a la izquierda** dentro de un grupo.
- Un grupo compuesto por “:0000:”, puede sustituirse por “:0:”.

- Ejemplos:



2FFE:43AB:3240:0000:85E2:0002:2900:00AC →

FFFF:EE34:12AB:0000:0000:0000:0000:0001 →

5be2:0000:0000:28f9:83ee:bda9:07fa:0007 →

1234:5678:0000:0000:0abc:0000:0000:def0 →

# IPv6 - Direcccionamiento

- También se pueden eliminar todos los **ceros a la izquierda** dentro de un grupo.
- Un grupo compuesto por “:0000:”, puede sustituirse por “:0:”.

- Ejemplos:



2FFE:43AB:3240:0000:85E2:0002:2900:00AC	→	2FFE:43AB:3240:0:85E2:2:2900:AC
FFFF:EE34:12AB:0000:0000:0000:0000:0001	→	FFFF:EE34:12AB:0:0:0:0:1
		FFFF:EE34:12AB::1
5be2:0000:0000:28f9:83ee:bda9:07fa:0007	→	5be2:0:0:28f9:83ee:bda9:7fa:7
		5be2::28f9:83ee:bda9:7fa:7
1234:5678:0000:0000:0abc:0000:0000:def0	→	1234:5678::abc:0:0:def0

# IPv6 - Direcccionamiento

- Se pueden **restringir** los bits dedicados al **prefijo de red**.
- Se determina una máscara en **notación CIDR**.
- El resto de bits se dedicarían a hosts.

## Ejemplo:

2233:abc:5773::/48 → Dirección de Red

2233:0abc:5773:0000:0000:0000:0000:0000/48 → Dirección de red sin comprimir

**Red** **Hosts**

# IPv6 – Asignación de direcciones



- Igual que en IPv4 la **IANA** es la **encargada de asignar direcciones IPv6** mediante **RIR y LIR**.
- El enfoque en el **diseño de subredes** usando IPv6 es completamente **distinto** al de IPv4. En IPv6 hay direcciones de sobra y **no hay necesidad de ajustar el tamaño de las subredes**.
- **Diseño con Global Unicast** (direcciones públicas):
  - Una vez conozcamos nuestro prefijo /X
  - Podríamos tener hasta:  $2^{(64-X)}$  subredes
  - En cada subred habría un mínimo de:  $2^{64}$  hosts
- **Diseño con Unique Local** (direcciones privadas):
  - Elegir un identificador global de 48 bits que empiece por 'FD'
  - Usar los siguientes 16 bits para poder hacer las subredes que queramos
  - Dejar 64 bits para la identificación de la interfaz

# IPv6 – Cabecera IPv4

0

16

31

Versión	Tamaño Cabecera	Tipo de Servicio	Longitud Total	
Identificador			Flags	Posición de Fragmento
Tiempo de Vida		Protocolo	Suma de Control de Cabecera	
Dirección IP de Origen				
Dirección IP de Destino				
Opciones			Relleno	

# IPv6 – Cabecera IPv4

0	16		31
Versión	Tamaño Cabecera	Tipo de Servicio	Longitud Total
Identificador		Flags	Posición de Fragmento
Tiempo de Vida	Protocolo	Suma de Control de Cabecera	
Dirección IP de Origen			
Dirección IP de Destino			
Opciones			Relleno

## Versión:

0100 ⇔ 4

## Tamaño cabecera:

En palabras de 32 bits (entre 5 y 15) ⇔ entre 20 y 60 bytes.

## Tipo servicio:

Preferencia de envío (mínimo retardo, máximo rendimiento, mínimo coste).

## Longitud total:

Tamaño en bytes del datagrama completo (incluyendo datos).

# IPv6 – Cabecera IPv4

0	16		31	
Versión	Tamaño Cabecera	Tipo de Servicio	Longitud Total	
Identificador		Flags	Posición de Fragmento	
Tiempo de Vida		Protocolo	Suma de Control de Cabecera	
Dirección IP de Origen				
Dirección IP de Destino				
Opciones			Relleno	

## Identificador:

Número de orden del paquete en un mensaje.

## Flags:

Indican si hay fragmentación.

## Posición fragmento:

Desplazamiento del fragmento respecto del paquete original (para reconstruirlo).



# IPv6 – Cabecera IPv4

0	16		31
Versión	Tamaño Cabecera	Tipo de Servicio	Longitud Total
Identificador		Flags	Posición de Fragmento
Tiempo de Vida	Protocolo	Suma de Control de Cabecera	
Dirección IP de Origen			
Dirección IP de Destino			
Opciones			Relleno

**Tiempo de vida (TTL):**  
Tiempo que puede estar el paquete en una red.

**Protocolo:** (RFC 3232)  
TCP, UDP, ICMP, etc

**Suma de control:**  
Número para comprobar la corrección de la cabecera.

# IPv6 – Cabecera IPv4

0	16		31
Versión	Tamaño Cabecera	Tipo de Servicio	Longitud Total
Identificador		Flags	Posición de Fragmento
Tiempo de Vida	Protocolo	Suma de Control de Cabecera	
Dirección IP de Origen			
Dirección IP de Destino			
Opciones		Relleno	

## Opciones:

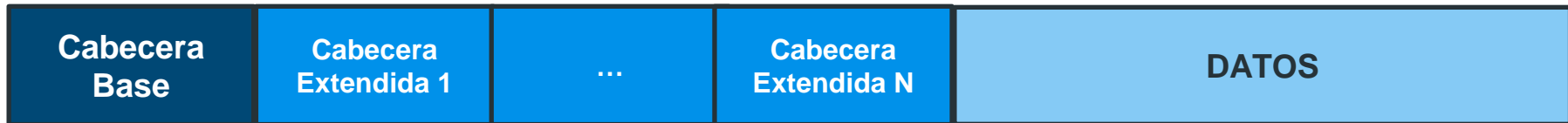
Hasta 40 bytes.  
Permite hacer funciones de test y depuración sobre la red (sello de tiempo, registro de ruta, etc).

## Relleno:

Bits a 0 para completar una palabra de 32 bits en la cabecera.

# IPv6 – Cabeceras IPv6

- Se tiene una **cabecera base (o fija)**, de tamaño **40 bytes** (no variable). Más **sencilla de procesar** para los routers.
- Se pueden tener varias **cabeceras extendidas (opcionales)**. Esto permite **añadir flexibilidad** al protocolo y **ampliar sus funcionalidades** en el futuro.



# IPv6 – Cabecera base/fija

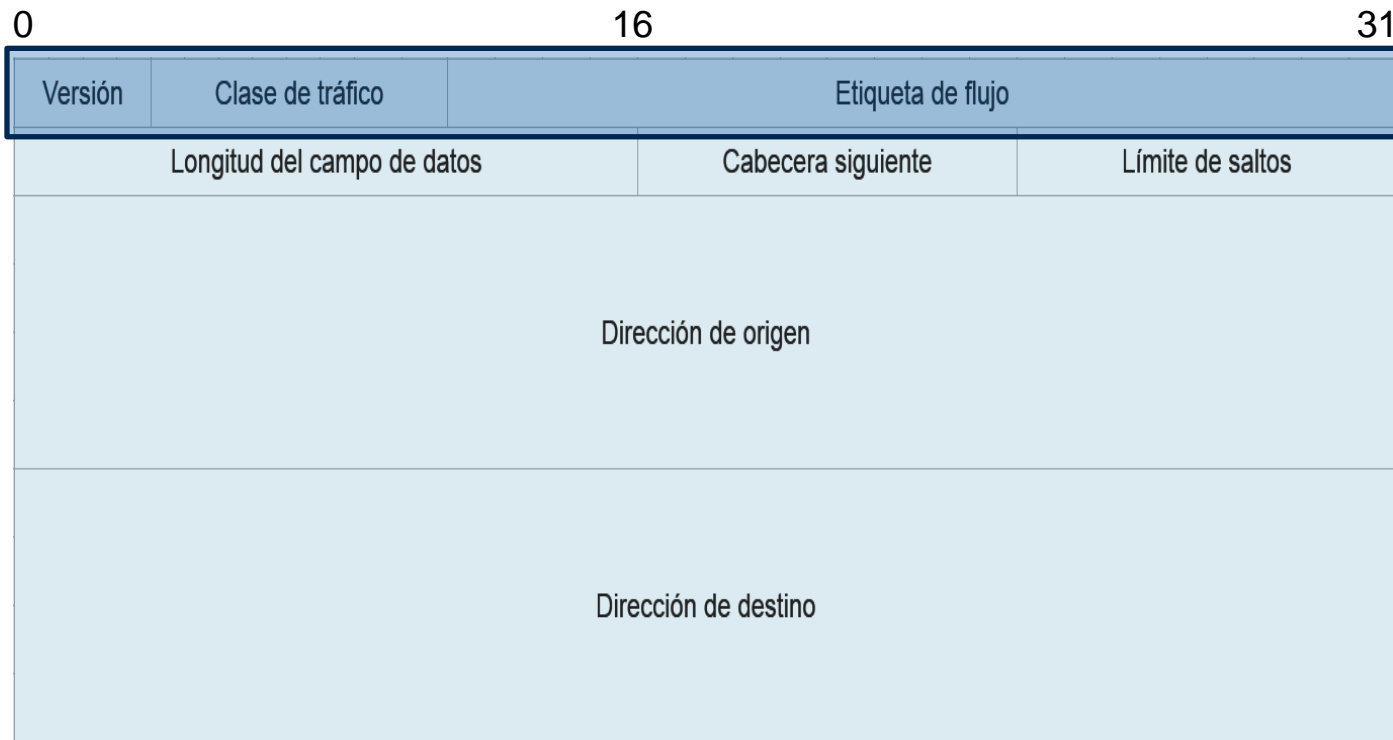
0

16

31

Versión	Clase de tráfico	Etiqueta de flujo		
Longitud del campo de datos		Cabecera siguiente	Límite de saltos	
Dirección de origen				
Dirección de destino				

# IPv6 – Cabecera base/fija



**Versión (4 bits):**

0110 ⇔ 6

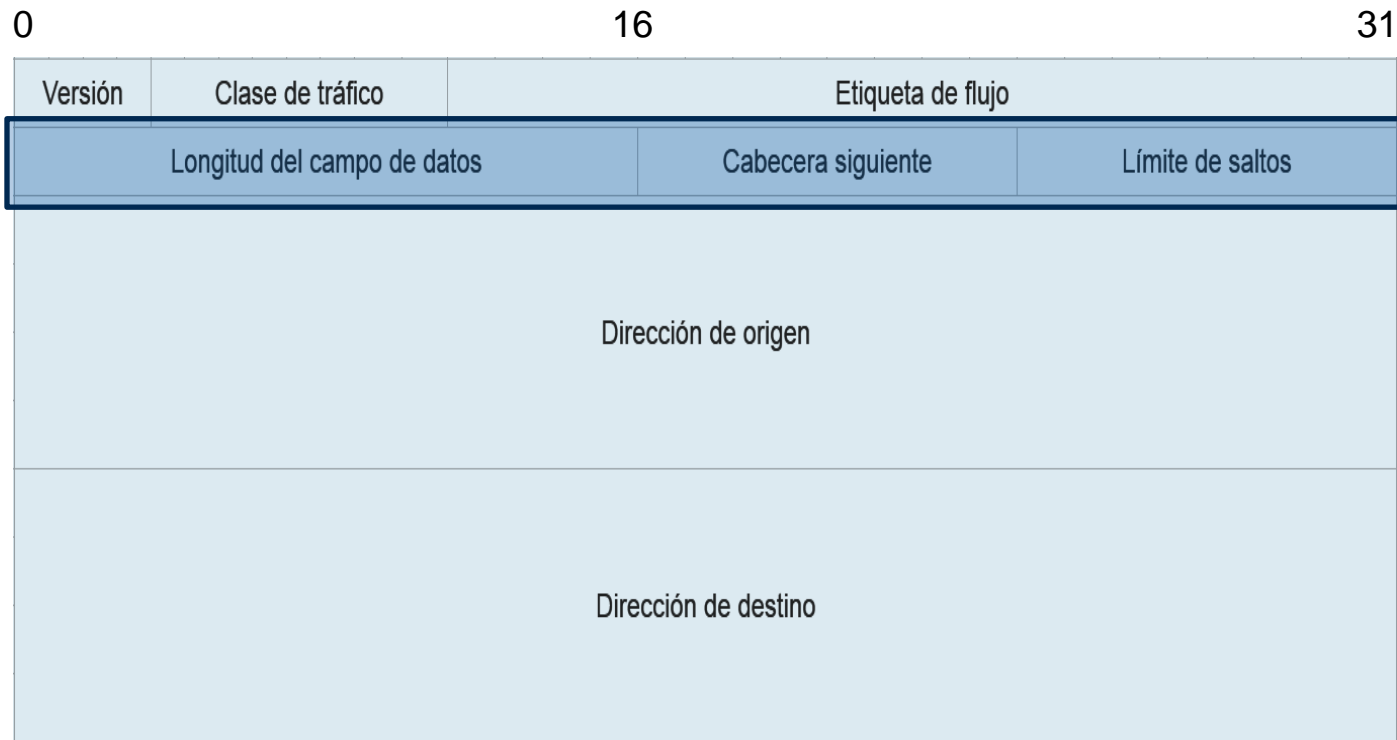
**Clase de tráfico (8b):**

Prioridad de los paquetes.

**Etiqueta de flujo (24b):**

Todos los paquetes de un “flujo” se enviarán entre las mismas IPs, con la misma prioridad y con la misma etiqueta. Para gestionar condiciones de calidad de servicio (QoS).

# IPv6 – Cabecera base/fija



**Longitud datos (16b):**  
Tamaño del campo de datos en bytes.

**Cabecera siguiente (8b):**  
Tipo de la siguiente cabecera extendida. Si no hay más tendría valor 59.

**Límite de saltos (8b):**  
Número máximo de saltos en la red para el paquete. Se va decrementando en 1 cada vez que atraviesa un enlace.

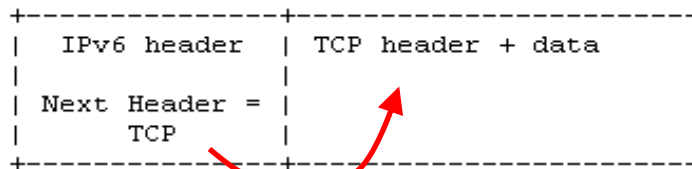
# IPv6 – Cabeceras extendidas

- Existen distintos **tipos de cabeceras extendidas** (o cabeceras de extensión – RFC 2460):
  - **Fragmentación** (*Fragment*) → Datos de fragmentación. Ésta se hace en el origen (no en los routers intermedios).
  - **Encaminamiento** (*Routing*) → Especificar desde el origen la ruta a seguir por el paquete.
  - **Autenticación** (*Authentication*) → Autenticación del paquete y comprobación de su integridad.
  - **Encapsulado de seguridad** (*Encapsulating Security Payload*) → Transporta los datos encriptados para mayor seguridad e integridad.
  - **Opciones salto a salto** (*Hop-by-Hop options*) → Información a consultar en cada uno de los saltos de la ruta al destino.
  - **Opciones de destino** (*Destination options*) → Información a consultar en el destino de la transmisión.
- Cada cabecera indica el tipo de la siguiente o *No Next Header* (código 59).

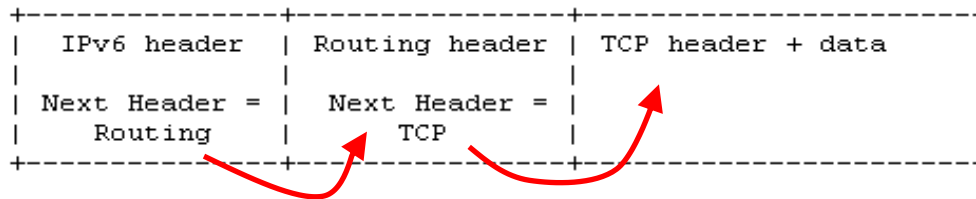
# IPv6 – Cabeceras extendidas

## Ejemplos

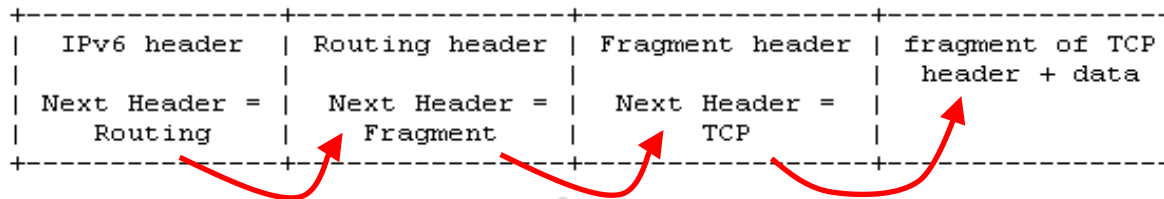
- Cabecera IPv 6 sin extensiones



- Cabecera IPv6 con extensión de Routing



- Cabecera IPv6 con dos extensiones: Routing y Fragment



*Cada cabecera extendida sólo puede aparecer una vez (opción de destino dos veces)*



# IPv6 – Cabeceras extendidas

Ejemplo:

**Hop-By-Hop**

No. -	Time	Source	Destination	Pro
1693	46.130640	::	ff02::2	IC
Frame 1693 (86 bytes on wire (86 bytes captured) on interface 0)				
Ethernet II, Src: 192.168.1.1 (00:14:bf:ba:45:f9), Dst: 01:00:5e:00:00:02 (33:33:00:00:00:02)				
Internet Protocol Version 6				
Version: 6				
Traffic class: 0x00				
Flow label: 0x00000				
Payload length: 32				
Next header: IPv6 hop-by-hop option (0x00)				
Hop limit: 1				
Source address: ::				
Destination address: ff02::2				
Hop-by-hop Option Header				
Next header: ICMPv6 (0x3a)				
Length: 0 (8 bytes)				
Router alert: MLD (4 bytes)				
PadN: 2 bytes				
Internet Control Message Protocol v6				
Type: 131 (Multicast listener report)				
Code: 0				
Checksum: 0x7ea3 [correct]				
Maximum response delay: 0				
Multicast Address: ff02::2				



# IPv6 – Cabeceras extendidas

Ejemplo:

Routing

No.	Time	Source	Destination
1	0.000000	3001::200:10ff:fe10:1181	3000::200:10ff:fe10:1060

+	Frame 1: 119 bytes on wire (952 bits), 119 bytes captured (952 bits)
+	Ethernet II, Src: Hughes_10:10:60 (00:00:10:10:10:60), Dst: IntelCor_16:c7:fe (00:15:17:16:c7:fe)
+	Internet Protocol Version 6, Src: 3001::200:10ff:fe10:1181 (3001::200:10ff:fe10:1181), Dst: 3000::200:10ff:fe10:1060 (3000::200:10ff:fe10:1060)
+	0110 .... = Version: 6
+	.... 0000 0000 .... = Traffic class: 0x00000000
+	.... 0000 0000 0000 0000 = Flowlabel: 0x00000000
	Payload length: 65
	Next header: IPv6 routing (43) 
	Hop limit: 255
	Source: 3001::200:10ff:fe10:1181 (3001::200:10ff:fe10:1181)
	[Source SA MAC: Hughes_10:11:81 (00:00:10:10:11:81)]
	Destination: 3000::215:17ff:fe16:c7fe (3000::215:17ff:fe16:c7fe)
	[Destination SA MAC: IntelCor_16:c7:fe (00:15:17:16:c7:fe)]
	[Source GeoIP: Unknown]
	[Destination GeoIP: Unknown]
+	Routing Header, Type : IPv6 Source Routing (0)
	Next header: ICMPv6 (58)
	Length: 6 (56 bytes)
	Type: IPv6 Source Routing (0) 
	Segments Left: 1
	Address: 3002::200:10ff:fe10:1262 (3002::200:10ff:fe10:1262)
	Address: 3003::200:10ff:fe10:1363 (3003::200:10ff:fe10:1363)
	Address: 3000::200:10ff:fe10:1060 (3000::200:10ff:fe10:1060)
+	Internet Control Message Protocol v6
	Type: Echo (ping) request (128)
	Code: 0
+	Checksum: 0x1d00 [incorrect, should be 0xdbb9]
	[Bad checksum: True]
	Identifier: 0x0000
	Sequence: 0
+	Data (1 byte)

# IPv6 – Compatibilidad v4 y v6

- Actualmente existen **muchos nodos** intermedios (routers) que usan **IPv4**.
- Es **posible** enviar, enrutar y recibir **paquetes IPv4 sobre datagramas IPv6**.
- Una **dirección IPv4** será una dirección **IPv6 con 96 bits a '0'** y los **últimos 32 bits** corresponden con la **dirección IPv4**.
- No es posible “detener Internet” para actualizar todas las máquinas a IPv6.
- Hay que buscar forma de **enviar datos** en formato **IPv6 pasando por nodos IPv4**.
- Que sea **transparente para el usuario**.

# IPv6 – Compatibilidad v4 y v6

## Túneles (*tunneling*):



- **Túnel** es un **conjunto de routers IPv4** situados entre routers IPv6.
- Los **datagramas IPv6** se **transmiten sobre datagramas IPv4**.
- Los **datagramas IPv6 son los datos** de los datagramas IPv4.

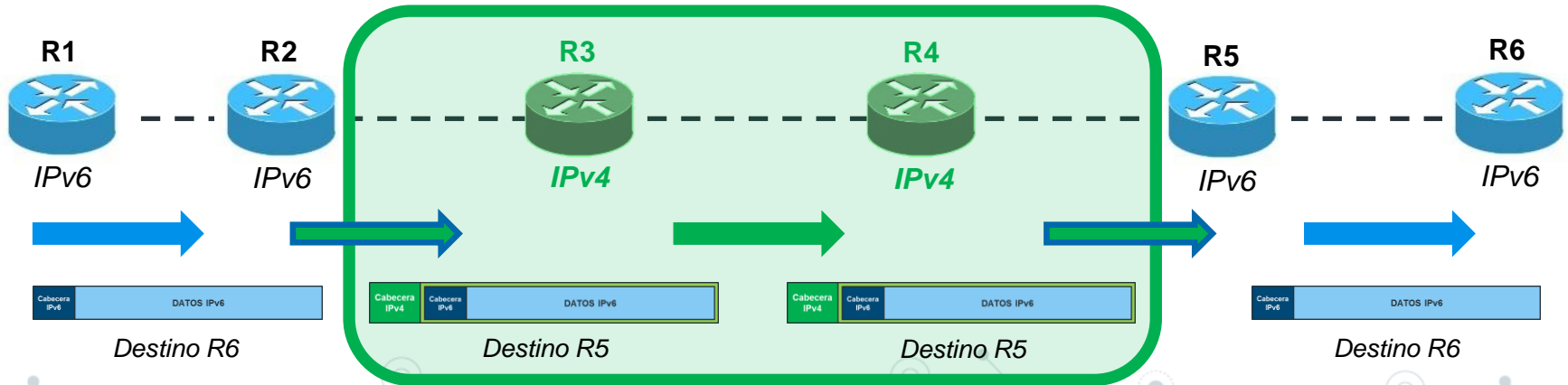


# IPv6 – Compatibilidad v4 y v6

## Túneles (*tunneling*):

- Un **router IPv6** conectado con routers IPv4 hace ese **encapsulamiento** (IPv6 dentro de IPv4).
- El router del otro extremo **desencapsula** los datos antes de **transmitirlos** a **otro router IPv6**. Sabe que debe desencapsularlos por el campo del **protocolo** en IPv4, que es el **41** (RFC 4213).

Ejemplo: Transmisión de R1 a R6



# IPv6 – Compatibilidad v4 y v6

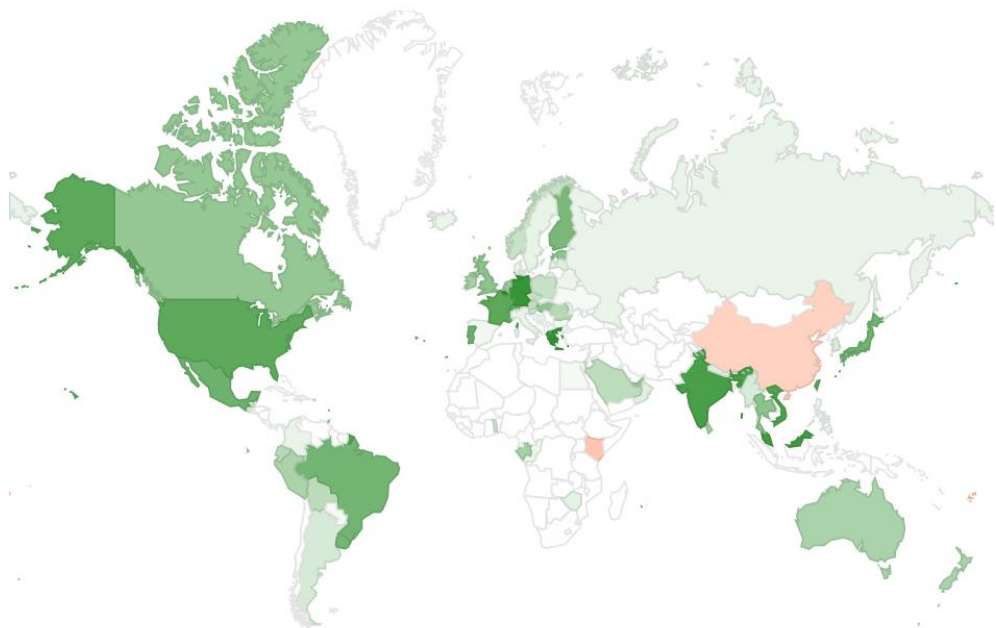
## Doble Pila (*dual stack*):

- Cada **host y router** tiene **una dirección IPv4 y otra IPv6**.
  - Solución simple y sin problemas de compatibilidad. Muy extendida.
  - Requiere tablas de enrutamiento dobles y algoritmos de enrutamiento dobles.
- **ISATAP (*Intra-Site Automatic Tunnel Addressing Protocol*):**
  - Se usa a nivel de hosts.
  - Usa IPv4 como capa de enlace para IPv6 mediante un interfaz virtual ISATAP.
  - Permite conectar hosts IPv6 con dual-stack mediante la infraestructura IPv4.

# IPv6 - Despliegue

## ACTUALMENTE:

- 30% del total de IPs en el mundo son IPv6
- 3% del total de IPs en España son IPv6
- 46% del total de IPs en Alemania son IPv6
- 37% del total de IPs en EEUU son IPv6
- 0.6% del total de IPs en China son IPv6



<https://www.google.com/intl/es/ipv6/statistics.html#tab=per-country-ipv6-adoption>

### Disponibilidad de IPv6 por países.

Verde oscuro → mayor implementación. Sin problemas.  
Rojo → menor implementación. Problemas de latencia.

FUENTE: Google

# Bibliografía y enlaces

- P. García-Teodoro, J.E. Díaz-Verdejo, J.M. López-Soler. Transmisión de datos y redes de computadores, 2ª Edición. Editorial Pearson, 2014.
- James F. Kurose, Keith W. Ross. Redes de computadoras. Un enfoque descendente. 7º Edición. Editorial Pearson S.A., 2017.
- Behrouz A. Forouzan. Transmisión de datos y redes de comunicaciones, 4º Edición. Editorial Mc Graw Hill 2007.
- IPv6 (RFC 8200) - <https://tools.ietf.org/html/rfc8200>
- Stateless Address Autoconfiguration (RFC 4862) - <https://tools.ietf.org/html/rfc4862>
- IP Version 6 Addressing Architecture (RFC 4291) - <https://tools.ietf.org/html/rfc4291>
- ISATAP (Intra-Site Automatic Tunnel Addressing Protocol) (RFC 5214) - <https://tools.ietf.org/html/rfc5214>



# Entonces... ¿tenemos ya delegad@?

Para que sea el/la intermediario/a para la comunicación entre la clase y los profesores de la asignatura.



The background of the slide features a complex, light gray network pattern. It consists of numerous small circles, some of which are solid gray and others are hollow, connected by thin, light gray lines. These lines form a dense, interconnected web that covers the entire background.

# ¿Alguna duda?