

IP versión 6 (Parte 02) - Direccionamiento.

Madrid, abril de 2013.

Por: Alejandro Corletti Estrada (acorletti@darFe.es - acorletti@hotmail.com)

1. Presentación.

Como hemos mencionado, la parte histórica de **IPv6** ya la conocemos, por lo tanto en este segundo artículo manteniendo el concepto, es que tomamos como punto de partida el hecho de que ya todos sabemos que una dirección IPv6 tiene 128 bits, y que se la representa básicamente con 8 grupos de “cuartetos” hexadecimales, es decir 8 grupos de 16 bits.

La idea fundamental de este artículo está basada en nuestras “raíces” es decir **un enfoque desde el punto de vista de la seguridad**. Nuestra experiencia sobre IPv4 nos demuestra que al “ver pasar” una dirección IP, inmediatamente este sólo valor nos debe proporcionar una alto grado de información. Por ejemplo en IPv4: si es unicast, multicast, broadcast, privada, pública, propia o externa, de qué segmento; en muchos casos, si diseñamos adecuadamente nuestras redes, también nos puede orientar si se trata de un dispositivo de red, de un servidor, de un router, switch, proxy, firewall, en qué segmento está, etc.

Según esta idea, intentaremos presentar el esquema de direccionamiento de IPv6 para que al mirar una dirección, inmediatamente podamos “situarnos” sobre qué es lo que estamos analizando, por lo tanto este texto posiblemente sea diferente a otros que circulan por la red, pues iremos profundizando siempre sobre esta visión.

2. Introducción.

El desarrollo se basará en una serie de RFCs, que son las siguientes:

- ✳ **rfc2464** Transmission of IPv6 Packets over Ethernet Networks
- ✳ **rfc2526** Reserved IPv6 Subnet Anycast Addresses
- ✳ **rfc3068** An Anycast Prefix for 6to4 Relay Routers
- ✳ **rfc3306** Unicast-Prefix-based IPv6 Multicast Addresses
- ✳ **rfc3307** Allocation Guidelines for IPv6 Multicast Addresses
- ✳ **rfc3587** IPv6 Global Unicast Address Format
- ✳ **rfc3956** Embedding the Rendezvous Point (RP) Address
- ✳ **rfc4007** IPv6 Scoped Address Architecture





- ✳ **rfc4193** Unique Local IPv6 Unicast Addresses
- ✳ **rfc4291** IP Version 6 Addressing Architecture
- ✳ **rfc4429** Optimistic Duplicate Address Detection (DAD) for IPv6
- ✳ **rfc 5952** A Recommendation for IPv6 Address Text Representation
- ✳ **rfc 6052** IPv6 Addressing of IPv4_IPv6 Translators
- ✳ **rfc6085** Address Mapping of IPv6 Multicast Packets on Ethernet
- ✳ **rfc6177** IPv6 Address Assignment to End Sites
- ✳ **rfc6620** FCFS SAVI- First-Come, First-Served Source Address Validation
- ✳ **rfc6724** Default Address Selection for Internet Protocol Version 6 (IPv6)

Algunas de las primeras son actualizadas por las más recientes, e inclusive hay alguna que otra que ya está obsoleta, aspectos que iremos describiendo en el texto.

3. Desarrollo.

3.1. La RFC 4291 "IP Version 6 Addressing Architecture".

Comenzaremos presentando el tema con esta RFC de febrero de 2006 (deja obsoleta la RFC-3513), pues como su nombre lo indica es la que mejor nos puede describir esta arquitectura.

Uno de los primeros conceptos que nos da es que una dirección IPv6 se refiere SIEMPRE a una interfaz (no a un nodo). Toda interfaz debe tener al menos una dirección de "enlace local Unicast".

En el punto "2.2. *Text Representation of Addresses*" describe que hay tres formas de representar una IPv6

- ✳ La forma preferencial es X:X:X:X:X:X:X:X, y pone los siguientes ejemplos:

ABCD:EF01:2345:6789:ABCD:EF01:2345:6789
2001:DB8:0:0:8:800:200C:417A

- ✳ Debido a que ciertos tipos de direccionamiento IPv6 presentarán cadenas de "ceros", los mismos pueden ser comprimidos u obviados con una doble puntuación del tipo "::" y aporta los siguientes ejemplos:

2001:DB8:0:0:8:800:200C:417A (dirección Unicast)
FF01:0:0:0:0:0:0:101 (dirección Multicast)
0:0:0:0:0:0:0:1 (Dirección de Loopback)





0:0:0:0:0:0:0

(Dirección no especificada)

Las anteriores pueden ser representadas como figura a continuación:

2001:DB8::8:800:200C:417A

FF01::101

::1

::

- ☉ Una forma alternativa que puede ser más conveniente cuando nos encontramos en un entorno mixto (*IPv4 e IPv6*) es de la forma **X:X:X:X:X:X:d.d.d.d** Los ejemplos que propone son:

0:0:0:0:0:0:13.1.68.3 (o comprimido ::13.1.68.3)

0:0:0:0:0:FFFF:129.144.52.38 3 (o comprimido ::FFFF:129.144.52.38)

El punto 3. “*Text Representation of Address Prefixes*” de esta RFC nos hace referencia que una IPv6 mantiene la idea de **CIDR** (*Classless Inter-Domain Routing*) de forma similar a IPv4 (es decir como una máscara de red/subred) y cita como ejemplos:

2001:0DB8:0000:CD30:0000:0000:0000:0000/60

2001:0DB8::CD30:0:0:0:0/60

2001:0DB8:0:CD30::/60

El punto 2.4. “*Address Type Identification*” nos describe cómo las direcciones IPv6 se identifican por los bits de más alto orden (es decir los de más a la izquierda), presentando las siguientes direcciones:

Address type	Binary prefix	IPv6 notation	Section
-----	-----	-----	-----
Unspecified	00...0 (128 bits)	::/128	2.5.2
Loopback	00...1 (128 bits)	::1/128	2.5.3
Multicast	11111111	FF00::/8	2.7
Link-Local unicast	1111111010	FE80::/10	2.5.6
Global Unicast	(<u>Todo lo demás</u>)		

(Cada uno de estos Tipos de direccionamiento los iremos desarrollando en el texto).

NOTA: Sobre este punto de la RFC tenemos una “objeción” que desarrollaremos al final de esta sección (*).

Un aspecto a destacar es este nuevo esquema de direccionamiento “**Anycast**” (que desarrollaremos más abajo) y que no se trata de un rango específico sino que se toma de cualquier espacio “Unicast” y sintácticamente tampoco se distingue del formato Unicast.

El punto 2.5. “*Direccionamiento Unicast*” de esta RFC, es por donde empezaremos a tratar más en detalle cada uno de ellos.



Hay varios tipos de direccionamiento Unicast, en PARTICULAR:

- ⊗ **Unicast Global** (posee algunos "Sub" tipos para propósitos especiales)
- ⊗ Unicast Site-local (quedaría obsoleto según el punto 2.5.7. de esta RFC)
- ⊗ **Unicast Link-local**

Vamos a presentar el formato de una dirección de la siguiente forma:

	n bits		128-n bits	
+-----+		+-----+		
	subnet prefix		interface ID	
+-----+		+-----+		

Para TODAS las direcciones Unicast (excepto las que comienzan con los tres primeros bits "000" la "**interface ID**" debe tener 64 bits de longitud y construida en formato **EUI-64 Modificado** (que se tratará más adelante, en la sección 3.7.)

Los puntos que siguen van presentando el detalle, el 2.5.1. "*Interface Identifiers*" nos aclara que **un Identificador de interface** especifica (o debería identificar) unívocamente una interface sobre un enlace.

El punto 2.5.2. "*The Unspecified Address*" declara que la dirección **0:0:0:0:0:0:0:0** es llamada "dirección NO especificada" y NUNCA debe ser asignada a un nodo.

El punto 2.5.3. "*The Loopback Address*" define el Unicast de la "interfaz de loopback" **0:0:0:0:0:0:0:1**.

El punto 2.5.4. "*Global Unicast Addresses*" (que como se presentó en el punto 2.4 son "todas las demás") especifica el formato general de las direcciones de **Unicast Global**, cuyo formato general es el siguiente:

	n bits		m bits		128-n-m bits	
+-----+		+-----+		+-----+		
	global routing prefix		subnet ID		interface ID	
+-----+		+-----+		+-----+		

Por ahora nos quedaremos con esta idea de "todas las demás" para que luego que avancemos un poco más podamos ver el detalle.

El punto 2.5.5.1. "*IPv4-Compatible IPv6 Address*" nos describe cómo se "Compatibiliza" una IPv4 sobre una IPv6 cuyo formato es el siguiente:

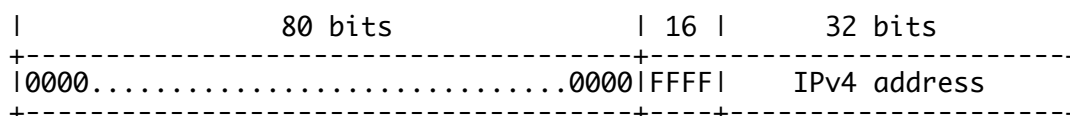
	80 bits		16		32 bits	
+-----+		+-----+		+-----+		
	0000.....0000		0000		IPv4 address	
+-----+		+-----+		+-----+		

Este esquema está propuesto para su obsolescencia pues no se hace uso de esta metodología.



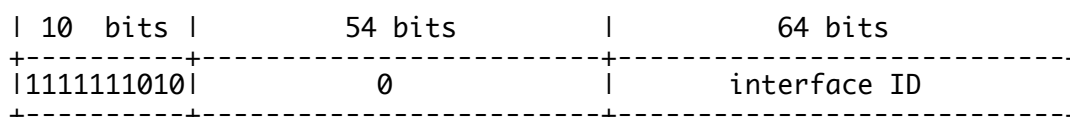


El punto 2.5.5.2. “IPv4-Mapped IPv6 Address” es el que **sí se está empleando** para “mapear” IPv4 existentes en despliegues de IPv6 y su formato es el que se presenta a continuación:



Como podemos ver la diferencia son los 16 bits previos a la IPv4 que en este caso son “FFFF”, el detalle de este esquema de mapeo se desarrolla en la **RFC-4038** “Application Aspects of IPv6 Transition”.

Por último el punto 2.5.6. “Link-Local IPv6 Unicast Addresses” nos relata cómo se debe emplear el direccionamiento Unicast para “**Enlaces Locales**” (Link-Local) o sobre un enlace simple. Estas direcciones tienen el siguiente formato:



Como podemos apreciar, se distinguen por sus primeros bits “**1111 1110 10**” que en hexadecimal está definido como “**FE80**”. Este tipo de direcciones para nosotros serán muy importantes, pues son las que emplearemos de forma “Local” y la RFC es muy clara respecto a que **los routers NO DEBEN encaminar (o enrutar) los paquetes que contengan estas direcciones origen o destino hacia otros enlaces**. Es decir que justamente este rango de direcciones serán las que reemplazan los rangos de IPv4 Privadas (10.x.x.x/8, 172.16-31.x.x/16 y 192.168.x.x/24). Podemos considerar también como “Locales” a otro rango “**FC00::/7**” “*prefix to identify Local IPv6 unicast addresses*”, que desarrolla la RFC-4193 y es justamente el motivo de esa **NOTA** que mencionamos unos párrafos antes, reiteramos que se desarrollará aquí al final (*).

REFLEXIÓN: uno de los fundamentos de IPv6 es dejar de hacer uso de **NAT**, por lo tanto la idea de “Direcciones **públicas y privadas**” pierde mucho sentido.

Hoy en día el direccionamiento privado es uno de los pilares de la seguridad de una red..... ¿Qué sucederá con IPv6?

(lo desarrollaremos cuando comencemos con los artículos de seguridad en IPv6)

Sobre el punto 2.5.7. “Site-Local IPv6 Unicast Addresses” no nos detendremos pues esta RFC aclara que no debe ser soportado por nuevas implementaciones, así que no merece la pena dedicarle tiempo. Son las que estaban definidas por los 10 primeros bits “1111 1110 11” (en hexadecimal FEC0h).

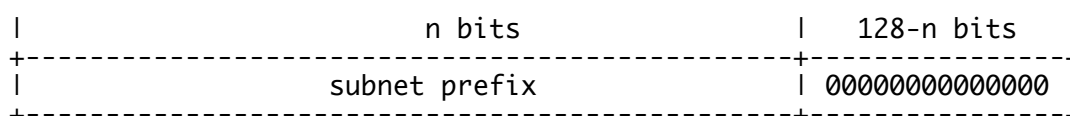
El punto 2.6. “Anycast Addresses” nos comenta que este tipo de direcciones son asignadas a más de una interfaz con la propiedad que un paquete enviado a esas direcciones es enrutado a la interfaz “mas cercana” bajo los parámetros de distancia que emplean los protocolos de enrutado (es decir que no se refiere a distancia física).





Como ya hemos mencionado su rango está dentro del de Unicast y sintácticamente es indistinguible del mismo, se trata de una metodología de “configuración explícita de cada nodo”, estas direcciones deben ser mantenidas como una entrada separada en los sistemas (tablas) de enrutado

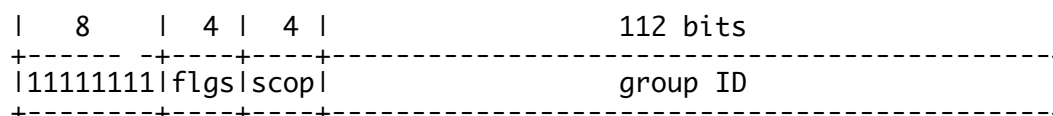
Lo que sí nos describe como “Predefinido” es el formato de una dirección para “Subred de routers” con la siguiente estructura:



El prefijo de esta subred (Subnet prefix) será el que identifique a un enlace específico, es decir el mismo de todas las direcciones Unicast de ese enlace, y dejando a “cero” todos los bits de identificador de esa Interface. Los paquetes que contengan esa dirección destino, serán entregados a un router de esa “Subred” (Subred de routers), en la cual todos sus routers deberán estar configurados para soportar este rango de “Anycast”, para las subredes sobre las que tengan interfaces y será su responsabilidad entregarlo al conjunto de routers que forman parte de esta “Subred anycast”.

El punto 2.7. “*Multicast Addresses*” de esta misma RFC nos habla de “**Multicast**” (recordemos que ya no existe más el concepto de “Broadcast”, por lo tanto debe suplirlo justamente este punto).

Lo primero que nos presenta es su formato:



Como podemos apreciar sus primeros bits son “**11111111**” que en hexadecimal equivale a “**FFh**” esto identifica unívocamente que se trata de Multicast. Luego de ello vemos dos “cuartetos”: flag y scop que si bien los describe con todo detalle este punto, nosotros los desarrollaremos en los próximos puntos, para ir aclarando por partes.

Por último el punto 2.8. “*A Node’s Required Addresses*” nos explica todas las direcciones que debe reconocer cualquier nodo que opere bajo IPv6, este aspecto no difiere de IPv4 excepto en el tema de Anycast.

Como cierre de esta parte, nos interesa destacar que en el punto 4. “*IANA Considerations*” aclara que IPv4 compatible con IPv6 (que presentamos más arriba en el punto 2.5.5.1.) queda obsoleto en esta RFC y que IANA debería continuar con el esquema de direccionamiento en la URL:

<http://www.iana.org/assignments/ipv6-address-space> (Tema con el que continuaremos en el siguiente punto).





(*) Volvamos a la NOTA: explicando esta "objeción" que tenemos sobre la **RFC-4291**.

En el punto 2.4. de la RFC-4291 "Address Type Identification" presentamos:

Address type	Binary prefix	IPv6 notation	Section
-----	-----	-----	-----
Unspecified	00...0 (128 bits)	::/128	2.5.2
Loopback	00...1 (128 bits)	::1/128	2.5.3
Multicast	11111111	FF00::/8	2.7
Link-Local unicast	1111111010	FE80::/10	2.5.6
Global Unicast	(everything else)		

Al final del mismo hace referencia a "Global Unicast (everything else)" esto en realidad puede no ser así, pues la **RFC-4193 "Unique Local IPv6 Unicast Addresses"** en su punto 1. "Introduction" dice textualmente:

*"This document defines an IPv6 unicast address format that is globally unique and is intended for **local** communications [IPv6]. These addresses are called Unique **Local** IPv6 Unicast Addresses and are abbreviated in this document as Local IPv6 addresses. **They are not expected to be routable on the global Internet.** They are routable inside of a more limited area such as a site. They may also be routed between a limited set of sites".*

(Es decir, al menos debería tratarse como un "**caso especial**" dentro del Unicast Global, pues no es enrutable Globalmente) ¿Por qué se hace tanta diferencia con FE80::/10? (Si su lógica es muy similar).

Esta RFC (**4193**) En su punto 3. "Local IPv6 Unicast Addresses", punto 3.1. "Format" presenta su formato:

7 bits	11 40 bits	16 bits	64 bits
-----	-----	-----	-----
Prefix	Global ID	Subnet ID	Interface ID
-----	-----	-----	-----

Donde:

Prefix **FC00::/7** prefix to identify Local IPv6 unicast addresses.

A su vez IANA (<http://www.iana.org/assignments/ipv6-address-space/ipv6-address-space.xml>) también lo reconoce y registra como:

2000::/3 Global Unicast
fe80::/10 Link-Scoped Unicast[RFC4291
fc00::/7 **Unique Local Unicast** [RFC4193]

(es decir nuevamente genera confusión pues figura como "**Local**" no "Global")

SOLUCIÓN PROPUESTA:

Si en la RFC 4291 en el punto 2.4. "Address Type Identification" se agregara la línea:





Site-local unicast 1111101 FC00::/7 (como un "caso especial")

Este punto quedaría:

Address type	Binary prefix	IPv6 notation	Section
-----	-----	-----	-----
Unspecified	00...0 (128 bits)	::/128	2.5.2
Loopback	00...1 (128 bits)	::1/128	2.5.3
Multicast	11111111	FF00::/8	2.7
Link-Local unicast	1111111010	FE80::/10	2.5.6
Site-local unicast	1111101	FC00::/7	
Global Unicast	(everything else)		

Y todo resultaría más claro. Tal vez pueda parecer un detalle sin importancia, pero al tratar de entender o explicar estas RFCs, se dificulta mucho el tema pues aparece un rango de direcciones IPs que no está claro (no forma, o no debería formar, parte de "everything else") y llegar a una conclusión acertada se complica.

Este rango "FC00::/7" lo desarrollaremos en el punto 3.6. "FC00::/7"

3.2. Análisis de los "primeros 16 bits".

En nuestra opinión estos dos primeros octetos son los que nos dan la visión preliminar de lo que estamos mirando.

Como acabamos de comentar la **RFC-4291** en el punto "4. IANA Considerations", nos hace referencia a la URL:

<http://www.iana.org/assignments/ipv6-address-space>

La tabla que nos presenta allí a mediados de abril de 2013 es la siguiente:

IPv6 Prefix	Allocation	Reference	Notes
0000::/8	Reserved by IETF	[RFC4291]	[1] [2] [3] [4] [5]
0100::/8	Reserved by IETF	[RFC4291]	0100::/64 reserved for Discard-Only Address Block [RFC6666]. Complete registration details are found in [IANA registry iana-ipv6-special-registry].
0200::/7	Reserved by IETF	[RFC4048]	Deprecated as of December 2004 [RFC4048]. Formerly an OSI NSAP-mapped prefix set [RFC4548].
0400::/6, 0800::/5, 1000::/4	Reserved by IETF	[RFC4291]	
2000::/3	Global Unicast	[RFC4291]	The IPv6 Unicast space encompasses the entire IPv6 address range with the exception of ff00::/8, per [RFC4291]. IANA unicast address assignments are currently limited to the IPv6 unicast address range of 2000::/3. IANA assignments from this block are registered in [IANA registry ipv6-unicast-address-assignments]. [6] [7] [8] [9] [10] [11]
4000::/3, 6000::/3, 8000::/3, a000::/3, c000::/3, e000::/4, f800::/6	Reserved by IETF	[RFC4291]	
fc00::/7	Unique Local Unicast	[RFC4193]	For complete registration details, see [IANA registry iana-ipv6-special-registry].





fe00::/9	Reserved by IETF	[RFC4291]	
fe80::/10	Link-Scoped Unicast	[RFC4291]	Reserved by protocol. For authoritative registration, see [IANA registry iana-ipv6-special-registry].
fec0::/10	Reserved by IETF	[RFC3879]	Deprecated by [RFC3879] in September 2004. Formerly a Site-Local scoped address prefix.
ff00::/8	Multicast	[RFC4291]	IANA assignments from this block are registered in [IANA registry ipv6-multicast-addresses].

- [1] ::1/128 reserved for Loopback Address [RFC4291]. Reserved by protocol.
- [2] ::/128 reserved for Unspecified Address [RFC4291]. Reserved by protocol.
- [3] ::ffff:0:0/96 reserved for IPv4-mapped Address [RFC4291]. Reserved by protocol.
- [4] 0000::/96 deprecated by [RFC4291]. Formerly defined as the "IPv4-compatible IPv6 address" prefix.
- [5] The "Well Known Prefix" 64:ff9b::/96 is used in an algorithmic mapping between IPv4 to IPv6 addresses [RFC6052].
- [6] 2001:0000::/23 reserved for IETF Protocol Assignments [RFC2928].
- [7] 2001:0000::/32 reserved for TEREDO [RFC4380].
- [8] 2001:0002::/48 reserved for Benchmarking [RFC5180].
- [9] 2001:db8::/32 reserved for Documentation [RFC3849].
- [10] 2001:10::/28 reserved for ORCHID [RFC4843].
- [11] 2002::/16 reserved for 6to4 [RFC3056].

Primer resumen: De todo esto ¿Con qué interesa quedarnos por ahora?

Hemos resaltado en "**negrita**" sobre lo que centraremos nuestra atención:

- ☼ **0000::1/8**: Dirección de Loopback (como su anterior: 127.0.0.1).
- ☼ **0000::ffff:0:0/96**: Reservado para "mapear IPv4 en IPv6"
- ☼ **0100::/8**: **RFC-6666** "A Discard Prefix for IPv6" (Este lo hemos dejado pues está diseñado para filtrado de "listas negras" e invitamos a que le deis una mirada a esa RFC)
- ☼ **2000::/3**: Nos lleva a → [IANA registry ipv6-unicast-address-assignments](http://www.iana.org/assignments/ipv6-unicast-address-assignments) (<http://www.iana.org/assignments/ipv6-unicast-address-assignments/ipv6-unicast-address-assignments.xml>) Lo tratamos en el punto 3.3.
- ☼ **fe80::/10** Nos lleva a → [IANA registry iana-ipv6-special-registry](http://www.iana.org/assignments/iana-ipv6-special-registry) (<http://www.iana.org/assignments/iana-ipv6-special-registry/iana-ipv6-special-registry.xml>) Lo tratamos en el punto 3.4.
- ☼ **ff00::/8** Nos lleva a → [\[IANA registry ipv6-multicast-addresses\]](http://www.iana.org/assignments/ipv6-multicast-addresses) (<http://www.iana.org/assignments/ipv6-multicast-addresses/ipv6-multicast-addresses.xml>) Lo tratamos en el punto 3.5.
- ☼ **fc00::/7** Nos lleva a → [\[IANA registry ipv6-multicast-addresses\]](http://www.iana.org/assignments/ipv6-multicast-addresses) (<http://www.iana.org/assignments/ipv6-multicast-addresses/ipv6-multicast-addresses.xml>) [**RFC-4193**]. Lo tratamos en el punto 3.6.





Es decir por ahora, si analizamos una dirección IPv6 según sus primeros bits, podremos encontrar lo que hemos destacado en negrita en el párrafo anterior.

3.3. Global Unicast

2000::/3: Nos lleva a → [IANA registry ipv6-unicast-address-assignments](http://www.iana.org/assignments/ipv6-unicast-address-assignments/ipv6-unicast-address-assignments.xml)
(<http://www.iana.org/assignments/ipv6-unicast-address-assignments/ipv6-unicast-address-assignments.xml>)

Si consultamos el enlace, la actual asignación de direcciones es la que se presenta aquí abajo:

Prefix	Design.	Date	Whois	Status	Note
2001:0000::/23	IANA	1999-07-01	whois.iana.org	ALLOC	[RFC2928]. 2001:0000::/32 is reserved for TEREDO [RFC4380]. 2001:0002::/48 is reserved for Benchmarking [RFC5180]. 2001:10::/28 is reserved for ORCHID [RFC4843].
2001:0200::/23	APNIC	1999-07-01	whois.apnic.net	ALLOC	
2001:0400::/23	ARIN	1999-07-01	whois.arin.net	ALLOC	
2001:0600::/23	RIPE NCC	1999-07-01	whois.ripe.net	ALLOC	
2001:0800::/23	RIPE NCC	2002-05-02	whois.ripe.net	ALLOC	
2001:0a00::/23	RIPE NCC	2002-11-02	whois.ripe.net	ALLOC	
2001:0c00::/23	APNIC	2002-05-02	whois.apnic.net	ALLOC	2001:db8::/32 reserved [RFC3849]. see [IANA registry iana-ipv6-special-registry].
2001:0e00::/23	APNIC	2003-01-01	whois.apnic.net	ALLOC	
2001:1200::/23	LACNIC	2002-11-01	whois.lacnic.net	ALLOC	
2001:1400::/23	RIPE NCC	2003-02-01	whois.ripe.net	ALLOC	
2001:1600::/23	RIPE NCC	2003-07-01	whois.ripe.net	ALLOC	
2001:1800::/23	ARIN	2003-04-01	whois.arin.net	ALLOC	
2001:1a00::/23	RIPE NCC	2004-01-01	whois.ripe.net	ALLOC	
2001:1c00::/22	RIPE NCC	2001-05-04	whois.ripe.net	ALLOC	
2001:2000::/20	RIPE NCC	2001-05-04	whois.ripe.net	ALLOC	
2001:3000::/21	RIPE NCC	2001-05-04	whois.ripe.net	ALLOC	
2001:3800::/22	RIPE NCC	2001-05-04	whois.ripe.net	ALLOC	
2001:3c00::/22	IANA			RES	2001:3c00::/22 is reserved for possible future allocation to the RIPE NCC.
2001:4000::/23	RIPE NCC	2004-06-11	whois.ripe.net	ALLOC	
2001:4200::/23	AFRINIC	2004-06-01	whois.afrinic.net	ALLOC	
2001:4400::/23	APNIC	2004-06-11	whois.apnic.net	ALLOC	
2001:4600::/23	RIPE NCC	2004-08-17	whois.ripe.net	ALLOC	
2001:4800::/23	ARIN	2004-08-24	whois.arin.net	ALLOC	
2001:4a00::/23	RIPE NCC	2004-10-15	whois.ripe.net	ALLOC	
2001:4c00::/23	RIPE NCC	2004-12-17	whois.ripe.net	ALLOC	
2001:5000::/20	RIPE NCC	2004-09-10	whois.ripe.net	ALLOC	
2001:8000::/19	APNIC	2004-11-30	whois.apnic.net	ALLOC	
2001:a000::/20	APNIC	2004-11-30	whois.apnic.net	ALLOC	
2001:b000::/20	APNIC	2006-03-08	whois.apnic.net	ALLOC	
2002:0000::/16	6to4	2001-02-01		ALLOC	2002::/16 reserved for 6to4 [RFC3056]. [IANA registry iana-ipv6-special-registry].





Prefix	Design.	Date	Whois	Status	Note
2003:0000::/18	RIPE NCC	2005-01-12	whois.ripe.net	ALLOC	
2400:0000::/12	APNIC	2006-10-03	whois.apnic.net	ALLOC	
2600:0000::/12	ARIN	2006-10-03	whois.arin.net	ALLOC	
2610:0000::/23	ARIN	2005-11-17	whois.arin.net	ALLOC	
2620:0000::/23	ARIN	2006-09-12	whois.arin.net	ALLOC	
2800:0000::/12	LACNIC	2006-10-03	whois.lacnic.net	ALLOC	
2a00:0000::/12	RIPE NCC	2006-10-03	whois.ripe.net	ALLOC	
2c00:0000::/12	AFRINIC	2006-10-03	whois.afrinic.net	ALLOC	
2d00:0000::/8	IANA	1999-07-01		RES	
2e00:0000::/7	IANA	1999-07-01		RES	
3000:0000::/4	IANA	1999-07-01		RES	
3ffe::/16	IANA	2008-04		RES	[RFC4380]. [RFC5156]
5f00::/8	IANA	2008-04		RES	[RFC5156]

¿Qué es lo que implica esta asignación? pues hasta ahora habíamos visto que las Direcciones Globales de Unicast (Global Unicast) eran “todas las demás” (con la excepción expuesta de **fc00::/7**). Para aclarar este detalle es que hemos dejado la tabla original, y sobre la misma vamos a prestar atención a la última columna “**note**”.

En la primera casilla de la misma, podemos ver que se hace mención a la **RFC-2928**, si estudiamos esta recomendación de septiembre del 2000, vemos que lo primero a lo que hace referencia en su introducción es el concepto de **TLA** (Top Level Aggregation) relacionando el mismo a la **RFC-2450** “Proposed TLA and NLA Assignment Rules”. En el punto 5.1. “Proposed TLA Allocation Stages” (de esta última) nos presenta el formato del mismo y aclara que estará compuesto por los siguientes campos:

3	13	13	19
+---+	+-----+	+-----+	+-----+
FP	TLA	Sub-TLA	NLA
	ID		ID
+---+	+-----+	+-----+	+-----+

Donde designa FP = **001** = “Format Prefix”.

Y aclara **Textualmente**: “Este es el formato de prefijo usado para identificar la tabla de agregación global (es decir Mundial) de direcciones Unicast”.

Luego presenta y asigna el **TLA ID = 0x001** = “Top-Level Aggregation Identifier”.

Por último en el punto 5.2. “Proposed Assignment Requirements” nos presenta los conceptos de **Sub-TLA**, al final de esta recomendación describe que los **NLA ID** (Next-Level Aggregation ID) serán usados por las Organizaciones para crear la “Jerarquía e identificación de sitios”.

Por lo tanto hasta ahora podemos entender que los 16 primeros bits (3 FP + 13 TLA ID) están registrados como:

001 y **0xxxxxxxx001** = **0010 xxxx xxxx x001** (quedémonos con esta idea).

No merece la pena detenernos más en la **RFC-2450** pues nuestro objetivo es entender ¿por qué no aparecen “todos los demás”?, por lo tanto ahora que comenzamos a seguirle el rastro a este formato de Global Unicast mejor será que volvamos a la RFC-2928 que es la que dio origen a la tabla de asignación que presentamos en este punto.



Esta RFC nuevamente nos presenta los primeros tres bits “001” de Formato de Prefijo (FP) que acabamos de ver, también los siguientes trece de TLD ID “0xxxxxxxxx001”, y sustentada por la RFC anterior continúa ahora con lo trece siguientes registrando las asignaciones iniciales del “Sub-Top Level Aggregation Identifiers (Sub-TLA ID)” donde ahora sí por primera vez encontramos lo siguiente:

Binary Value	IPv6 Prefix Range	Assignment
-----	-----	-----
0000 000X XXXX X	2001:0000::/29 - 2001:01F8::/29	IANA
0000 001X XXXX X	2001:0200::/29 - 2001:03F8::/29	APNIC
0000 010X XXXX X	2001:0400::/29 - 2001:05F8::/29	ARIN
0000 011X XXXX X	2001:0600::/29 - 2001:07F8::/29	RIPE NCC
0000 100X XXXX X	2001:0800::/29 - 2001:09F8::/29	(future assignment)
0000 101X XXXX X	2001:0A00::/29 - 2001:0BF8::/29	(future assignment)
0000 110X XXXX X	2001:0C00::/29 - 2001:0DF8::/29	(future assignment)
0000 111X XXXX X	2001:0E00::/29 - 2001:0FF8::/29	(future assignment)
0001 000X XXXX X	2001:1000::/29 - 2001:11F8::/29	(future assignment)
1111 111X XXXX X	2001:FE00::/29 - 2001:FFF8::/29	(future assignment)

donde "X" indica "0" o "1"

Analicemos, por ejemplo, la primera línea de estas asignaciones:

0000 000X XXXX X 2001:0000::/29 - 2001:01F8::/29 IANA

Lo que estamos viendo aquí al principio (0000 000X XXXX X) son los trece primeros bits del “Sub-TLA”, los cuáles estarán precedidos por los 16 primeros bits (3 FP + 13 TLA ID) que como acabamos de ver son 0010 xxxx xxxx x001, el primer rango de todas esas “x” serán a “0” y en consecuencia esa primera línea quedará:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	Bits	
FP			TLA ID													SubTLA ID													Nombre	
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	x	x	x	x	x	x	Rango (b)	
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Inicio (b)	
2			0			0			1			0			0			0			0			0			0			Inicio (h)
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	Fin (b)	
2			0			0			1			0			0			1			F			8			Fin (h)			

Por lo tanto, para cerrar este punto, lo que podemos afirmar sin lugar a dudas es que de “todas las demás” direcciones IPv6 que se corresponden al **Unicast Global** (es decir las que viajarán de un extremo al otro de Internet, hoy abril del 2013, las únicas que están registradas por IANA son las que comienzan con “0010”(b) = “2”(h) (pues inclusive las “3” si miramos la tabla anterior, se encuentran “RESERVADAS” pero aún no asignadas: ALLOC).

CONCLUSIÓN importante: Cuando “vemos” una IPv6 que comienza por “2” (h) sin lugar a dudas es **GLOBAL** (es decir enrutable por todo Internet).

No seguiremos avanzando más sobre este rango de direccionamiento, pero si alguien lo desea puede volver a la tabla con que iniciamos este punto y seguir con la secuencia de asignaciones que fue evolucionando en cada una de las zonas de Internet (RIPE, ARIN, LACNIC, APNIC, AFRNIC) partiendo de esta tabla podemos observar y profundizar todo lo que se desee.



3.4. Link Local

fe80::/10 [IANA registry iana-ipv6-special-registry file://localhost/\(http://www.iana.org/assignments/iana-ipv6-special-registry/iana-ipv6-special-registry.xml\)](http://www.iana.org/assignments/iana-ipv6-special-registry/iana-ipv6-special-registry.xml)

Si consultamos este enlace, la actual asignación de direcciones es la que se presenta aquí abajo:

Address Block	Name	RFC	Allocation Date	Source	Destination	Forwardable	Global	Reserved-by-Protocol
::1/128	Loopback Address	[RFC4291]	February 2006	False	False	False	False	True
::/128	Unspecified Address	[RFC4291]	February 2006	True	False	False	False	True
::ffff:0:0/96	IPv4-mapped Address	[RFC4291]	February 2006	False	False	False	False	True
64:ff9b::/96	IPv4-IPv6 Translat.	[RFC6052]	October 2010	True	True	True	True	False
100::/64	Discard-Only Address Block	[RFC6666]	June 2012	True	True	True	False	False
2001::/23	IETF Protocol Assignments	[RFC2928]	September 2000	False ^[1]	False ^[1]	False ^[1]	False ^[1]	False
2001::/32	TEREDO	[RFC4380]	January 2006	True	True	True	False	False
2001:2::/48	Benchmarking	[RFC5180]	April 2008	True	True	True	False	False
2001:db8::/32	Documentation	[RFC3849]	July 2004	False	False	False	False	False
2001:10::/28	ORCHID	[RFC4843]	March 2007	False	False	False	False	False
2002::/16 ^[2]	6to4	[RFC3056]	February 2001	True	True	True	N/A ^[2]	False
fc00::/7	Unique-Local	[RFC4193]	October 2005	True	True	True	False	False
fe80::/10	Linked-Scoped Unicast	[RFC4291]	February 2006	True	True	False	False	True

Como podemos apreciar, nuevamente nos dirige hacia la **RFC-4291**. Ya hemos tratado prácticamente todo los aspectos que desarrolla esta RFC en el punto 2.5.6. “*Link-Local IPv6 Unicast Addresses*” (en realidad, le dedica menos de diez renglones), lo que sí creemos adecuado es agregar un par de reflexiones adicionales.

En general siendo estricto en la “jerga” de los modelos de capas, cuando aparece la palabra “**Link**” (**enlace**) guarda estrecha relación justamente con esta capa o nivel (la capa 2). En este caso particular tiene más sentido aún, pues tal cual mencionamos, este rango de direcciones está remarcado porque “ningún router encaminará...”, es decir lo que está proponiendo la RFC-4291 sobre las direcciones “fe80” es que se queden en un “nivel de Enlace” y justamente así las llama “**Link Local**” (enlace local) y tal vez esta sea su más clara expresión, con ello encontramos sentido a diferenciarlas claramente con ese otro rango “especial” **fc00** que lo llama “Site-Local” y este sí que nos propone para unir diferentes sitios, redes, rutas.

Otro aspecto que deseamos profundizar está relacionado con la totalidad de direcciones que este rango ocupa, pues si bien estamos considerando “**fe80**”, la realidad es que el rango es “**fe80::/10**”, es decir máscara “10” y con ello el rango completo abarca lo siguiente:



Son RED										NO son RED						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
F				E				8				0				00....0
1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	11....1
F				E				B				F				11....1

Bits
Inicio (b)
Inicio (h)
Fin (b)
Fin (h)

Por lo tanto, cuando analizamos este rango de IPv6 de “Enlace Local”, podemos encontrarnos, no sólo con direcciones que comiencen con “**FE80**” sino también con “**FEBF**” y cualquiera de sus valores intermedios (**FE9x** y **FEAx**).

3.5. Multicast

Como hemos mencionado, este rango queda unívocamente identificado por su primer octeto “**FF**” o “**1111 1111**” en binario, la URL donde se puede obtener información sobre los registros es: **ff00::/8** [[IANA registry ipv6-multicast-addresses](https://iana.org/registry/ipv6-multicast-addresses)]. El cuadro básico de asignación de las mismas es el que figura a continuación:

Address(s)	Description	Reference	Date Registered	Last Reviewed
FF01:0:0:0:0:0:0:1	All Nodes Address	[RFC4291]		
FF01:0:0:0:0:0:0:2	All Routers Address	[RFC4291]		
FF01:0:0:0:0:0:0:FB	mDNSv6	[RFC6762]	2005-10-05	

Luego presenta más detalle sobre otros registros que amplían esta tabla, los mismos están en:

Registries included below

- [Node-Local Scope Multicast Addresses](#)
- [Link-Local Scope Multicast Addresses](#)
- [Site-Local Scope Multicast Addresses](#)
- [Variable Scope Multicast Addresses](#)
- [Source-Specific Multicast block](#)

No ampliaremos más sobre estos registros para poder centrarnos en lo que sí nos interesa, si alguien desea profundizar en ellos queda el hipervínculo a cada uno de los mismos.

Lo que nos interesa es avanzar sobre lo que la RFC-4291 describe en su punto 2.7 “*Multicast Address*”

Al principio, cuando presentamos esta RFC lo hicimos a través de sus primeros octetos, aclaramos lo de “1111 1111” y dejamos pendiente que luego de ello vemos dos “cuartetos”: flag y scop con los que seguiremos ahora:

Este primer “cuarteto” **Flag** está definido con cuatro bits cuyo significado es





+--+--+--+
|0|R|P|T|
+--+--+--+

Donde:

- ⊗ **T = "0"** indica que se trata de uno de los valores "Permanentemente asignados" o Registrados (es decir los que figuran en las tablas con que iniciamos este punto). Los llama "**Well-known**" (bien conocido) al igual que los puertos TCP/UDP por debajo de 1024 o las direcciones IP, etc. Implica que se trata de un valor que no puede ser empleado para otro fin diferente al que figura en ese registro.

Si T = "1" indica que no es permanente, lo define como "**transitorio**" o "Dinámicamente" asignado.

- ⊗ **P:** Se define en la **RFC-3306**.

Esta RFC-3306 es un documento muy breve que nos describe cómo poder hacer una asignación "dinámica" de Multicast, se basa en el empleo de este tercer bit del "Flag", el bit "**P**" (por "**P**refix") y en definitiva lo que indica este bit es que:

P = 0 → esta dirección de multicast **no** está basada en el "Prefijo de red" (es decir, los tres primeros bits de los 128 de este rango de direcciones IP).

P = 1 → Sí está basada en este "Prefijo de red"

Y aclara un tema más: Si P = 1 → "**T**" también DEBE ser = "**1**".

Define algunos aspecto más que no merece la pena desarrollar en este texto.

- ⊗ **R:** Se define en la **RFC-3956**

La RFC-3956 "*Embedding the Rendezvous Point (RP) Address in an IPv6 Multicast Address*" (que actualiza a la RFC-3306), define el empleo de este bit justamente para permitir un mecanismo escalable de multicast "inter" a "intra" dominios a través de este concepto de "**Punto de encuentro**" o "**punto de cita**" (*Rendezvous Point (RP)*). Esta sí es una RFC más compleja, de la que nos interesa rescatar que a través del empleo de este bit, es decir cuando **R = "1"**, se indica que un nuevo direccionamiento multicast, está embebido en este esquema de direccionamiento; en esos casos define que los bits "**P**" y "**T**" también DEBEN estar en "1". Cuando se cumple esta condición, a partir del "cuarteto" flag, comienza un formato diferente de direccionamiento que está descrito por esta RFC.

No es objetivo de esta artículo llegar al nivel de detalle de esta RFC, solamente deseábamos comentar su empleo y función, y todo aquel que necesite profundizar en este mecanismo puede hacerlo consultando esta recomendación.





En cuanto al segundo “cuarteto” **Scop** (scope) se emplea para limitar el “ámbito” de este grupo y la RFC define los siguientes valores:

- 0 reserved
- 1 Interface-Local scope
- 2 Link-Local scope
- 3 reserved
- 4 Admin-Local scope
- 5 Site-Local scope
- 6 y 7 (unassigned)
- 8 Organization-Local scope
- 9, A, B, C y D (unassigned)
- E Global Scope
- F reserved

El valor “1” es un concepto nuevo que se define para multicast, aplica a una sola interfaz, recordemos como empezamos con esta RFC “Una dirección IPv6 aplica siempre a una interfaz” (no a un nodo), bajo este concepto es que un mismo nodo permite la opción de tener “n” direcciones IP (aún teniendo una sola interfaz física).

El valor “2” aplica al mismo ámbito que acabamos de desarrollar de “Link-Local” (enlace local); es decir, a todas las interfaces del rango “**FE80::/10**”.

El valor “3” Admin-Local, es el ámbito más pequeño que puede ser administrativamente configurado, pone por ejemplo un ámbito que no se derive de la conectividad física u otros tipos de multicast que estén aquí desarrollados.

El valor “4” aplica a “Site-Local” y abarca una sola Site. Si lo pensamos en términos de **FC00::/7**, debería aplicar a uno solo de los rangos de todas las “Sites” que abarque nuestra organización. En el caso de necesitar un multicast que aplique a toda la Organización (a más de una Site), es el valor “8” que se define para “Organization-local”.

Por último el valor “E” se emplea para todo Internet.

Estos valores de “**Scope**”, la RFC establece que son independientes del significado del bit “T” (0: permanente o 1: temporal).

Para cerrar este punto la **RFC-4291** pone como ejemplo el caso de un multicast “ntp” (Network Time Protocol). Si miramos nuevamente la tabla de registros multicast con la que iniciamos este punto, podemos ver que hay uno de estos registros que es:

Registries included below

- [Variable Scope Multicast Addresses](#)

En esta tabla nos presenta justamente este multicast “ntp”

FF0X:0:0:0:0:0:0:101	Network Time Protocol (NTP)	[RFC1119]
----------------------	-----------------------------	---------------------------

Los comentarios que hace sobre esta tabla son:





These permanently assigned multicast addresses are valid over all scope ranges. This is shown by an "X" in the scope field of the address that means any legal scope value.

Es decir, estamos viendo en este comentario la definición de “Permanente” y de “Scope”, pues nos aclara que se trata de asignación “permanente” que es válida para cualquier “ámbito” (scope), y esto es el ejemplo que propone la RFC y que explicamos a continuación:

Ejemplo: Si el grupo de servidores “NTP” tiene asignado la dirección permanente: **101** (h) (tal cual vimos en la tabla anterior), entonces:

FF01:0:0:0:0:0:101 significa todos los servidores NTP sobre la misma Interfaz del que envía. (scope “1” Interface-Local)

FF02:0:0:0:0:0:101 significa todos los servidores NTP sobre el mismo enlace del que envía (scope “2” Link-Local)

FF05:0:0:0:0:0:101 significa todos los servidores NTP sobre la misma Site del que envía (scope “5” Site-Local)

FF0E:0:0:0:0:0:101 significa todos los servidores NTP sobre Internet (scope “E” Global).

3.6. FC00::/7.

Hasta ahora habíamos presentado en nuestra **NOTA (en verde)** que este rango al menos debería ser tratado como un “caso especial”, comentamos que hay un registro particular definido en IANA → [[IANA registry ipv6-multicast-addresses](http://www.iana.org/assignments/ipv6-multicast-addresses)]

(<http://www.iana.org/assignments/ipv6-multicast-addresses/ipv6-multicast-addresses.xml>).

Que a su vez en (<http://www.iana.org/assignments/ipv6-address-space/ipv6-address-space.xml>) IANA también lo reconoce y registra como:

2000::/3 Global Unicast

fe80::/10 Link-Scoped Unicast[RFC4291

fc00::/7 **Unique Local Unicast** [RFC4193]

("Local" no "Global")

Analicemos ahora con más detalle la **RFC-4193** “*Unique Local IPv6 Unicast Addresses*” pues propone aspectos que deberíamos conocer.

En su Introducción comienza hablando que este documento define un formato de direcciones unicast que es globalmente único y se entiende para comunicaciones locales, las mismas no son pensadas para ser enrutadas sobre Internet, sino dentro de un área limitada, como por ejemplos una “Site” pero **sí pueden ser enrutadas entre un número limitado de “Sites”**. Es decir estamos presentando claramente un esquema de direccionamiento para comunicación “Intra o Inter Sites” pero que no diseñado para navegar por Internet.





Continúa definiendo una serie de características que a nuestro juicio son novedosas, por ejemplo:

- Prefijo Globalmente Único (con alta probabilidad de Unicidad)

Esta característica la hemos resaltado, no con la intención de continuar nuestro debate sobre si es local o global sino porque luego comienza a detallar que este mecanismo permite comunicar estas diferentes Sites, con independencia del proveedor de Internet, sin necesidad de re-numeraciones de direccionamientos locales e inclusive hace referencia en que si “accidentalmente” se filtrara una de estas direcciones (hacia Internet) vía rutas o DNSs, no habría conflicto con otras direcciones.

Hasta ahora esta RFC que suena bastante extraña, continúa más rara aún cuando a partir del punto 3.1. “Format” presenta otro formato para el direccionamiento usando un método de asignación “Pseudo random”. Nos habla de una evaluación de la población mundial para el año 2050 de unos 9.300.000.000 de habitantes. Todo esto avanza hacia una propuesta de cálculo del campo “Global ID” (40 bits siguientes a los 8 de “FC”) que NO DEBE ser asignado de forma secuencial o con números conocidos, y con ello se aseguraría que no exista relación entre diferentes ubicaciones y ayude a clarificar que cualquiera de estos valores no tengan ninguna lógica de enrutado a nivel geográfico o global, pasando luego directamente a la explicación de este método que tiene una “extremadamente alta” probabilidad de ser única.

Los pasos resumidamente son:

- a. Obtener la fecha del día en 64 bits (formato NTP).
- b. Obtener un identificador EUI-64 ejecutando este algoritmo.
- c. Concatenar ambos
- d. Ejecutar un resumen con la función SHA-1 (que es de 160 bits)
- e. Usar los 40 bits menos significativos como Global ID.
- f. Concatenar FC00::/7 con el octavo bit (que esta RFC lo define como “L”) puesto a “1” con estos nuevos 40 bits obtenidos.

Basado en el cálculo de probabilidades, en la norma se calcula el valor de “P” como la probabilidad de “Colisión” (que en criptografía implica valores iguales), es decir, la probabilidad que puedan aparecer repetidos estos ID y el resultado es el que se muestra en la tabla.

Conexiones	Probabilidad de colisión
2	$1,81 * 10^{-12}$
10	$4,54 * 10^{-11}$
100	$1,81 * 10^{-9}$
1.000	$1,81 * 10^{-7}$
10.000	$1,81 * 10^{-5}$

Por esta razón (o fortaleza ante colisiones) es que remarca que se calcule de esta forma y no de otra. Al final de este artículo veremos un ejercicio práctico de este caso.

En el punto 4.1. “Routing” aclara que este rango está designado para ser enrutado dentro de una “Site” de la misma forma que cualquier otro tipo de direcciones Unicast, y que la conducta normal de cualquier protocolo de enrutado exterior debería ser ignorar y no advertir prefijos “FC00::/” haciendo la “salvedad” que un operador podría





específicamente configurar prefijos de este tipo para comunicación “Inter Sites”. En el punto 4.3. “*Site Border Router and Firewall Packet Filtering*” también aclara que estos dispositivos deberían ser configurados para filtrar o no enrutar estas direcciones, a menos que hayan sido explícitamente configurados para ello, y lo mismo como ruta por defecto. Deberían responder con un mensaje ICMPv6 informando que ese paquete no ha sido enrutado (para evitar time out).

3.7. EUI-64 y el “mapeo” de IPv6 sobre Ethernet (para Unicast y Multicast)

En este apartado reuniremos estos dos conceptos que aún tenemos pendientes, es decir de qué se trata EUI-64 y como se “entrega” una paquete IPv6 al nivel 2 (enlace) para que este lo transforme en una trama, en nuestro caso Ethernet (aunque también están definidos otros estándares de este nivel), y lo transmita por la red.

1) El formato EUI-64.

Hasta la llegada de IPv6 seguramente no habíamos escuchado mucho sobre **EUI-64** (aunque ya existía) pues lo más probable es que lleváramos años trabajando con el formato **EUI-48**, comúnmente llamado direccionamiento MAC o MAC-48 (Para más detalle de este direccionamiento ver libro “[Seguridad por Niveles](#)”).

Las definiciones iniciales de este formato nacen con el estándar **IEEE 802-2001** (Institute of Electrical and Electronics Engineers); esta norma que fue reafirmada en marzo de 2007, en su punto 9 desarrolla el concepto de direccionamiento universal con todo el detalle teórico y práctico. En cuanto a su implementación, tal vez es mejor tomar como referencia una Guía (de noviembre de 2012) también de IEEE para el Identificador Global **EUI-64** que podemos encontrar en: <http://standards.ieee.org/develop/regauth/tut/eui64.pdf>, en ella se presenta el empleo de este formato de direccionamiento para el nivel de enlace. Este breve documento sencillamente nos lo describe como una concatenación de 40 bits adicionales a los 24 bits de **OUI** (Organizationally Unique Identifier), hace referencia a los derechos reservados sobre este formato, y lo más importante para nuestro artículo es que al final de esta guía menciona que para IPv6 la derivación de este formato figura en el “apéndice A” de la **RFC-4291**, así que volvamos nuevamente a esta RFC.

Apéndice A “*Creating Modified EUI-64 Format Interface Identifiers*” a la RFC-4291.

Aquí aparece por primera vez la palabra “**Modificado**”, y esto se debe a que lo primero que nos aclara es que “*el único cambio que se necesita para transformar un IEEE EUI-64 a un identificador de interface Ipv6 es invertir el bit “u” (universal/local)*”. Vamos a recordar que los primeros bits de una dirección de este tipo, son los que identifican unívocamente al fabricante de esa interfaz de red, pero dentro de estos 24 bits, hay dos de ellos que tienen un significado especial (nuevamente para profundizar sobre el tema, os invitamos a ver el libro





“**Seguridad por Niveles**”), se trata de los bits 7 y 8 del primer octeto que se emplean para identificar si una dirección se corresponde a un enlace “Universal o Local” y si es “Grupal o Individual”. En este caso, la RFC nos plantea el cambio del bit 7 (Universal/Local) y presenta este formato:

10	111	313	414	61
10	516	112	718	31
+-----+-----+-----+-----+-----+				
	cccccc0	gcccccccc		ccccccccmmmmmmmm
	mmmmmmmmmmmmmmmm			mmmmmmmmmmmmmmmm
+-----+-----+-----+-----+-----+				

Donde “**c**” son los bits correspondientes justamente al fabricante, “**0**” es el valor del bit Universal/Local, “**g**” es el bit de Individual/grupal y “**m**” son los bits que el fabricante ha seleccionado como “identificador de extensión”.

Para una IPv6, el cambio de este bit, debería quedar entonces como:

10	111	313	414	61
10	516	112	718	31
+-----+-----+-----+-----+-----+				
	cccccc1	gcccccccc		ccccccccmmmmmmmm
	mmmmmmmmmmmmmmmm			mmmmmmmmmmmmmmmm
+-----+-----+-----+-----+-----+				

Donde se puede apreciar que el único cambio ha sido la modificación de “**0**” por “**1**” justamente en este bit (Universal/Local).

Luego de esta modificación, este apéndice describe cómo crear un EUI-64 desde una dirección MAC definida por IEEE con 48 bits (es decir desde una EUI-48) y para ello solamente se debe insertar los siguientes octetos hexadecimales “FF y FE” a continuación de los primeros 24 bits (es decir los correspondientes a OUI) y pone los siguientes ejemplos:

A partir de una dirección EUI-48 (manteniendo la idea de los bis “**c**”, “**0**”, “**g**”, “**m**”).

10	111	313	41
10	516	112	71
+-----+-----+-----+-----+			
	cccccc0	gcccccccc	
	ccccccccmmmmmmmm		
+-----+-----+-----+-----+			

Se crea una dirección EUI-64 (agregando los dos octetos **FF** y **FE** que en binario son **11111111 11111110**):

10	111	313	414	61
10	516	112	718	31
+-----+-----+-----+-----+-----+				
	cccccc1	gcccccccc		cccccccc11111111
	11111110mmmmmmmm			mmmmmmmmmmmmmmmm
+-----+-----+-----+-----+-----+				

Al final de este apéndice agrega una nota que hace referencia a la propuesta inicial de IEEE de emplear “FF FF” y que en implementaciones iniciales de IPv6 fueron empleados, pero que a partir de este documento se recomienda el empleo de “**FF FE**” pues esta será la forma de identificar que se está trabajando con IPv6.





En el mes de septiembre de 2008, aparece una segunda RFC que vuelve a tratar este tema de EUI-64 Modificado, se trata de la **RFC-5342** "IANA Considerations and IETF Protocol Usage for IEEE 802 Parameters", en el punto 2.2.1. "IPv6 Use of Modified EUI-64 Identifiers", reitera el empleo de este formato EUI-64 Modificado y lo relaciona al rango que se le asigna a IANA.

Como ejemplo práctico presentamos a continuación una dirección real de IPv6 proveniente justamente de este "mapeo" de EUI-48 a EUI-64:

```
en0: <UP,BROADCAST,SMART,RUNNING,SIMPLEX,MULTICAST> mtu 1500
ether 3c:07:54:6c:a2:29
inet6 fe80::3e07:54ff:fe6c:a229%en0 prefixlen 64 scopeid 0x4
```

Como podemos apreciar la dirección MAC es de formato EUI-48:

```
ether 3c:07:54:6c:a2:29
```

Al transformarse en una IPv6 estos mismos campos son ahora:

```
inet6 fe80::3e07:54ff:fe6c:a229
```

Se puede apreciar la inserción de los octetos "ff y fe", pero a su vez hay otro aspecto que merece la pena analizar, si prestamos atención al primero octeto de la dirección EUI-48 (ether) este es "3c", sin embargo al transformarse en EUI-64, este pasa a ser "3e"???????? (¿es raro esto?)....., es lo que acabamos de presentar del bit siete (Universal/Local), vamos a estudiarlo en binario:

1	2	3	4	5	6	7	8	Bits
3				C				EUI-48 (h)
0	0	1	1	1	1	0	0	EUI-48 (b)
3				E				EUI-64(h)
1	1	1	1	1	1	1	0	EUI-64 (b)

Como podemos ver, se trata justamente de este séptimo bit (Universal/Local), que se ha cambiado de cero a uno, tal cual lo indica la RFC-4291.

Y los primeros dos octetos de esta dirección "fe80", ¿aún recordamos de qué se tratan?.....

2) Entrega al nivel 2.

Lo primero que debemos tener en cuenta sobre esta tarea es lo que desarrollamos en el primer artículo "IPv6 (Parte 01) – Componentes" es que para el formato de las tramas Ethernet (protocolo que forma parte de los "componentes" de esta nueva versión de IP), se ha definido un nuevo valor "86" en hexadecimal para aplicar en su campo "Ethertype" con el objetivo de identificar como protocolo de nivel superior a IPv6, por lo tanto este es el primer aspecto a considerar.

El segundo a destacar, es el caso de la "Inter relación" que deben tener el nivel 2 con el 3 para el caso de "Multicast", pues si IPv6 desea enviar un paquete a más de una dirección destino, debe informarle de alguna forma al nivel de enlace para que





este pueda “poner sobre aviso” a cualquier switch que esa trama debe reenviarla por TODAS sus bocas. Esta actividad, para el caso de Ethernet, está definida en la **RFC-2464** “IPv6 Packets over Ethernet”. En el punto 7 “Address Mapping – Multicast” de la misma, como su nombre lo indica propone cómo hacerlo, se basa en que la dirección destino **EUI-48** de esa trama a enviar, se forme con el valor “**33 33**” (en hexadecimal) para sus dos primeros octetos, seguidos de los cuatro últimos de la dirección destino IPv6, lo que se ve más claro con el ejemplo que allí figura:

```

+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+
|0 0 1 1 0 0 1 1|0 0 1 1 0 0 1 1|
+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+
|   DST[13]      |   DST[14]      |
+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+
|   DST[15]      |   DST[16]      |
+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+--+

```

Como podemos ver en este ejemplo, la dirección EUI-48 queda formada por los dos primeros octetos: “**0011 0011 0011 0011**” que es “**33 33**” en su representación binaria, seguidos de los octetos 13, 14, 15 y 16 (es decir los cuatro últimos) de la dirección destino IPv6.



4. Capturas de tráfico – ejemplos.

En esta sección presentaremos brevemente algunas capturas de tráfico relacionadas a los componentes que hemos descrito.

a. Ejemplo de Multicast

Como hemos presentado, una dirección “Multicast” IPv6 presenta varios aspectos que podemos considerar, aquí abajo presentamos un ejemplo de la misma:

```
▶ Frame 3: 78 bytes on wire (624 bits), 78 bytes captured (624 bits) on interface 0
  ▶ Ethernet II, Src: 00:1f:a4:91:80:92 (00:1f:a4:91:80:92), Dst: 33:33:00:00:00:01 (33:33:00:00:00:01)
    ▶ Destination: 33:33:00:00:00:01 (33:33:00:00:00:01)
    ▶ Source: 00:1f:a4:91:80:92 (00:1f:a4:91:80:92)
      Type: IPv6 (0x86dd)
  ▶ Internet Protocol Version 6, Src: fe80::21f:a4ff:fe91:8092 (fe80::21f:a4ff:fe91:8092), Dst: ff02::1 (ff02::1)
    ▶ 0110 .... = Version: 6
    ▶ .... 0000 0000 .... = Traffic class: 0x00000000
    ▶ .... 0000 0000 0000 0000 0000 0000 = Flowlabel: 0x00000000
    Payload length: 24
    Next header: ICMPv6 (58)
    Hop limit: 255
    Source: fe80::21f:a4ff:fe91:8092 (fe80::21f:a4ff:fe91:8092)
    [Source SA MAC: 00:1f:a4:91:80:92 (00:1f:a4:91:80:92)]
    Destination: ff02::1 (ff02::1)
    [Source GeolP: Unknown]
    [Destination GeolP: Unknown]
  ▶ Internet Control Message Protocol v6
    0000 33 33 00 00 00 01 00 1f a4 91 80 92 86 dd 60 00 33 .....
    0010 00 00 00 18 3a ff fe 80 00 00 00 00 00 02 1f .....
    0020 a4 ff fe 91 80 92 ff 02 00 00 00 00 00 00 00 .....
    0030 00 00 00 00 00 01 86 00 ef 2a 40 58 00 1e 00 00 ..... *@X....
    0040 00 00 00 00 00 00 01 01 00 1f a4 91 80 92 .....
    .....
```

Lo primero que hemos destacado en rojo es justamente el valor “33 33” con que comienza la dirección EUI-48 (dirección MAC) que fue el último tema tratado en el artículo, según la RFC-2464 es la forma en que se “mapea” este concepto de Multicast desde el nivel de red (IPv6) al nivel de enlace (Ethernet), para que cualquier switch que reciba esta trama automáticamente mire el bit correspondiente a Individual/grupal (bit 8 del primer octeto) y sepa que se trata de un mensaje para más de una dirección destino y lo repita por TODAS sus bocas.

Lo segundo destacado es el valor “86” del campo “Ethertype” que tal cual se ve en la imagen directamente lo asocia a IPv6 como protocolo de capa superior.

Por último podemos ver la dirección destino IPv6, en la cual como hemos desarrollado en el punto 3.5 “Multicast” apreciamos que comienza con “FF”, luego sigue con “02” donde podemos ver el valor de los cuartetos: “Flag” y “Scope”, en este caso:

- Flag: 0 → bits: 0 - R - P - T (todos cero)
 - R=0 No hay punto de encuentro (R: Rendezvous Point).
 - P=0 No está basada en el prefijo de red

- T=0 Valor permanentemente asignado
- Scope: 2 = Link-Local scope (es decir, que este multicast aplica a todas las interfaces del rango “FE80::/10”).

Por último si volvemos a analizar el “IPv6 Multicast Address Space Registry”

Registries included below

- [Link-Local Scope Multicast Addresses](#)

Address(s)	Description	Reference	Date Reg.	Last Rev.
FF02:0:0:0:0:0:0:1	All Nodes Address	[RFC4291]		

Podemos verificar que se trata de una dirección multicast, dirigida a todos los nodos de este rango.

b. Empleo de Enlace Local, sin “mapeo a IPv4”

Dentro de las direcciones de “Enlace Local” (FE80::/10) presentamos que la RFC-4291 en el punto 2.5.5.2. “IPv4-Mapped IPv6 Address” describe que para “mapear” IPv4 existentes en despliegues de IPv6 se debe hacer uso de los octetos “FFFF” previo a los cuatro de IPv4 y presentamos su formato:

	80 bits	16	32 bits	
+-----+		+-----+		+-----+
0000.....0000		FFFF	IPv4 address	
+-----+		+-----+		+-----+

Luego en el punto 2.5.6. “Link-Local IPv6 Unicast Addresses” de la misma nos relataba cómo se debe emplear el direccionamiento Unicast para “**Enlaces Locales**” (Link-Local) o sobre un enlace simple empleando el siguiente formato:

10 bits	54 bits		64 bits	
+-----+		+-----+		+-----+
1111111010	0		interface ID	
+-----+		+-----+		+-----+

En la primera captura que se ve a continuación, se aprecia este último caso:

```

> Frame 1: 398 bytes on wire (3184 bits), 398 bytes captured (3184 bits)
> Ethernet II, Src: 78:ac:c0:b2:60:1d (78:ac:c0:b2:60:1d), Dst: 2c:27:d7:bf:fd:8c (2c:27:d7:bf:fd:8c)
  > Destination: 2c:27:d7:bf:fd:8c (2c:27:d7:bf:fd:8c)
  > Source: 78:ac:c0:b2:60:1d (78:ac:c0:b2:60:1d)
  Type: IPv6 (0x86dd)
> Internet Protocol Version 6, Src: fe80::a515:8ea:3bc4:a81e (fe80::a515:8ea:3bc4:a81e), Dst: fe80::69f6:7742:33cd:ebc3 (fe80::69f6:7742:33cd:ebc3)
  > 0110 .... = Version: 6
  > .... 0000 0000 .... = Traffic class: 0x00000000
  .... 0000 0000 0000 0000 = Flowlabel: 0x00000000
  Payload length: 344
  Next header: TCP (6)
  Hop limit: 128
  Source: fe80::a515:8ea:3bc4:a81e (fe80::a515:8ea:3bc4:a81e)
  Destination: fe80::69f6:7742:33cd:ebc3 (fe80::69f6:7742:33cd:ebc3)
  [Source GeolIP: Unknown]
  [Destination GeolIP: Unknown]
> Transmission Control Protocol, Src Port: 64767 (64767), Dst Port: 2869 (2869), Seq: 1, Ack: 1, Len: 324
> Hypertext Transfer Protocol
  
```

Estamos viendo un enlace local (**FE80**) en el cual no se guarda ningún tipo de relación entre el direccionamiento MAC y el de IPv6. También podemos verificar en esta captura el formato que acabamos de presentar respecto al punto 2.5.6. “*Link-Local IPv6 Unicast Addresses*” de la misma para “**Enlaces Locales**”:

10 bits	54 bits	64 bits
11111111010	0	interface ID

Analicemos la dirección IPv6 destino:

fe80::69f6:7742:33cd:ebc3

Lo que se está presentando aquí es:

10 bits	54 bits	64 bits
11111111010	0	interface ID
f e 10	00000000	00000000 69 f6 77 42 33 cd eb c3

Para el caso de que sí se guarde relación entre la dirección MAC y la dirección IPv6, es que hemos explicado que se crea una dirección EUI-64 (agregando los dos octetos **FF** y **FE** que en binario son **11111111 11111110**):

10	11	313	414	61
10	516	112	718	31
cccccc1gcccccccc	cccccccc11111111	11111110	mmmmmmmmmmmmmmmm	mmmmmmmmmmmmmmmm

En la imagen de la captura que presentamos a continuación, se puede apreciar este caso.



```

> Frame 20: 70 bytes on wire (560 bits), 70 bytes captured (560 bits)
> Ethernet II, Src: b4:b5:2f:2e:a7:e3 (b4:b5:2f:2e:a7:e3), Dst: 3c:07:54:6c:a2:29 (3c:07:54:6c:a2:29)
> Internet Protocol Version 6, Src: fe80::d1e7:4a9c:4572:2ec2 (fe80::d1e7:4a9c:4572:2ec2), Dst: fe80::3e07:54ff:fe6c:a229 (fe80::3e07:54ff:fe6c:a229)
  > 0110 .... = Version: 6
  > .... 0000 0000 .... = Traffic class: 0x00000000
  > .... 0000 0000 0000 0000 = Flowlabel: 0x00000000
  Payload length: 16
  Next header: ICMPv6 (58)
  Hop limit: 128
  Source: fe80::d1e7:4a9c:4572:2ec2 (fe80::d1e7:4a9c:4572:2ec2)
  Destination: fe80::3e07:54ff:fe6c:a229 (fe80::3e07:54ff:fe6c:a229)
  [Destination SA MAC: 3c:07:54:6c:a2:29 (3c:07:54:6c:a2:29)]
  [Source GeolP: Unknown]
  [Destination GeolP: Unknown]
> Internet Control Message Protocol v6
```

Hemos subrayado ambas direcciones (MAC e IPv6), se puede apreciar que los seis octetos del formato EUI-48, se transforman en EUI-64 insertando justamente “ff fe” (que recuadramos en verde) y con estos 64 bits se forma la IPv6. Recordemos también la Inversión del séptimo bit “Local/universal” que pasa de “0” a “1” tal cual se muestra en el formato y en el caso de la captura, es justamente la diferencia en el primer octeto MAC “3c” (0011 1100) que luego se transforma en “3e” (0011 1110).

c. Site Local (Fc00::/7):

Para poder esclarecer un poco más este aspecto es que hemos generado los pasos que indica la RFC-4193 en la creación de estos para poder generar un poco de tráfico, el cual presentamos a continuación.

En el punto 3.6 de nuestro artículo hicimos mención a la importancia que esta RFC le asigna a la generación de este rango de direccionamiento (para evitar “colisiones”), la misma en el punto 3.2.2. “Sample Code for Pseudo-Random Global ID Algorithm” nos describe el procedimiento tal cual figura a continuación:

- 1) Obtain the current time of day in 64-bit NTP format [NTP].
- 2) Obtain an EUI-64 identifier from the system running this algorithm. If an EUI-64 does not exist, one can be created from a 48-bit MAC address as specified in [ADDARCH]. If an EUI-64 cannot be obtained or created, a suitably unique identifier, local to the node, should be used (e.g., system serial number).
- 3) Concatenate the time of day with the system-specific identifier in order to create a key.
- 4) Compute an SHA-1 digest on the key as specified in [FIPS, SHA1]; the resulting value is 160 bits.
- 5) Use the least significant 40 bits as the Global ID.
- 6) Concatenate Fc00::/7, the L bit set to 1, and the 40-bit Global ID to create a Local IPv6 address prefix.

Ejercicio realizado (en un Mac, con sistema operativo Lyon, por línea de comandos):





- 1) Obtain the current time of day in 64-bit NTP format [NTP].

Con el comando “**ntpq**” obtuvimos este valor: **d51a4f70630964e1**

- 2) Obtain an EUI-64 identifier from the system running this algorithm.

Con el comando “**ifconfig**”:

```
sh-3.2# ifconfig en0
flags=8963<UP,BROADCAST,SMART,RUNNING,PROMISC,SIMPLEX,MULTICAST> mtu 1500
options=2b<RXCSUM, TXCSUM, VLAN_HWTAGGING, TSO4>
ether 3c:07:54:6c:a2:29
inet6 fe80::3e07:54ff:fe6c:a229%en0 prefixlen 64 scopeid 0x4
inet 10.102.202.4 netmask 0xfffffc0 broadcast 10.102.202.63
media: autoselect (100baseTX <full-duplex>)
status: active
```

- 3) Concatenate the time of day with the system-specific identifier in order to create a key.

d51a4f70630964e13c07546ca229

- 4) Compute an SHA-1 digest on the key as specified in [FIPS, SHA1]; the resulting value is 160 bits.

```
ace$ echo -n "d51a4f70630964e13c07546ca229" | openssl sha1
(stdin)= cd7785eaca93e21be6675a18f1938fcdf8635229
```

- 5) Use the least significant 40 bits as the Global ID.

cd7785eaca

- 6) Concatenate FC00::/7, the L bit set to 1, and the 40-bit Global ID to create a Local IPv6 address prefix.

(Cuidado aquí) → de FC00::/7 (Sólo consideramos los primeros siete bits): **F(h) = 1111 (b)**, **C(h) = 1100 (b)**, pero de aquí nos pide que el séptimo bit “**L**” sea **1** => por lo tanto consideramos: **1111 1110 = “fe”**

La Concatenación entonces nos queda:

fe**cd:7785:eaca::/48**

Sobre este rango configuramos manualmente dos dispositivos:

- router: **fe****cd:7785:eaca::1/48**

- Portátil: **fe****cd:7785:eaca::2/48**

Este es el tráfico que se puede apreciar en la captura siguiente:



1	13:36:45.132851	fe8d:7785:eaca::2	fe8d:7785:eaca::1	ICMPv6	70 Echo (ping) request id=0x1bac, seq=0
2	13:36:45.133679	fe8d:7785:eaca::1	fe8d:7785:eaca::2	ICMPv6	70 Echo (ping) reply id=0x1bac, seq=0
3	13:36:46.133025	fe8d:7785:eaca::2	fe8d:7785:eaca::1	ICMPv6	70 Echo (ping) request id=0x1bac, seq=1
4	13:36:46.133832	fe8d:7785:eaca::1	fe8d:7785:eaca::2	ICMPv6	70 Echo (ping) reply id=0x1bac, seq=1
5	13:36:47.133189	fe8d:7785:eaca::2	fe8d:7785:eaca::1	ICMPv6	70 Echo (ping) request id=0x1bac, seq=2

Frame 1: 70 bytes on wire (560 bits), 70 bytes captured (560 bits)

Ethernet II, Src: 3c:07:54:6c:a2:29 (3c:07:54:6c:a2:29), Dst: 00:1f:a4:91:21:79 (00:1f:a4:91:21:79)

Internet Protocol Version 6, Src: fe8d:7785:eaca::2 (fe8d:7785:eaca::2), Dst: fe8d:7785:eaca::1 (fe8d:7785:eaca::1)

0110 = Version: 6

.... 0000 0000 = Traffic class: 0x00000000

.... 0000 0000 0000 0000 0000 = Flowlabel: 0x00000000

Payload length: 16

Next header: ICMPv6 (58)

Hop limit: 64

Source: fe8d:7785:eaca::2 (fe8d:7785:eaca::2)

Destination: fe8d:7785:eaca::1 (fe8d:7785:eaca::1)

[Source GeoIP: Unknown]

[Destination GeoIP: Unknown]

Internet Control Message Protocol v6

Type: Echo (ping) request (128)

Code: 0

Checksum: 0x6ec1 [correct]

Identifier: 0x1bac

0000 00 1f a4 91 21 79 3c 07 54 6c a2 29 86 dd 60 00y<.Tl)...
0010 00 00 00 10 3a 40 fe cd 77 85 ea ca 00 00 00 00@..w.....
0020 00 00 00 00 00 02 fe cd 77 85 ea ca 00 00 00 00w.....
0030 00 00 00 00 00 01 80 00 6e c1 1b ac 00 00 51 bfn....Qo
0040 da cd 00 02 06 c9

En la captura anterior podemos ver solicitudes y respuestas ICMPv6 entre ambas direcciones IP.

d. Direccionamiento público (Global Unicast 2000::/3):

Cuando presentamos este tema en el punto 3.3. de este artículo, desarrollamos todo este rango, explicamos en detalle como se conforman estas direcciones y cerramos esos párrafos con la siguiente CONCLUSIÓN importante:

Cuando “vemos” una IPv6 que comienza por “2” (h) sin lugar a dudas es GLOBAL (es decir enrutable por todo Internet).

Mencionamos que IANA lleva el registro de cada rango que se va asignando en:

[IANA registry ipv6-unicast-address-assignments](http://www.iana.org/assignments/ipv6-unicast-address-assignments/ipv6-unicast-address-assignments.xml) (<http://www.iana.org/assignments/ipv6-unicast-address-assignments/ipv6-unicast-address-assignments.xml>)

Dentro de estos registros existen ciertos segmentos de las direcciones que comienzan con “2” que se han asignado a diferentes “zonas” y “tarefas”, a continuación presentamos una captura dentro de ese rango para que podamos analizar:

1	19:56:21.947832	2001:0:5ef5:79fb:1cc0:da0:aabc:445d	2002:c8cc:265:c8cc:265	ICMPv6	90 Echo (ping) request id=0xf7da, seq=21860
2	19:56:22.752736	2001:0:5ef5:79fb:10cd:180e:b1a3:ba86	2002:c8cc:265:c8cc:265	ICMPv6	90 Echo (ping) request id=0x39d3, seq=45030
3	19:56:23.068519	2001:0:5ef5:79fb:10a6:1aec:a687:2050	2002:c8cc:265:c8cc:265	ICMPv6	90 Echo (ping) request id=0xb4b3, seq=44146

▶	Frame 1: 90 bytes on wire (720 bits), 90 bytes captured (720 bits)
▶	Ethernet II, Src: 00:27:0d:84:4c:90 (00:27:0d:84:4c:90), Dst: 00:0d:88:ee:7f:f2 (00:0d:88:ee:7f:f2)
▶	Internet Protocol Version 4, Src: 94.245.121.222 (94.245.121.222), Dst: 200.204.2.101 (200.204.2.101)
▶	Internet Protocol Version 6, Src: 2001:0:5ef5:79fb:1cc0:da0:aabc:445d (2001:0:5ef5:79fb:1cc0:da0:aabc:445d), Dst: 2002:c8cc:265:c8cc:265 (2002:c8cc:265:c8cc:265)
▶	Internet Control Message Protocol v6

Como se puede apreciar, se trata de un diálogo entre dos direcciones “Unicast Global” (que hemos recuadrado en rojo) que es el objetivo de esta captura:

☼ Fuente: **2001:0:5ef5.....**

☼ Destino: **2002:c8cc....**

Pero llama la atención que previo a IPv6 aparezca “Internet Protocol Version 4” con direcciones origen y destino de cuatro octetos..... donde la dirección destino la hemos recuadrado en verde y es:

☼ Destino (IPv4): **200.204.2.101**

Si analizamos la tabla de [IANA registry ipv6-unicast-address-assignments](#) que presentamos en el desarrollo, podemos ver estos dos rangos IPv6 origen y destino. En ambos casos se trata de metodologías de “encapsulamiento o Túnel”. El primero de ellos es justamente un modelo de túnel que se llama “Teredo” y como podemos ver lo define la **RFC-4380**, y el segundo “6to4” es la forma de transmitir IPv6 sobre IPv4 regulado por la **RFC-3056**. Ambos casos los trataremos en detalle en el futuro artículo sobre “Encapsulamiento y túneles en IPv6” y por esa razón es que no hemos querido tratarlo en el presente, sólo presentando esta captura como un ejemplo de direccionamiento “Unicast Global” con esta particularidad. Abajo podemos ver las dos líneas de los registros de IANA en las que figuran estos rangos.

Prefix	Design.	Date	Whois	Status	Note
2001:0000::/23	IANA	1999-07-01	whois.iana.org	ALLOC	[RFC2928]. 2001:0000::/32 is reserved for TEREDO [RFC4380]. 2001:0002::/48 is reserved for Benchmarking [RFC5180]. 2001:10::/28 is reserved for ORCHID [RFC4843].
2002:0000::/16	6to4	2001-02-01		ALLOC	2002::/16 reserved for 6to4 [RFC3056]. [IANA registry iana-ipv6-special-registry].

Sobre lo que merece la pena detenernos, pues es parte de este artículo, es en esta dirección destino, que en cierta forma sí está cumpliendo con un método que hemos presentado al principio de este texto, y es la representación de una IPv4 al final de una dirección IPv6 que tal cual mencionamos en el punto 3.1. existen tres formas de representarla, una de ellas es justamente esta:

x:x:x:x:x:x.d.d.d.d

Si analizamos la IPv4 destino, esta es: **200.204.2.101**

Si analizamos la IPv6 destino, esta es: **2002:c8cc:265:c8cc:265**

Comencemos de atrás hacia delante:



265 (h) = 02(h) y 65(h) → que en binario es: 0000 0010 y 0110 0101

c8cc (h) = c8(h) y cc(h) → que en binario es: 1100 1000 y 1100 1100

Para pasar de hexadecimal (que opera sobre “cuartetos”) a valores IP expresados en decimal (que opera sobre “octetos”), como es natural, se “juntan” ambos cuartetos formando un “octeto” y se considera su peso posicional respecto a los ocho bits (no respecto a: cuatro y cuatro), abajo ponemos el caso de ejemplo en concreto:

1	2	3	4	5	6	7	8	Bits
8	4	2	1	8	4	2	1	Peso en hexadecimal
0				2				octeto (h)
0	0	0	0	0	0	1	0	
128	64	32	16	8	4	2	1	Peso como “octeto”
						2		
2								2 En decimal
1	2	3	4	5	6	7	8	Bits
8	4	2	1	8	4	2	1	Peso en hexadecimal
6				5				octeto (h)
0	1	1	0	0	1	0	1	
128	64	32	16	8	4	2	1	Peso como “octeto”
	64	32			4		1	
64+32+4+1 = 101								101 En decimal
1	2	3	4	5	6	7	8	Bits
8	4	2	1	8	4	2	1	Peso en hexadecimal
C				8				octeto (h)
1	1	0	0	1	0	0	0	
128	64	32	16	8	4	2	1	Peso como “octeto”
128	64			8				
128+64+8 = 200								200 En decimal
1	2	3	4	5	6	7	8	Bits
8	4	2	1	8	4	2	1	Peso en hexadecimal
C				c				octeto (h)
1	1	0	0	1	1	0	0	
128	64	32	16	8	4	2	1	Peso como “octeto”
128	64			8	4			
128+64+8+4 = 204								204 En decimal

Por lo que podemos ver entonces, que los últimos valores en hexadecimal de la IPv6: **c8cc:265**, están representando en decimal la dirección IPv4: **200.204.2.101**.

