

## Apuntes (internos) de Teoría sobre IPv6

Los siguientes esquemas documentan lo que se explica del protocolo en la clase de IPv6. Están armados en base al Curso IPv6 Básico de LACNIC.

La práctica está documentada en **Clase Teórico-Práctica de Protocolo IPv6 (presencia)** y **TP - Protocolo IPv6 (a distancia)**.

La idea es iniciar con:

- Introducción al protocolo,
- Formato de la pdu, encabezado, opcionales,
- Direccionamiento (link-local, global),
- Autoconfiguración (estático, dinámico, slaac, dhcp6),
- Protocolos auxiliares (ICMPv6 como reemplazo de ARP, neighbour discovery, router advertisement)
- DNS sobre IPv6 (registros AAAA y consultas sobre IPv6)

### Definición del protocolo IPv6

- Soluciones paliativas a la escasez de direcciones IPv5
  - CIDR (Prefijo/Máscara)
  - DHCP (Asignación dinámica)
  - NAT + RFC 1918 (Privadas)
- Desafíos
  - Escalabilidad
  - Seguridad
  - Configuración y administración de red
  - Soporte QoS
  - Movilidad
  - Políticas de ruteo
  - Transición
- 1992 Creación del grupo IPng
- 1998 IPv6 RFC 2460
  - 128 bits para direccionamiento
  - Cabezal base simplificado
  - Cabezales de extensión
  - Identificador de flujo de datos (QoS)
  - Mecanismos de IPSec incorporados al protocolo
  - Fragmentación y reensamblado en extremos
  - No requiere de uso de NAT
    - \* Permite la enumeración de todos los dispositivos en el planeta
  - Mecanismos que facilitan la configuración de la red

### Mecanismos de Transición

- Transición y coexistencia con IPv4
  - No compatibles entre sí
  - Estrategias de transición
    - \* En orden de preferencia!
    - \* IPv6 nativo: cabecera IPv6 nativa desde origen hasta destino

- Puede ser dual-stack o sólo-ipv6
- \* Túneles: encapsulan una versión de IP en otra
- \* Traducción: necesaria para comunicar dos hosts que hablan sólo una versión y tales son diferentes entre sí

### Cabecal Básico IPv6

- Cabecera básica IPv6
  - IPv6 es una evolución de IPv4, pero con un header simplificado
  - Cabecera alineada a 64 bits (vs 32 de IPv4) por performance en x64
  - Longitud fija de 40 bytes (de la cabecera básica)
  - Campos
    - \* Versión
    - \* Traffic Class (QoS) = ToS en IPv4
    - \* Flow label (QoS) de 20 bits
    - \* Payload length
    - \* Next Header = Protocol en IPv4
    - \* Hop Limit = TTL en IPv4
    - \* Source Address de 128 bits (16 bytes)
    - \* Destination Address de 128 bits (16 bytes)
  - Cambios respecto de IPv4
    - \* Pasa de 12 a 8 campos
    - \* Elimina el campo de tamaño variable Options -> ahora el header es de tamaño fijo
      - Se reemplaza por headers de extensión
    - \* Elimina el campo IHL o Header-Len pues la cabecera es de tamaño fijo
    - \* Elimina el checksum en capa 3 pues se considera redundante (existe en capa 2, en 4 en el caso de TCP, y generalmente en aplicación)
    - \* Mueve los campos relacionados con fragmentación (Identification, Flags y Fragment-Offset) a un encabezado de extensión.
  - Ventajas
    - \* Simplificado, tamaño fijo y alineado a 64 bits
      - Mejor performance en routers y mejor escalabilidad
      - Se descarga complejidad en el core de la red (routers) y se traslada al borde (extremos): fragmentación, reensamblado.
    - \* Elimina funcionalidades redundantes y no necesarias
      - Checksum y Header-Length
    - \* Campo específico para QoS: Flow label
- Cabeceras de extensión IPv6
  - Añaden funcionalidad a la capa IP, haciendola flexible
  - Limitadas y ordenadas. Usadas a lo sumo una vez (excepto Destination)
  - (IPv6)
    - Hop-by-Hop (procesado por cada router)
    - Destination (procesado por routers en el header de extensión Routing)
    - Routing (lista los routers por los cuales debe atravesar)
    - Fragmentation (procesado en destino)
    - Authentication (IPSec, procesado luego de ensamblar el paquete)
    - ESP (IPSec, permite cifrar la información restante)
    - Destination (procesado sólo por el destino)
    - (Upper Layer / Payload)

- La mayoría de las cabeceras de extensión se procesan en el destino

### Características generales de IPv6

- **Notación de direcciones IPv6**

- Espacio de direcciones
  - \* 128 bits de direccionamiento =  $2^{128}$
  - \*  $3.4 \times 10^{38}$  direcciones
- Reglas de notación de direcciones
  - \* 8 grupos de 16 bits separados por dos puntos “:”
  - \* Notación hexadecimal de cada nibble (4 bits)
  - \* Sin distinción entre mayúsculas y minúsculas
- Reglas de compresión
  - \* Ceros a la izquierda de cada grupo se pueden comprimir
  - \* Uno o más grupos con todos ceros se pueden cambiar por “::” pero sólo una vez en toda la dirección.
    - Es decir, no puede haber dos “::” pues da lugar a ambigüedades
- Para especificar dirección y puerto, usar corchetes
  - \* Ej: `http://[2001:db8::10]:8080/`

- **Prefijos**

- Siguen la notación CIDR al igual que en IPv4 (prefijo/longitud)
- Se pueden aplicar las reglas de compresión recién vistas
- Los bits que exceden el prefijo pueden utilizarse para subnetting

- **Tipos de direcciones**

- Unicast (uno-a-uno)
  - \* Link-local (tienen sentido sólo en el enlace de capa 2) ( `fe80::/10` )
  - \* Unique-local o ULA (tienen sentido sólo en una org) ( `fc00::/7` )
  - \* IPv4-mapped ( `::ffff:IPv4/128` )
  - \* Global o GUA ( `2000::/3` ) (Binario 0010)
  - \* Obsoletas:
    - Site-local ( `fec0::/10` )
    - IPv4-compatible ( `::IPv4/128` )
- Multicast (uno-a-varios) ( `ff00::/8` )
- Anycast (uno-al-más-cercano) (toma direcciones del espacio unicast)
- No hay direcciones broadcast -> son un tipo particular de multicast conocidas
  - \* `ff02::1` o `ff02::2`
- Reservadas
  - \* Mecanismos de transición
  - \* Documentación ( `2001:db8::/32` )
  - \* Loopback ( `::1/128` ) = 127.0.0.1
  - \* No especificado ( `::/128` ) = 0.0.0.0

- **Direcciones Link-local**

- Válida sólo en un enlace de capa 2
- Siempre presente en una interfaz con IPv6 activado
- En la práctica se usa el prefijo `fe80::/64`
- La Interface ID (los 64 bits de menor peso) se genera localmente en el host, a partir de la MAC, o bien aleatoriamente o mediante otros mecanismos.

- **Direcciones Unique-local o ULA**

- Prefijo `fc00::/7`

- \* **fc01** si el prefijo es asignado localmente
- **fc00** debe definirse en el futuro (RFC 4193), pero en la práctica se utiliza para prefijos asignados centralmente.
- Luego sigue un global ID de 40 bits que es generado pseudo-aleatoriamente, dando lugar a un prefijo /48 que normalmente comienza con **fd00::/8** (?)
- Direcciones multicast
  - Prefijo **ff00::/8**
  - Luego siguen 4 bits de flags utilizados para routing y servicios multicast
  - Luego siguen 4 bits que definen el alcance o scope
    - \* 1: interface-local (host)
    - \* 2: link-local (capa 2)
    - \* 4: admin-local
    - \* 5: site-local
    - \* 8: organization-local
    - \* E: global
  - Finalmente siguen los 112 bits que identifican al grupo multicast
  - Sustituyen las direcciones broadcast de IPv4
- Direcciones multicast conocidas
  - **ff01::1**, **ff02::1** -> todos los nodos en el ámbito del host (1) o en el ámbito del enlace (2).
  - **ff01::2**, **ff02::2**, **ff05::2** -> todos los routers en nodo (1), en el enlace (2) o en el sitio (5).
  - Dirección Solicited Node (SN) multicast a partir de la unicast
    - \* Si la dirección termina en **XY:ZTUV** la SN es **ff02::1:ffXY:ZTUV**
  - Cada nodo IPv6 debe unir la dirección SN a todas sus direcciones unicast y anycast.
- Identificadores de Interfaz (IID)
  - IID (Interface ID) son los 64 bits finales que identifican los hosts en una LAN
  - Se pueden crear de muchas maneras
    - \* Usando direcciones MAC de las interfaces (EUI-64)
    - \* Automáticamente mediante algún algoritmo (aleatorio RFC 4941)
    - \* Manualmente
    - \* Mediante DHCPv6
  - Idea Importante:
    - \* El prefijo de red en una LAN será /64, siendo ésta la unidad mínima que se manejará en planes de numeración / direccionamiento.
- Identificadores de Interfaz según EUI-64
  - IEEE define un mecanismo para crear una EUI-64 a partir de una dirección IEEE 802 MAC (Ethernet, FDDI)
  - El IID se obtiene modificando el EUI-64 en el bit "u" (Universal). Se pone 1 para indicar alcance universal y 0 para indicar alcance local.

24 bits	16 bits	24 bits	
x x x x x U G vendor	fffe	serial number	<- EUI
x x x x x 1 G vendor	fffe	serial number	<- IID

1 2 3 4 5 6 7 8

## Planes de numeración

- Longitudes de prefijo IPv6
  - Cualquier LAN con varios hosts -> /64
  - Direcciones loopback -> /128
  - Punto a punto entre operador y CPE usuario -> /64
  - Punto a punto entre dos routers -> /64
  - Prefijo delegado a usuarios finales -> /48
  - Preferentemente se delega un prefijo estático
  - Tener en cuenta previsiones de crecimiento

### Autoconfiguración - Protocolos asociados

- Introducción
  - Diferencias vs IPv4
  - Desaparecen las direcciones de Broadcast, siendo reemplazadas por direcciones Multicast
  - Deja de utilizarse ARP, siendo reemplazado por NDP
  - Mayor utilización de ICMPv6, que da soporte a NDP, MLD y MIPv6 (Mobile IPv6)
- ICMPv6
  - Cuidado con el filtrado de mensajes! ICMPv6 es fundamental para el correcto funcionamiento del protocolo IPv6.
- Path MTU Discovery
  - MTU = Maximum Transmission Units
    - \* Link MTU: máximo número de bytes que puede poseer el paquete IP, según el tamaño máximo del payload de la capa de enlace.
    - \* Path MTU: mínimo link-mtu desde origen hasta destino
  - En IPv6, el Link-MTU mínimo es 1280 bytes (en IPv4 era 68 bytes)
  - Importante en IPv6 pues:
    - \* El proceso de fragmentación cambia: sólo puede fragmentar el origen y se requiere de una cabecera de extensión.
    - \* El encapsulado es frecuente: el overhead reduce el MTU disponible
  - Path MTU Discovery para IPv6 está definido en la RFC 1981
    - \* Descubre de forma proactiva el Path-MTU del camino en base al envío de paquetes mayores de 1280 bytes comenzando desde el primer salto.
    - \* A medida que circula un paquete, si arriba a un router que lo debe cursar por un enlace cuya MTU es menor, el router descarta el paquete y remite al origen un mensaje ICMPv6 Packet-too-big, indicando la MTU del enlace menor.
    - \* Al recibir este paquete, el origen fragmenta el paquete original (que tenía almacenado por las dudas?), en pedazos que no exceden la MTU informada, teniendo en cuenta además el espacio ocupado por la cabecera de fragmentación.
- **NDP (Neighbor Discovery Protocol)**
  - Servicios provistos por el protocolo en una LAN
    - \* Descubrimiento de routers, prefijo de red y parámetros de red
    - \* Autoconfiguración
    - \* Address Resolution = ARP en IPv4
    - \* DAD (Duplicate Address Detection)
    - \* NUD (Neighbor Unreachability Detection)
  - Utilizado para comunicaciones host-host y router-host en una misma LAN
  - Mensajes
    - \* NS (Neighbor Solicitation)

- \* NA (Neighbor Advertisement)
- \* RS (Router Solicitation)
- \* RA (Router Advertisement)
- \* Redirect = Redirect en IPv4
- **Neighbor Solicitation**
  - Enviado por un host para resolver la dirección MAC de un vecino
    - \* Dirección destino en capa 3: Multicast Solicited Node (Address Resolution = ARP IPv4)
  - Enviado por un host para comprobar alcanzabilidad/reachability de un vecino
    - \* Dirección destino en capa 3: Dirección IP unicast del host
- **Neighbor Advertisement**
  - Enviado como respuesta a un NS
  - Enviado para propagar rápidamente (Unsolicited) nueva información, tal como la adición de un nodo a la red.
- **Router Solicitation**
  - Enviado por un host al levantar una interfaz de red
    - \* Dirección destino en capa 3: Multicast conocida por todos los routers
- **Router Advertisement**
  - Enviado por un router como respuesta a un RS
  - Periódicamente para informar/refreshar los parámetros de red
- MLD (Multicast Listener Discovery)
  - Utilizado en una LAN para que los routers descubran los "listeners" multicast en la red.
  - Equivalente a IGMP en IPv4
  - Todos los hosts (routers o no) implementan y utilizan MLD
- **Autoconfiguración**
  - Es la toma de parámetros de red
  - Manual
    - \* el administrador establece las direcciones en forma estática (idem IPv4)
  - Autoconfiguración
    - \* En IPv4 sólo existe DHCP
    - \* En IPv6
      - Stateless o SLAAC (StateLess Address Auto-Configuration)
      - Stateful o DHCPv6

### Autoconfiguración Stateless (SLAAC)

- Autoconfiguración Stateless
  - StateLess Address Auto-Configuration (SLAAC)
  - Mecanismo automático para configurar parámetros de red en hosts de una LAN
  - El router manda: envía RAs indicando cómo deben autoconfigurarse los hosts
  - El Default Gateway se aprende por RA o bien manualmente
- Mensajes Router Advertisement
  - Mensaje ICMPv6
  - Type: 134 - Code: 0
- **Ejemplo**
  1. Host A se conecta a una red con router IPv6
  2. A partir de la dirección MAC de su propia interfaz, genera un EUI-64 por ejemplo, si la MAC address es **00:0e:0c:31:c8:1f** entonces genera el EUI-64 siguiente **020e:0cff:fe31:c81f**

3. Crea una dirección link-local anteponiendo el prefijo `fe80::` quedando `fe80::020e:0cff:fe31:c81f`
4. Antes de utilizar la dirección, comprueba mediante DAD que tal dirección no esté en otros hosts del enlace.
5. A continuación envía un mensaje RS a la dirección multicast conocida de todos los routers `ff02::2`
6. El router envía un mensaje RA que incluye la información de prefijo, la información DNS y los flags M y O en 0.
7. De esta manera el host entiende que debe utilizar la información del RA para configurar su propia dirección IP y parámetros.
8. Creará una dirección global a partir del prefijo recibido y en el identificador de interfaz colocará el generado localmente. Por ejemplo, si el prefijo es `2001:db8:1:1::/64`, la dirección final será `2001:db8:1:1:020e:0cff:fe31:c81f`
9. Hace nuevamente DAD para validar que la dirección no está repetida
10. Si todo sale bien, se queda con dicha dirección
11. Agrega la ruta por defecto `::/0` a través de la dirección IPv6 **link-local** del router, que ya conoce pues es el remitente del mensaje RA recibido.
12. Finalmente, configurará como servidor DNS la dirección IP recibida en el mensaje RA previo. De esta forma quedan todos los parámetros de red necesarios para una correcta operación del protocolo.

### Autoconfiguración Stateful (DHCPv6)

- Funcionamiento DHCPv6
  - Misma idea que en DHCPv4 (cliente-servidor, UDP, uso de relay opcional)
  - Se dice que es *stateful* pues usualmente el servidor DHCP guarda el estado de la asignación de direcciones (cuando se realizó, por cuanto tiempo, a qué host, etc).
  - Puertos utilizados: 546 (clientes), 547 (servidores y relays)
  - DHCPv6 *Stateless*: puede utilizarse una versión *stateless* para proveer otros parámetros a los hosts (p.ej. DNS), salvo la dirección IP.
    - \* En este caso no necesita almacenar estado de transacciones.
  - Cambian los nombres de mensajes: Solicit, Advertise, Request, Reply
- Funcionamiento DHCPv6 (II)
  - Cliente envía Solicit a servidor/multicast (?)
  - Servidor responde con Advertise ofreciendo dirección IP
  - Cliente envía Request de IP
  - Servidor asigna IP con Reply
  - Puede utilizarse un Relay (opera como intermediario reenviando mensajes)
  - Usualmente si la configuración es mediante DHCPv6, el Router Advertisement tiene los flags M = O = 1 (configurar dirección IP y otros parámetros).
- Diferencias con DHCPv4
  - DHCPv6 **NO** proporciona información sobre el default gateway
    - \* Los hosts lo(s) descubren mediante Router Advertisements o manualmente
  - Servidores escuchan en direcciones Multicast conocidas
    - \* `ff02::1:2` - All\_DHCP\_Relay\_Agents\_and\_Servers: servidores y relays son miembros de este grupo. Desde el Cliente al Servidor/Relay.
    - \* `ff05::1:3` - All\_DHCP\_Servers: servidores son miembros de este grupo. Usada por Relays o Servidores, para comunicarse con el resto de los servidores o bien porque no se conoce la dirección Unicast de alguno.
  - DHCPv6 utiliza DUID (DHCP Unique ID) en vez de direcciones MAC. Cada servidor y

cada cliente tienen un DUID (en la v4 se utilizaban direcciones MAC).

- Ejemplo (I)
  1. Host se conecta a la red, genera una dirección IPv6 link-local con prefijo **fe80::** a partir de su dirección MAC.
  2. Host hace DAD para validar que no existe otro utilizando su dirección link-local
  3. Host envía RS a la dirección multicast conocida de todos los routers **ff02::2**
  4. El router responde mediante RA con M = O = 1, indicando al host que debe utilizar DHCPv6 para configurar tanto IP como otros parámetros.
  5. Sucesión de mensajes Solicit / Advertise / Request / Reply entre el cliente y el servidor o relay.
    - El Solicit se envía a la dirección multicast **ff02::1:2**
  6. En el Reply, el host recibe los datos para autoconfigurarse (dirección IP y uno o más DNS, al menos).
  7. El default gateway se asigna automáticamente a partir del Router Advertisement recibido en el punto 4.
- Puntos a tener en cuenta
  - SLAAC se basa en que el RA envía el prefijo de red, pero el IID lo crea el host de manera autónoma.
    - \* No es posible saber a priori la dirección que tendrá el host.
    - \* Reduce el control central sobre la red.
  - DHCPv6 no anuncia ruta por defecto (a diferencia de DHCPv4)
    - \* Se obtiene automáticamente por RAs o se establece en forma manual.
  - Verificar el soporte en las implementaciones (p.ej. no en todas está soportada la configuración de DNS mediante RAs e incluso en algunos Sistemas Operativos no hay cliente DHCPv6 por defecto).