

TOPIC 1: Internet Architecture & Addressing

- 1- *A partir de la figura siguiente, explica la arquitectura de Internet y los distintos elementos que participan en dicha arquitectura, así como, el modelo general de negocio de dicha arquitectura.*

En un **primer nivel** se encuentran los ISP (Internet Service Provider) como proveedores de servicios a través de las redes que ofrecen conectividad a los usuarios finales, en dichas redes, existen relaciones de negocio (privadas) con el resto de ISPs y puntos de intercambio neutros (público). Los ISPs proporcionan servicio a otros ISPs, pc, dial-ups, etc. En el **segundo nivel**, el acceso a los servicios de internet es a través de la red acceso, se realiza por una operador de red (telco). Por **último**, encontraríamos a los usuarios finales que contractan el acceso a Internet a una telco.

- 2- *Explica para que sirve una CDN (Content Distribution Network) y explica su funcionamiento.*

Una red de distribución de contenidos es una red de computadoras que contienen copias de datos, colocados estratégicamente en varios puntos geográficos con el fin de reducir el tiempo de respuesta a los clientes y la pérdida de información, moviendo el contenido de la información más cerca de los usuarios.

El funcionamiento consistiría en lo siguiente:

- Se cuenta con un servidor de origen y un conjunto de servidores sustitutos para replicar el contenido.
- Los usuarios envían la request al servidor original.
- El servidor original les devuelve el index básico y reenvía el request al CDN.
- Se seleccionan los objetos que completan el contenido, y se contacta con los servidores de réplica para que envíen a los clientes estos objetos que faltan.
- Se mantiene el contenido entre el origen y los servidores sustitutos y se asegura consistencia.
- Hay registros de los accesos de los clientes y los registros de uso de los servidores.
- Ayuda a la presentación de informes de tráfico y facturación basada en el uso.

TOPIC 1: Internet Architecture & Addressing

3- Un cliente quiere acceder a un servicio (e.g. una página Web estática) que reside en un servidor de una red corporativa en Internet. Explica qué mecanismos/soluciones puede utilizar el propietario de la página Web para mejorar el acceso a dicho servicio. Explica qué técnicas puede implementar un ISP para mejorar el servicio que puede dar a sus clientes cuando quieren acceder a dicho servicio. Explica qué mecanismo incorpora HTTP para mejorar el acceso a contenido Web.

- El propietario de la web puede recurrir a tres opciones para reducir el tiempo de respuesta, entre otras cosas:
 - CDN: una red de distribución de contenidos que alberga partes de la web en distintos servidores de réplica del contenido.
 - Web farm: es un conjunto de servidores que ofrece balanceo de carga y mejores condiciones para la disponibilidad del contenido.
 - Mirror: servidores distribuidos geográficamente que contienen una copia de la web. Son útiles si cae el servidor principal.
- Un ISP puede recurrir a:
 - Proxy caché: almacena una copia del contenido más visitado y responde más rápidamente reduciendo el tiempo de respuesta.
 - CDN: una red de distribución de contenidos que reduzca el delay.
- El mecanismo incorporado por HTTP se llama 'Web caching' y consiste en crear una caché que almacena copias de documentos web y responde a los requests de los usuarios para reducir el tiempo de descarga y el ancho de banda consumido. Esta caché puede estar en el navegador, la cual es privada y sólo aplica a un usuario, puede estar a cargo del servidor y responder a varios usuarios, o pueden ser compartidas cuando están en proxys.

4- Define que es un SLA (Service Level Agreement). Indica aquellos parámetros que normalmente pueden formar parte de un SLA. ¿Qué ocurre si el ISP no cumple con alguno de los parámetros que aparecen en el SLA? ¿Y si es el usuario o red corporativa?

Es un acuerdo escrito entre un cliente y el ISP en el cual el proveedor se compromete a cumplir las condiciones escritas de dicho servicio en cuanto a aspectos tales como el tiempo de respuesta, entre fallos..., disponibilidad, throughput en hora punta, ancho de banda, redundancia, seguridad, etc. En el caso de que el ISP no cumpla alguno de esos parámetros hay escritas unas pautas de compensación, o en caso contrario, de sanción al cliente.

TOPIC 1: Internet Architecture & Addressing

5- ¿Qué es un Sistema Autónomo (AS)? ¿Qué diferencia hay entre usar inter-domain e intra-domain routing en un AS? Explica los tipos de relaciones que tienen los AS's.

Un Sistema Autónomo (AS) es un grupo de redes IP con una política de rutas propia e independiente. Cada AS realiza su propia gestión del tráfico que fluye entre él y los restantes Sistemas Autónomos que forman Internet. Se asigna a cada AS, un número (ASN) que lo identifica de manera única a sus redes dentro de Internet. Hay dos tipos de protocolos de enrutamiento entre AS's.

- EGP (Protocolos de Gateway Exterior): define la política de intercambio de rutas entre AS's; el principal protocolo utilizado sería BGP.
- IGP (Protocolos de Gateway Interior): define el camino óptimo dentro de un ISP, y interconecta un AS; destacan protocolos como RIP o OSPF.

Sus tipos de relaciones entre AS's son:

- Proveedor a cliente (el proveedor ofrece tránsito al cliente)
- Cliente a proveedor (necesita del proveedor para tener tránsito)
- Par a par de no tránsito (los AS se comparten las rutas de sus propios clientes pero no de sus peers ni proveedores)
- Par a par con tránsito (los AS se comparten todas las rutas).

6- Explica el rol y misión que tienen los RIR en la arquitectura de Internet. Indica cuantos y que RIR's operan. Explica el rol que tienen los LIR en la arquitectura de Internet. Indica que relación hay entre un AS (Autonomous System) y un RIR y entre un AS y un LIR.

Un RIR (Regional Internet Registry) es una organización independiente que define las reglas con que opera Internet dentro una región particular del mundo. Existen 5 y están distribuidos de forma geográfica, siendo divididos así: ARIN (Norteamérica), LACNIC (Sudamérica), AfriNIC (África), APNIC (Asia y Región Pacífica), y por último RIPE NCC (Europa, Oriente Medio y Asia Central).

Un LIR (Local Internet Register) son cada uno de los miembros de un RIR, suelen ser organizaciones como ISP, empresas o instituciones académicas... tienen asignado un ASN y un bloque de direcciones IP que asignan a sus clientes, y que les fueron dadas desde el RIR al cual pertenecen.

Un Sistema Autónomo (AS) es un grupo de redes IP con una política de rutas propia e independiente. Cada AS realiza su propia gestión del tráfico que fluye entre él y los restantes Sistemas Autónomos que forman Internet. Se asigna a cada AS, un número (ASN) que lo identifica de manera única a sus redes dentro de Internet. Los números de Sistemas Autónomos son asignados en bloques por la IANA a RIRs, y estos los pasan a los LIRs, que los acaban

TOPIC 1: Internet Architecture & Addressing

distribuyendo a los ISPs, así como los bloques de direcciones. Las entidades que quieren recibir un número de sistema autónomo deben llenar un formulario ante el RIR correspondiente y ser aprobados antes de que se le asigne el número de sistema autónomo.

7- Explica qué rol tienen en Internet cada una de las siguientes organizaciones: UPC, CAIDA, RIPE, Euro-IX, IANA, Jazztel.

UPC: Es una institución académica, por lo que se trataría de una red corporativa conectada a la telecom que le brinda sus servicios.

CAIDA: Es una organización sin ánimo de lucro que investiga la escalabilidad de la estructura de Internet.

RIPE: Se trata de un foro asociado a RIPE NCC, uno de los cinco RIR, en concreto el que está asociado a la zona geográfica de Europa, Asia Central y Oriente Medio. En este foro de participación abierta, la comunidad discute sobre la gestión del RIR y votan las medidas propuestas por quien desee aportar nuevas ideas, si alguna es aprobada, se lleva al RIPE NCC y todos los LIR discuten sobre estas para implementarlas o no.

Euro-IX: Es un punto neutro en el que otros puntos neutros de distintos países europeos intercambian información.

IANA: Es un organismo que gestiona los aspectos operacionales de los recursos de Internet tales como dominios DNS, ASNs, IPs.... Ejecuta las acciones o políticas definidas por ICANN.

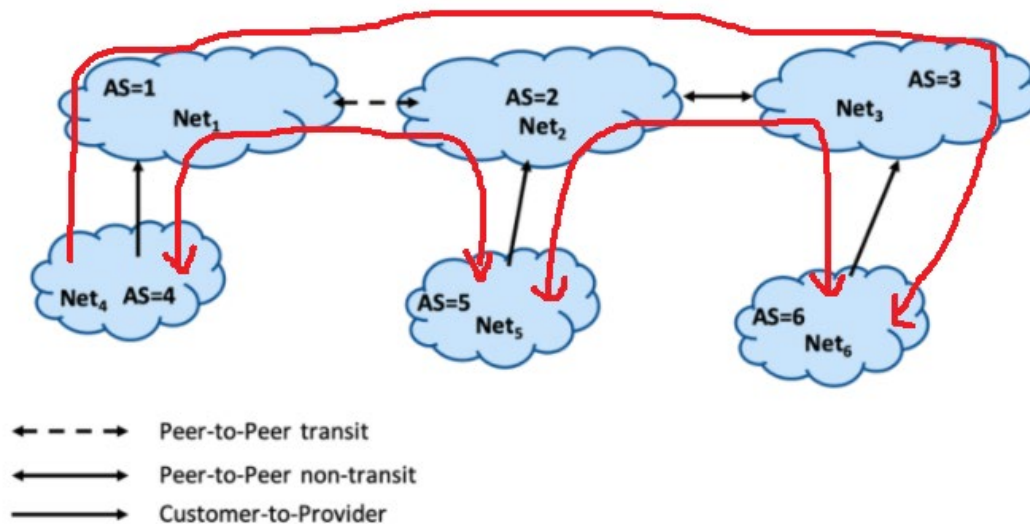
Jazztel: Sería un proveedor de servicios con clientes finales.

8- En una relación BGP, ¿Qué rutas anuncia un ISP cliente a su proveedor?, ¿Y el proveedor a su cliente? ¿Y de par a par de transito? ¿Y de par a par de no-transito?

Un cliente anunciaría al proveedor las rutas de las AS que son sus clientes, pero no de otros proveedores ni peers. Un proveedor, sin embargo, pasaría al cliente todas las rutas externas a él, ninguna hacia alguno de sus clientes. El par a par de transito consistiría en pasar de una AS a otra sus rutas conocidas a excepción de las de los clientes del par. El par a par de no tránsito consiste en que dos AS compartan sus rutas y la de sus clientes pero no los de sus peers y proveedores.

TOPIC 1: Internet Architecture & Addressing

- 9- Explica de forma justificada qué redes recibe cada uno de los 6 sistemas autónomos de la figura. ¿Podría enviarse un paquete desde un host cliente de la red Net4 a un host-servidor de la red Net6? ¿y desde un host cliente de la red Net6 a un host servidor de la red Net4?



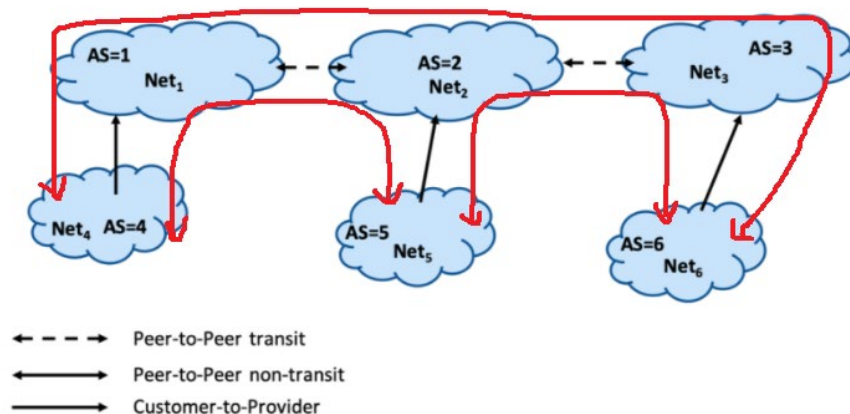
AS=1 y por ende AS=4 reciben todas las rutas de AS=2, tanto las clientes como las de AS=3.

AS=2 y AS=5 reciben las rutas de AS=1 y su cliente, al igual que de AS=3.

AS=3 y AS=6 reciben únicamente la ruta del cliente de AS=2.

Por tanto, sí hay transición de Net4 a Net6, pero no de Net6 a Net4.

- 10- Explica de forma justificada qué redes recibe cada uno de los 6 sistemas autónomos de la figura. ¿Podría enviarse un paquete desde un host cliente de la red Net4 a un host servidor de la red Net6? ¿y desde un host cliente de la red Net6 a un host servidor de la red Net4?



AS=1 y por ende AS=4 reciben todas las rutas de AS=2, tanto las clientes como las de AS=3.

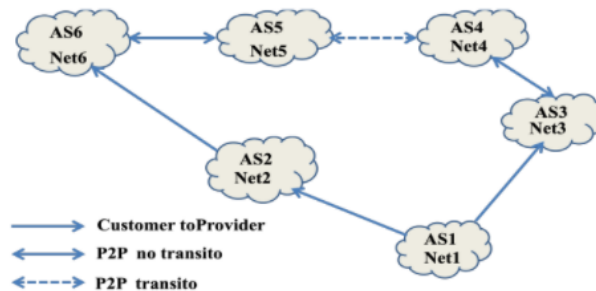
AS=2 y AS=5 reciben las rutas de AS=1 y su cliente, al igual que de AS=3.

TOPIC 1: Internet Architecture & Addressing

AS=3 y AS=6 reciben la ruta del cliente de AS=2 y las de AS=1.
Por tanto, sí hay transición de Net4 a Net6, y también de Net6 a Net4.

11- Rellena las tablas de encaminamiento BGP de los Sistemas Autónomos AS4, AS5 y AS6 correspondiente a la siguiente figura, de acuerdo a las relaciones de peering que tienen. Cada tabla tiene que tener el formato:

Tabla de ASj		
	Red	AS path vector
Ejemplo de una entrada	Net a Net b,	ASw ASx ASy ASz donde ASw tiene que ser un vecino de ASj y ASz el propietario de la red Net a.



	AS1	AS2	AS3	AS4	AS5	AS6
N1	X	AS1	AS1	AS3, AS1 AS5,AS6,AS2,AS1	AS4, AS3, AS1 AS6,AS2,AS1	AS2, AS1
N2	AS2	X	X	AS5, AS6, AS2	AS6, AS2	AS2
N3	AS3	X	X	AS3	AS4, AS3	X
N4	AS3, AS4	X	AS4	X	AS4	X
N5	AS2,AS6,AS5	AS6, AS5	X	AS5	X	AS5
N6	AS2, AS6	AS6	X	AS5, AS6	AS6	X

12- (i) En una relación BGP de peer-to-peer de no transito, ¿Qué rutas anuncia un ISP a su par?, ¿Y si la relación es de transito (sibling)?(ii) Rellena las tablas de encaminamiento BGP de los Sistemas Autónomos AS4, AS5 yAS6 correspondiente a la siguiente figura, de acuerdo a las relaciones de peering que tienen. Cada tabla tiene que tener el formato.

TOPIC 1: Internet Architecture & Addressing

- (i) Las rutas de sus clientes.
Su tabla de rutas entera excepto los clientes del par.

(ii)

	AS1	AS2	AS3	AS4	AS5	AS6	AS7
N1	X	AS1	AS1	AS3, AS1 AS7, AS2, AS1	AS6, AS2, AS1	AS2, AS1	AS2, AS1
N2	AS2	X	AS4, AS7, AS2	AS7, AS2	AS6, AS2	AS2	AS2
N3	AS3	AS7, AS4, AS3	X	AS3	X	X	AS4, AS3
N4	AS3, AS4	AS7, AS4	AS4	X	AS4	AS5, AS4	AS4
N5	X	AS7, AS4, AS5	X	AS5	X	AS5	AS5
N6	AS2, AS6	AS6	X	X	AS6	X	X
N7	AS2, AS7	AS7	AS4, AS7	AS7	AS6, AS2, AS7	X	X

- 13-** Explica qué representa el Cono de Clientes (“Customer Cone”) respecto a las direcciones IPv4 y los AS y para que se utiliza. Ilústralo con un ejemplo. ¿Qué diferencia hay entre el cono de clientes de un AS y su grado en la representación mediante un grafo donde los vértices son los AS’s y las aristas son las relaciones entre AS’s?

El Cono de clientes representa el grado de influencia según el porcentaje de clientes que tiene un AS en Internet. Las aristas son relaciones entre AS’s y los conos son el dominio de cada AS (sus AS y direcciones y prefijos IP). Los peers están al mismo nivel mientras que los proveedores se encuentran por encima de los clientes.

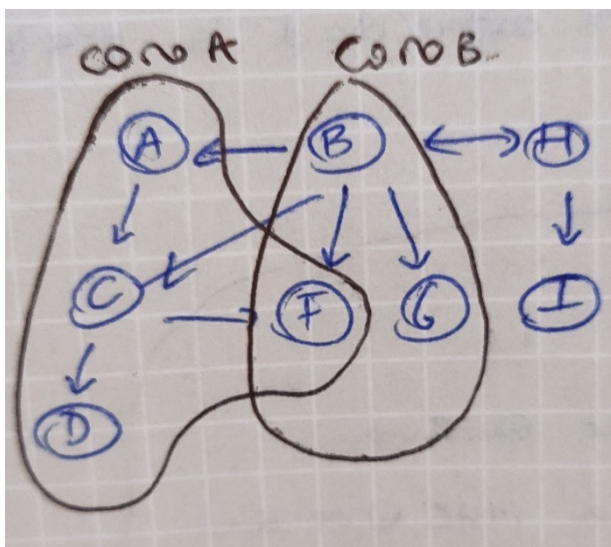
Si tratáramos de representar las relaciones de un AS en un grafo, no sería posible representar este grado de influencia y en consecuencia, no habría diferencia entre los tipos de relaciones (cliente-proveedor o proveedor-proveedor).

TOPIC 1: Internet Architecture & Addressing

- 14- Define e indica qué representa el cono de clientes ("Customer Cone") respecto a las direcciones IPv4 y los AS. Dibuja una nueva figura respecto a la figura de abajo, con el nuevo cono de clientes si (i) A y B (A es proveedor de B) cambian su relación a "A y B tienen una relación de peer to peer", (ii) A y B (A es proveedor de B) cambian su relación a "B es proveedor de A". Indica cual es el "peering cone size ratio" para el AS(B) en el caso de la figura y en los casos (i) y (ii).

(orig.) $CC(A) = 6$; $CC(B) = 4$; $PCSR = 3/6$

(i)

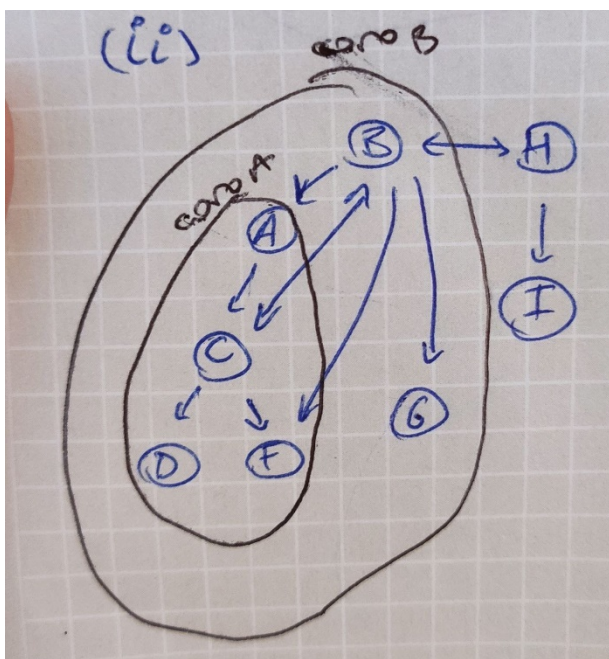


$$CC(A) = 6 \rightarrow CC(A) = 4$$

$$CC(B) = 3 \rightarrow CC(B) = 3$$

$$PCSR = \min(x,y)/\max(x,y) = 3/6 = \frac{1}{2} \rightarrow \frac{3}{4}$$

(ii)



$$CC(A) = 4$$

$$CC(B) = 6$$

$$PCSR = 4/6 = \frac{2}{3}$$

TOPIC 1: Internet Architecture & Addressing

15- a) Explica cómo funciona el mecanismo de opciones de IPv6, b) Da ejemplos de las opciones IPv6 y de cómo se organizan, c) Explica justificadamente si es más eficiente usar IPv6 en un router que usar IPv4 y si influye y como el usar opciones en los rendimientos.

- a) En el header de la dirección IPv6 no hay espacio para poner tantos bits como opciones hay, por lo que para ahorrar todo ese espacio hay un único campo, el next-header, que es un puntero que apunta a la cabecera de una de las opciones, cada una de las cuales cuenta con su propia cabecera.
- b) Estas cabeceras tienen un número y pueden añadirse varias, una tras otra hasta la Upper Layer, la última. Algunas de las opciones son ESP, que permite encriptar los datos para una comunicación segura, AH, que contiene información para verificar la autenticidad del paquete, o fragmentación, que contiene parámetros para fragmentar los datagramas.
- c) La @IPv6 tiene menos campos y una longitud fija por lo que es más eficiente tratarla, aunque hoy en día los routers tienen la capacidad de tratar ambos tipos de direcciones a la misma velocidad, por lo que ya no afecta en la eficiencia. En cuanto a las opciones, antes todos los routers debían procesar todos los headers opcionales con IPv4, pero gracias al mecanismo de next-header ahora sólo procesan los que van dirigidos a ellos.

16- Explica qué es un punto neutro y quién lo compone. Explica qué es la matriz de peering de un punto neutro. ¿Qué condiciones hay que cumplir para ser miembro de un punto neutro?

Un punto neutro es una infraestructura física en la que convergen diferentes ISPs que intercambian tráfico entre sus redes. La matriz de peering se utiliza para representar los participantes del punto neutro que intercambian información entre sí. Para ser miembro de un punto neutro hay que tener un AS registrado en un RIR.

17- Explica las diferencias entre las direcciones PA (Provider Aggregatable) y PI (Provider Independent). ¿Qué ventaja desde el punto de vista de encaminamiento proporciona el uso de direcciones PA a los ISP's? ¿Puede un RIR asignar redes IPv4 /22 del tipo PI? Justifica tu respuesta.

Las direcciones Provider Aggregatable son direcciones que quedan libres para reasignar si el dominio del cliente desaparece. Este ha de devolver el bloque de direcciones y su nuevo ISP le asigna uno nuevo. Pueden agregarse mediante protocolos de enrutamiento. Son registradas por el LIR.

Las direcciones Provider Independent están asignadas a clientes finales sin posibilidad de ser liberadas, sino que son portables, por lo que suele asignarse a instituciones, etc. No pueden ser agregadas por protocolos de enrutamiento. Sólo pueden pedir las al RIR a través del ISP, y este las registra.

TOPIC 1: Internet Architecture & Addressing

La ventaja para un ISP de asignar direcciones PA es que recupera la información de enrutamiento cuando los clientes abandonan el dominio del proveedor, de forma que puede volver a reasignarla.

Un RIR no puede asignar redes de tipo PI puesto que son direcciones asignadas al cliente final a través del LIR, al cual el RIR le pasa el bloque de direcciones.

18- Explica cómo se puede crear una dirección IPv6 a partir de un prefijo de red. ¿Y si disponemos de una dirección IPv4?

La dirección se compone de un prefijo de red y el host ID. Para crear este hostID habría que pasar a binario la dirección MAC e invertir el 7º bit, además, habría que completar de 48 a 64 bits añadiendo la constante fffe en el medio, luego ya sólo quedaría añadir delante el prefijo de red dado.

Para convertirlo a partir de una IPv4 se añadirían al principio 80 bits a 0 y 16 bits a 1, logrando así una dirección de 128 bits.

19- Explica la diferencia entre las direcciones IP global/site/local en IPv6. Explica la diferencia entre direccionamiento “Stateful” y “Stateless” en IPv6.

Direcciones IP:

- Global: es una dirección con alcance global (a internet).
- Site: es una dirección con alcance dentro de la intranet, dentro de una red corporativa.
- Link local: alcance que solo alcanza un router, solo se puede comunicar con los dispositivos de la red.

Direccionamiento:

Un stateless significa que el prefijo de red se obtiene desde el router, por lo que el host lo necesita para configurar el enlace.

Un stateful significa que disponemos de un servidor DHCP que nos da el prefijo de red y la información adicional.

20- Explica cómo se organiza un prefijo IPv6 para que pueda ser utilizado por distintas organizaciones (e.g. Tier-1, Tier-2 y una red corporativa).

El prefijo global IPv6 (64b) se divide en tres campos, el identificador del TopLevelAggregator (21b) que indica el ISP, el proveedor más grande, el NextLevelAggregator (24b) que indica el proveedor del nivel inferior, y por último el SiteLevelAggregator (16b) que indica la red corporativa.

TOPIC 1: Internet Architecture & Addressing

21- Explica brevemente en qué consiste el “neighbor discovery” de IPv6 y explica dos mecanismos que hacen uso de dicho mecanismo.

El NDP es el protocolo equivalente al ARP en IPv4, permite resolver obtener información de red y autoconfigurar direcciones. Las direcciones conocidas de la red se almacenan en el neighbor cache. El protocolo utiliza mensajes ICMPv6 y define 5 tipos de paquetes:

- Router Solicitation: el host se comunica con el router.
- Router Advertisement: el router lo envía para notificar su presencia o para contestar al host con parámetros de internet.
- Neighbor Solicitation: es una petición entre nodos para determinar una dirección o verificar la ruta.
- Neighbor Advertisement: se usan entre nodos para responder a la solicitud.
- Redirect: lo envía un router para indicar a un host un first hop router mejor.

Dos mecanismos que utilizan este mismo son DHCPv6 y la autoconfiguración stateless, por ejemplo.

22- Explica la diferencia entre el mapeo de direcciones IP con MAC's en IPv4 e IPv6.

En IPv4 se utiliza el mecanismo ARP, que es de nivel 2 (enlace), y envía peticiones en broadcast para encontrar a quien busca, que le responde en unicast con sus parámetros y le hace saber su MAC. Este mecanismo utiliza ICMP.

Puesto que en IPv6 no se implementa broadcast, se utiliza neighbor discovery, de nivel 3. El host que quiere resolver una MAC envía un Neighbor Solicitation con @IP multicast y la IP destino en el target address del paquete ICMP. Cuando el servidor responde con el Advertisement lo hace en unicast a la @IP que le contactó, y pone su MAC en el target link address de las opciones del paquete ICMP.

TOPIC 1: Internet Architecture & Addressing

- 23- Si tenemos un terminal con dirección IPv4=12.5.5.4 y MAC 05:07:14:ab:ff:04, indica cuál sería su dirección IPv6 link-local, una dirección global IPv6 con prefijo 02ab::/64, y una dirección global IPv6 a partir de la dirección IPv4.

El **prefijo** de link local es fe80::\64. El resto de la @ sería el **hostID** que se saca al procesar la MAC.

1. Link local → fe80::0707:14ff:feab:ff04
2. Global → 02ab::0707:14ff:feab:ff04
3. Global a partir de IPv4 → 0::ffff:x::x

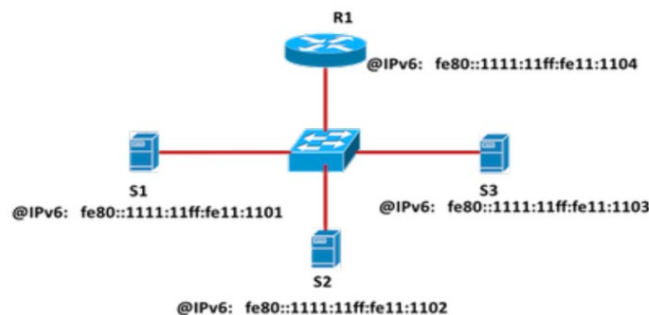
Se pasa la IP a hexadecimal y se añaden 80 ceros y 16 unos.

$$x1(12.5).(5.4)x2 = (00001100) (00000101)$$

$$x1 = 0C05 \quad x2 = 0504$$

$$\rightarrow 0::ffff:c05:504$$

- 24- Tenemos una red como la figura. El servidor S2 quiere hacer una petición al servidor S3 y su cache de resolución de direcciones (Neighbor cache) MAC-IPv6 está vacía. El servidor S1 envía un Neighbor Discovery (ND) y el S3 responde. Indica la dirección MAC origen y destino de ambos mensajes, así como las direcciones IPv6 y el contenido de las direcciones IPv6target del mensaje ND.



- a) S1 -> S3
@IPs1= fe80::1111:11ff:fe11:1101

S1 -> NDP

N.solicitation:

@IPsource: fe80::1111:11ff:fe11:1101 link local

@IPdest: fe02::1111:ff11:1103 multicast

ICMPv6 -> N.solicitation

Target address = @IPv6s3

S3 -> N.advertisement

@IPsource: @IPv6s3

@IPdest: @IPv6s1

Target link address = MACs3 = 12:11:11:11:11:03