Universidad Rey Juan Carlos

E.T.S. Ingeniería de Telecomunicación

Redes de Ordenadores para Robots y Máquinas Inteligentes

Práctica 1

Autor:
Javier Izquierdo Hernández

February 10, 2024

Contenidos

1 Funcionamiento básico de IPv6

Para la realización de los siguientes ejercicios es necesario descomprimir el fichero IPv6-lab.tgz que descargarás de la siguiente página:

https://mobiquo.gsyc.urjc.es/practicas/ror/p1.html

Al descomprimir este fichero se generará un directorio IPv6-lab con los archivos de configuración de esta práctica necesarios para NetGUI.

Al arrancar NetGUI, debes abrir el escenario definido dentro del directorio IPv6-lab. Este escenario es el que se muestra en la figura 1.

1.1 Autoconfiguración de direcciones IPv6 *(link-local)*

Para empezar arranca únicamente pc1.

1. Indica cuál es la dirección IPv6 link-local que se ha configurado en pc1, y su relación con su dirección Ethernet.

   - Dirección IPv6 link-local: fe80::214:23ff:feaa:d111/64
   - Ethernet: 00:14:23:aa:d1:11

   El 00 se convierte en 02, luego se añaden los 4 siguientes bytes 14 23. Luego en la dirección ip se añade ff fe y por último los 6 últimos bytes aa d1 11.

2. Indica a qué dirección IPv6 multicast de nodo solicitado pertenece pc1.
   ff02::1:ffaa:d111

Arranca tcpdump en pc1 para que capture paquetes y guarda la captura en el fichero ipv6-01.cap. Arranca pc2.

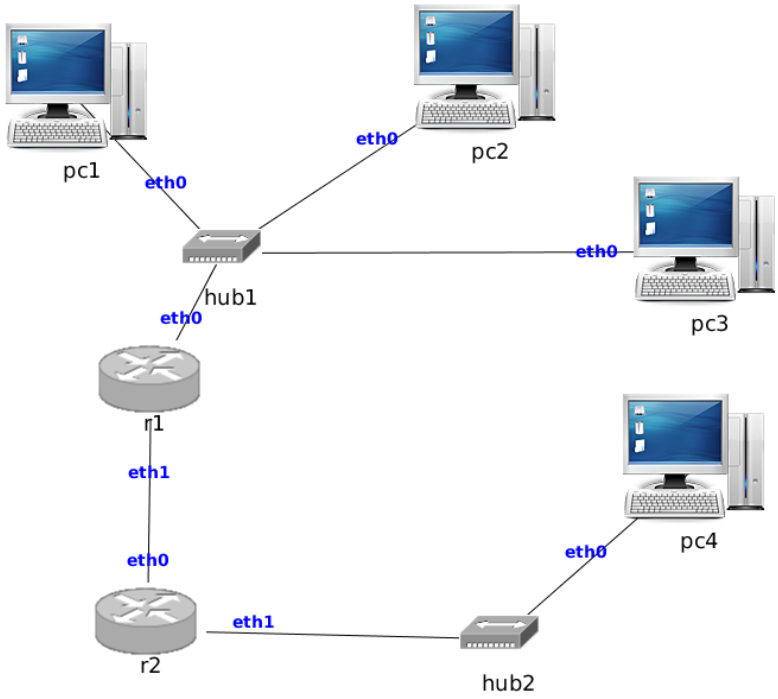


Figure 1.1: Escenario de IPv6

3. Indica cuál es la dirección IPv6 link-local que se ha configurado en pc2, y su relación con su dirección Ethernet.

   - Dirección IPv6 link-local: fe80::214:23ff:feaa:d122/64
   - Ethernet: 00:14:23:aa:d1:22

   El 00 se convierte en 02, luego se añaden los 4 siguientes bytes 14 23. Luego en la dirección ip se añade ff fe y por último los 6 últimos bytes aa d1 22.

4. Indica a qué dirección IPv6 multicast de nodo solicitado pertenece pc2.
   ff02::1:ffaa:d122

5. Interrumpe la captura que estabas realizando en pc1. Carga la captura en wireshark y localiza el mensaje enviado por pc2 que indica que pc2 está detectando si existen direcciones IPv6 duplicadas con su dirección link-local.

```
2 0.000394      ::                      ff02::1:ffaa:d122     ICMPv6      78 Neighbor Solicitation for fe80::214:23ff:feaa:d122
```

6. Fíjate en las direcciones IPv6 y en las direcciones Ethernet que lleva este mensaje. Explica si la máquina pc1 recibe y procesa ese mensaje (aunque no responda).

   No responde ni procesa el mensaje ya que la dirección Ethernet de destino es 33:33:ff:aa:d1:22 que no corresponde con la dirección Ethernet multicast de pc1.

7. Localiza los mensajes ICMPv6 Multicast Listener Report e indica cuál crees que es su propósito.

1	0.000000	::	ff02::16	ICMPv6	90 Multicast Listener Report Message v2
2	0.000394	::	ff02::1:ffaa:d122	ICMPv6	78 Neighbor Solicitation for fe80::214:23ff:feaa:d122
3	0.996950	fe80::214:23ff:feaa:d122	ff02::2	ICMPv6	70 Router Solicitation from 00:14:23:aa:d1:22
4	2.401914	fe80::214:23ff:feaa:d122	ff02::16	ICMPv6	90 Multicast Listener Report Message v2
5	4.995118	fe80::214:23ff:feaa:d122	ff02::2	ICMPv6	70 Router Solicitation from 00:14:23:aa:d1:22
6	8.997411	fe80::214:23ff:feaa:d122	ff02::2	ICMPv6	70 Router Solicitation from 00:14:23:aa:d1:22

8. Explica los mensajes ICMPv6 Router Solicitation que observas en la captura y explica su contenido y su propósito.

   El pc2 intenta encontrar un router para conseguir su dirección ipv6 global y como no hay uno encendido pc2 seguirá enviando mensajes a la dirección multicast de todos los routers.

1	0.000000	::	ff02::16	ICMPv6	90 Multicast Listener Report Message v2
2	0.000394	::	ff02::1:ffaa:d122	ICMPv6	78 Neighbor Solicitation for fe80::214:23ff:feaa:d122
3	0.996950	fe80::214:23ff:feaa:d122	ff02::2	ICMPv6	70 Router Solicitation from 00:14:23:aa:d1:22
4	2.401914	fe80::214:23ff:feaa:d122	ff02::16	ICMPv6	90 Multicast Listener Report Message v2
5	4.995118	fe80::214:23ff:feaa:d122	ff02::2	ICMPv6	70 Router Solicitation from 00:14:23:aa:d1:22
6	8.997411	fe80::214:23ff:feaa:d122	ff02::2	ICMPv6	70 Router Solicitation from 00:14:23:aa:d1:22

Arranca tcpdump en pc1 para que capture paquetes y guarda la captura en el fichero ipv6-02.cap. Arranca pc3.

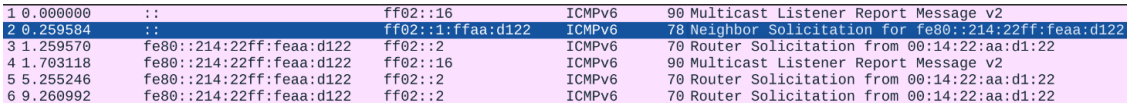
9. Indica cuál es la dirección IPv6 link-local que se ha configurado en pc3, y su relación con su dirección Ethernet.

   - Dirección IPv6 link-local: fe80::214:22ff:feaa:d122/64
   - Ethernet: 00:14:22:aa:d1:22

   El 00 se convierte en 02, luego se añaden los 4 siguientes bytes 14 22. Luego en la dirección ip se añade ff fe y por último los 6 últimos bytes aa d1 22.

10. Indica a qué dirección IPv6 multicast de nodo solicitado pertenece pc3.
    ff02::1:ffaa:d122

11. Interrumpe la captura que estabas realizando en pc1. Carga la captura en wireshark y localiza el mensaje enviado por pc3 que indica que pc3 está detectando si existen direcciones IPv6 duplicadas con su dirección link-local.



1	0.000000	::	ff02::16	ICMPv6	90 Multicast Listener Report Message v2
2	0.259584	::	ff02::1:ffaa:d122	ICMPv6	78 Neighbor Solicitation for fe80::214:22ff:feaa:d122
3	1.259570	fe80::214:22ff:feaa:d122	ff02::2	ICMPv6	70 Router Solicitation from 00:14:22:aa:d1:22
4	1.703118	fe80::214:22ff:feaa:d122	ff02::16	ICMPv6	90 Multicast Listener Report Message v2
5	5.255246	fe80::214:22ff:feaa:d122	ff02::2	ICMPv6	70 Router Solicitation from 00:14:22:aa:d1:22
6	9.260992	fe80::214:22ff:feaa:d122	ff02::2	ICMPv6	70 Router Solicitation from 00:14:22:aa:d1:22

12. Fíjate en las direcciones IPv6 y en las direcciones Ethernet que lleva este mensaje. Indica si las máquinas pc1 y/o pc2 reciben y procesan este mensaje (respondan o no).

    Si procesa el mensaje pc2 ya que la dirección Ethernet de destino es 33:33:ff:aa:d1:22 que se corresponde con la dirección Ethernet multicast de pc2. Y pc1 no recibe nada ya que su dirección Ethernet multicast es distinta.

13. Observa en la captura si pc1 o pc2 responden al mensaje enviado por pc3, y explica por qué.

    No responde pc2 porque la dirección Ipv6 del mensaje de Neighbor Solicitation es fe80::214:23ff:feaa:d122 que es distinta de la de pc2 que es fe80::213:22ff:feaa:d122.

1.2 Tráfico IPv6 entre 2 máquinas directamente conectadas

1. Comprueba con el comando route las rutas IPv6 que tiene configuradas las máquinas pc1, pc2 y pc3 y explica el significado de las mismas.
   Los 3 ordenadores tienen las mismas rutas configuradas pero variando el numero de segundos de *expire*.

   - fe80::/64 dev eth0 metric 256 expires -2025sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
   - ff00::/8 dev eth0 metric 256 expires -2025sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295

2. Ejecuta tcpdump en pc3 (guardando los paquetes en un fichero ipv6-03.cap) y realiza un ping6 desde pc1 a la dirección link-local de pc2.

3. Comprueba que funciona desde pc2 el ping6 a la dirección IPv6 multicast de nodo solicitado de pc1. Explica la respuesta que obtienes.

   Solo recibe una respuesta porque solo pc1 tiene esa dirección IPv6 multicast de nodo solicitado.

```
pc2:~# ping6 -I eth0 ff02::1:ffaa:d111
PING ff02::1:ffaa:d111(ff02::1:ffaa:d111) from fe80::214:23ff:feaa:d122 eth0: 56 data bytes
64 bytes from fe80::214:23ff:feaa:d111: icmp_seq=1 ttl=64 time=2.05 ms
64 bytes from fe80::214:23ff:feaa:d111: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.804 ms
64 bytes from fe80::214:23ff:feaa:d111: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.646 ms
64 bytes from fe80::214:23ff:feaa:d111: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.385 ms

--- ff02::1:ffaa:d111 ping statistics ---
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 3010ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.385/0.973/2.058/0.644 ms
```

4. Comprueba que funciona desde pc1 el ping6 a la dirección IPv6 multicast de nodo solicitado de pc2. Explica la respuesta que obtienes.

   Recibe dos respuestas porque tanto pc2 como pc3 tienen la misma dirección IPv6 multicast de nodo solicitado.

```
pc1:~# ping6 -I eth0 ff02::1:ffaa:d122
PING ff02::1:ffaa:d122(ff02::1:ffaa:d122) from fe80::214:23ff:feaa:d111 eth0: 56 data bytes
64 bytes from fe80::214:23ff:feaa:d122: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.361 ms
64 bytes from fe80::214:22ff:feaa:d122: icmp_seq=1 ttl=64 time=4.06 ms (DUP!)
64 bytes from fe80::214:22ff:feaa:d122: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.696 ms
64 bytes from fe80::214:23ff:feaa:d122: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.700 ms (DUP!)
64 bytes from fe80::214:23ff:feaa:d122: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.555 ms
64 bytes from fe80::214:22ff:feaa:d122: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.560 ms (DUP!)

--- ff02::1:ffaa:d122 ping statistics ---
3 packets transmitted, 3 received, +3 duplicates, 0% packet loss, time 2008ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.361/1.155/4.063/1.305 ms
```

5. Comprueba que funciona desde pc1 el ping6 a la dirección IPv6 multicast de todos los nodos del enlace. Explica la respuesta que obtienes.

   Recibe tres respuestas porque manda el ping a todos los nodos, es decir a pc1, pc2 y pc3.

```
pc1:~# ping6 -I eth0 ff02::1
PING ff02::1(ff02::1) from fe80::214:23ff:feaa:d111 eth0: 56 data bytes
64 bytes from fe80::214:23ff:feaa:d111: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.044 ms
64 bytes from fe80::214:22ff:feaa:d122: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.756 ms (DUP!)
64 bytes from fe80::214:23ff:feaa:d122: icmp_seq=1 ttl=64 time=4.92 ms (DUP!)
64 bytes from fe80::214:23ff:feaa:d111: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.209 ms
64 bytes from fe80::214:22ff:feaa:d122: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.657 ms (DUP!)
64 bytes from fe80::214:23ff:feaa:d122: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.661 ms (DUP!)

--- ff02::1 ping statistics ---
2 packets transmitted, 2 received, +4 duplicates, 0% packet loss, time 999ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.044/1.209/4.928/1.683 ms
```

6. Interrumpe la captura.

7. Localiza en la captura todos los mensajes de Neighbor Solicitation. Identifica en ellos qué máquina los envía, explica la causa por la que los envía. Fíjate en la dirección Ethernet de destino de dichos mensajes y explica su valor. ¿Qué máquinas recibirán cada uno de esos mensajes de *Neighbor Solicitation*?

   - Máquina de origen: pc1 ; Ethernet de destino: 00:14:23:aa:d1:22; Máquina de destino: pc2
   - Máquina de origen: pc2 ; Ethernet de destino: 00:14:23:aa:d1:11; Máquina de destino: pc1
   - Máquina de origen: pc3 ; Ethernet de destino: 33:33:ff:aa:d1:11; Máquina de destino: pc1
   - Máquina de origen: pc1 ; Ethernet de destino: 00:14:22:aa:d1:22; Máquina de destino: pc3
   - Máquina de origen: pc2 ; Ethernet de destino: 00:14:23:aa:d1:11; Máquina de destino: pc1
   - Máquina de origen: pc1 ; Ethernet de destino: 00:14:23:aa:d1:22; Máquina de destino: pc2

   Las direcciones Ethernet que empiezan por 00 son aquellas que los pc conocen para la dirección ipv6 de la máquina con la que quieren comunicarse, mientras que la qué es multicast (empieza por 33:33) será porque pc3 no conoze la dirección Ethernet real para pc1.

8. Comprueba que tras la realización del ping6, las direcciones Ethernet de máquinas vecinas que han aprendido pc1 y pc2, mostrando la información de su caché de vecinos. Observa cuándo la información contenida cambia de estado y/o desaparece.

NOTA: Ten en cuenta que la caché de vecinos de IPv6 en Linux tiene menor tiempo por defecto que la caché de ARP en IPv4. Prueba a utilizar watch -n 1 para repetir automáticamente el comando de consulta de la caché de vecinos, y repite el ping6 entre máquinas para ver mejor las transiciones entre estados.

Primero las direcciones son DELAY, unos 5 segundos después pasa a REACHABLE, otros 15 segundos después pasa a STALE, y por último en más o menos un minuto sin actualizarse desaparecen.

```
pc1:~# ip neigh show
fe80::214:23ff:feaa:d122 dev eth0 lladdr 00:14:23:aa:d1:22 REACHABLE
fe80::214:22ff:feaa:d122 dev eth0 lladdr 00:14:22:aa:d1:22 REACHABLE
```

```
pc2:~# ip neigh show
fe80::214:23ff:feaa:d111 dev eth0 lladdr 00:14:23:aa:d1:11 REACHABLE
```

9. Comprueba qué direcciones aprende pc3 en su caché de vecinos tras todo el tráfico anterior.

   Pc3 aprende la dirección de pc1.

```
pc3:~# ip neigh show
fe80::214:23ff:feaa:d111 dev eth0 lladdr 00:14:23:aa:d1:11 REACHABLE
```

1.3 Autoconfiguración de direcciones IPv6 globales

Arranca la máquina pc4, pero todavía no arranques los routers r1 y r2.

Los routers r1 y r2 tienen configurado en el protocolo ICMPv6 el envío de mensajes Router Advertisement. Nada más arrancar, estos routers mandan mensajes ICMPv6 Router Advertisement que contienen anuncios de los prefijos de subred a los que pertenecen sus interfaces. De esta forma, las máquinas que estén directamente conectadas a dichas interfaces podrán configurar su dirección IPv6 en función de los anuncios que reciban.

Arranca (en background) una captura en pc4 y guárdala en un fichero ipv6-04.cap.

1. Indica qué direcciones y rutas ha configurado pc4.

    - Dirección IPv6 link-local: fe80::214:23ff:feaa:d188/64
    - Dirección Ipv6 Multicast: ff02::1:ffaa:d188
    - Ethernet: 00:14:23:aa:d1:88
    - Rutas:
        - fe80::/64 dev eth0 metric 256 expires -253sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
        - ff00::/8 dev eth0 metric 256 expires -253sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295

Arranca r2.

2. Indica qué direcciones y rutas tiene ahora configuradas pc4.

    - Dirección IPv6 link-local: fe80::214:23ff:feaa:d188/64
    - Dirección IPv6 link-global: 2001:db8:300:300:214:23ff:feaa:d188/64
    - Dirección Ipv6 Multicast: ff02::1:ffaa:d188
    - Ethernet: 00:14:23:aa:d1:88
    - Rutas:
        - 2001:db8:300:300::/64 dev eth0 proto kernel metric 256 expires 57sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
        - fe80::/64 dev eth0 metric 256 expires -362sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
        - ff00::/8 dev eth0 metric 256 expires -362sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
        - default via fe80::214:23ff:feaa:d177 dev eth0 proto kernel metric 1024 expires 27sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 64

3. Interrumpe la captura en pc4 y explica los mensajes que observas en dicha captura. Fíjate en las direcciones IPv6 origen y destino de cada paquete. Explica el sentido del último mensaje que aparece en la captura que NO es un Router Advertisement.

    Los mensajes de la captura se pueden dividir en 3 partes, en la primera r2 se asigna una dirección ipv6 local, en la segunda una global y por último empieza a asignar direcciones ipv6 globales a todos los nodos conectados.
    En el último mensaje el router r2 se autoconfigura la ipv6 global enviandose un Neighbor solicitation a si mismo para esa ip.

4. Muestra las direcciones de vecinos aprendidas por r2 y pc4 y justifica tu respuesta.

   R2 no aprende ninguna dirección, ya que no ha recibido ningún mensaje, mientras que pc4 tiene aprendida la dirección del router pero esta en STALE porque no ha confirmado la dirección.

```
pc4:~# ip neigh show
fe80::214:23ff:feaa:d177 dev eth0 lladdr 00:14:23:aa:d1:77 router STALE
```

5. Indica los valores Valid Lifetime (valid lft) y Preferred Lifetime (preferred lft) de la dirección IPv6 global que se ha configurado en pc4. ¿De dónde los ha tomado pc4?. Relaciona estos valores con los intervalos entre mensajes Router Advertisement que se ven en la captura.

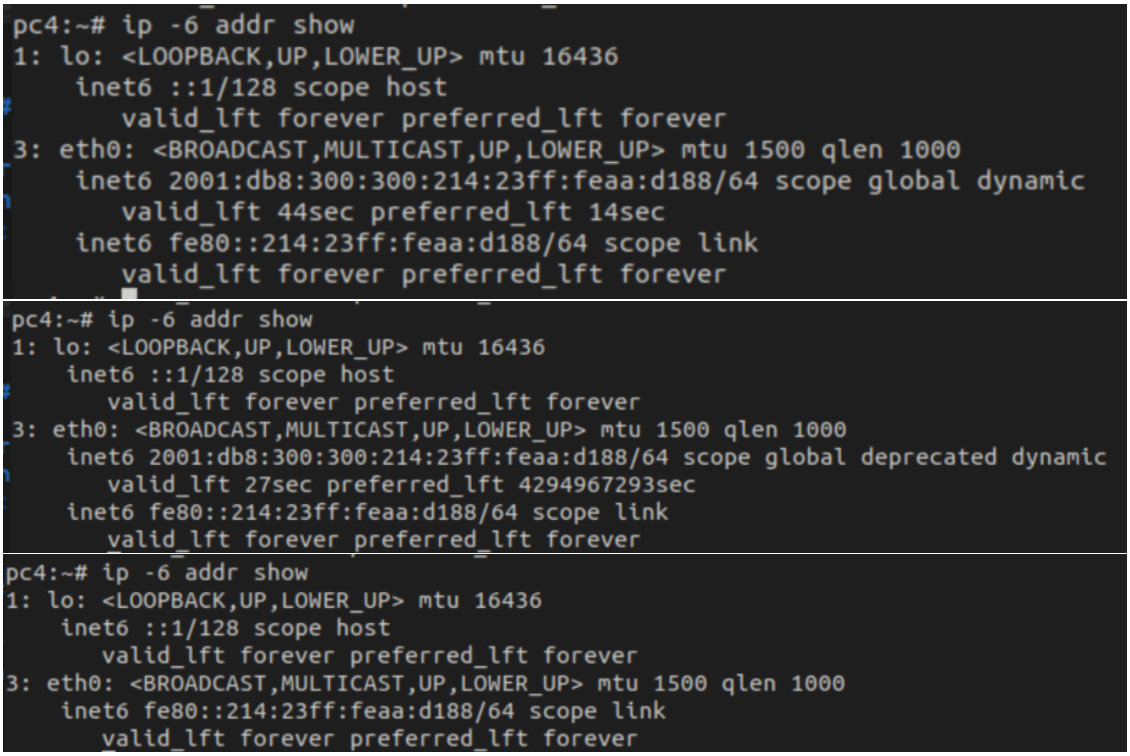
   El valor de Valid Lifetime y de Preferred Lifetime los toma del router que le da la dirección IPv6 global, y estos son 64 y 32 respectivamente. El intervalo de los Router Advertisement es de 4.5 segundos, y se puede apreciar que los valores anteriores se reinician cada aprox. 5 segundos, que es más o menos lo mismo que el intervalo.

6. Interrumpe la ejecución del demonio radvd en r2.

   Indica qué ocurre con los valores valid lft y preferred lft. en pc4. Indica también qué ocurre con la dirección IPv6 global que se había configurado en pc4, y en cuánto tiempo. Muestra las direcciones de vecinos aprendidas por pc4 y justifica tu respuesta.

   Ya no se restea el timer y al llegar a 60 seg se olvida como se puede apreciar en las siguentes imágenes.

```
pc4:~# ip -6 addr show
1: lo: <LOOPBACK,UP,LOWER_UP> mtu 16436
    inet6 ::1/128 scope host
       valid_lft forever preferred_lft forever
3: eth0: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 qlen 1000
    inet6 2001:db8:300:300:214:23ff:feaa:d188/64 scope global dynamic
       valid_lft 60sec preferred_lft 30sec
    inet6 fe80::214:23ff:feaa:d188/64 scope link
       valid_lft forever preferred_lft forever
```



Esto resulta en que las direcciones de vecinos desaparecen.

Inicia en r2 el protocolo Router Advertisement y arranca r1.

7. Indica qué direcciones IPv6 globales se han configurado en pc1, pc2 y pc3.

   - Pc1: 2001:db8:100:100:214:23ff:feaa:d111
   - Pc2: 2001:db8:100:100:214:23ff:feaa:d122
   - Pc3: 2001:db8:100:100:214:22ff:feaa:d122

8. Indica qué rutas IPv6 se han configurado en pc1, pc2 y pc3. Ejecuta repetidas veces en uno de los pcs el comando que visualiza las rutas y fíjate en lo que ocurre con el campo expires y trata de explicarlo. ¿De donde toma el pc ese valor?

   Cuando expire el valid_lft perderá la IPv6 global, ya que no sabe si esta es válida para comunicarse son otras redes, ya que el router que le conecta con

el exterior no se lo ha confirmado. El pc toma ese valor del router, y este es generado a partir de la dirección Ethernet.

```
pc1:~# ip -6 addr show && ip -6 route
1: lo: <LOOPBACK,UP,LOWER_UP> mtu 16436
    inet6 ::1/128 scope host
       valid_lft forever preferred_lft forever
3: eth0: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 qlen 1000
    inet6 2001:db8:100:100:214:23ff:feaa:d111/64 scope global dynamic
       valid_lft 58sec preferred_lft 28sec
    inet6 fe80::214:23ff:feaa:d111/64 scope link
       valid_lft forever preferred_lft forever
2001:db8:100:100::/64 dev eth0  proto kernel  metric 256  expires 57sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
fe80::/64 dev eth0  metric 256  expires -1346sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
ff00::/8 dev eth0  metric 256  expires -1346sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
default via fe80::214:23ff:feaa:d144 dev eth0  proto kernel  metric 1024  expires 27sec mtu 1500 advmss 1440 hopl
imit 64
```

```
pc2:~# ip -6 addr show && ip -6 route
1: lo: <LOOPBACK,UP,LOWER_UP> mtu 16436
    inet6 ::1/128 scope host
       valid_lft forever preferred_lft forever
3: eth0: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 qlen 1000
    inet6 2001:db8:100:100:214:23ff:feaa:d122/64 scope global dynamic
       valid_lft 51sec preferred_lft 21sec
    inet6 fe80::214:23ff:feaa:d122/64 scope link
       valid_lft forever preferred_lft forever
2001:db8:100:100::/64 dev eth0  proto kernel  metric 256  expires 51sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
fe80::/64 dev eth0  metric 256  expires -3644sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
ff00::/8 dev eth0  metric 256  expires -3644sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
default via fe80::214:23ff:feaa:d144 dev eth0  proto kernel  metric 1024  expires 21sec mtu 1500 advmss 1440 hopl
imit 64
```

```
pc3:~# ip -6 addr show && ip -6 route
1: lo: <LOOPBACK,UP,LOWER_UP> mtu 16436
    inet6 ::1/128 scope host
       valid_lft forever preferred_lft forever
3: eth0: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 qlen 1000
    inet6 2001:db8:100:100:214:22ff:feaa:d122/64 scope global dynamic
       valid_lft 60sec preferred_lft 30sec
    inet6 fe80::214:22ff:feaa:d122/64 scope link
       valid_lft forever preferred_lft forever
2001:db8:100:100::/64 dev eth0  proto kernel  metric 256  expires 59sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
fe80::/64 dev eth0  metric 256  expires -2247sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
ff00::/8 dev eth0  metric 256  expires -2247sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
default via fe80::214:23ff:feaa:d144 dev eth0  proto kernel  metric 1024  expires 29sec mtu 1500 advmss 1440 hopl
imit 64
```

9. Explica qué ocurre si haces un ping6 entre dos máquinas que no están directamente conectadas, por ejemplo, pc1 y pc4, o entre pc1 y r2. Para entenderlo consulta las rutas en las máquinas, y haz capturas en las interfaces que necesites.

   Si se hace ping desde pc1 a pc4 o a r2 no se consigue respuesta, porque r1 no tiene una ruta puesta para 2001:db8:300:300 y que r2 no tiene una ruta para 2001:db8:100:100.

```
pc1:~# ping6 2001:db8:300:300:214:23ff:feaa:d188
PING 2001:db8:300:300:214:23ff:feaa:d188(2001:db8:300:300:214:23ff:feaa:d188) 56 data bytes
From 2001:db8:100:100:214:23ff:feaa:d144 icmp_seq=1 Destination unreachable: No route
From 2001:db8:100:100:214:23ff:feaa:d144 icmp_seq=2 Destination unreachable: No route
From 2001:db8:100:100:214:23ff:feaa:d144 icmp_seq=3 Destination unreachable: No route
From 2001:db8:100:100:214:23ff:feaa:d144 icmp_seq=4 Destination unreachable: No route

--- 2001:db8:300:300:214:23ff:feaa:d188 ping statistics ---
4 packets transmitted, 0 received, +4 errors, 100% packet loss, time 3012ms

pc1:~# ping6 2001:db8:300:300:214:23ff:feaa:d177
PING 2001:db8:300:300:214:23ff:feaa:d177(2001:db8:300:300:214:23ff:feaa:d177) 56 data bytes
From 2001:db8:100:100:214:23ff:feaa:d144 icmp_seq=1 Destination unreachable: No route
From 2001:db8:100:100:214:23ff:feaa:d144 icmp_seq=2 Destination unreachable: No route
From 2001:db8:100:100:214:23ff:feaa:d144 icmp_seq=3 Destination unreachable: No route

--- 2001:db8:300:300:214:23ff:feaa:d177 ping statistics ---
3 packets transmitted, 0 received, +3 errors, 100% packet loss, time 2007ms

pc1:~# ping6 2001:db8:200:200:214:23ff:feaa:d166
PING 2001:db8:200:200:214:23ff:feaa:d166(2001:db8:200:200:214:23ff:feaa:d166) 56 data bytes

--- 2001:db8:200:200:214:23ff:feaa:d166 ping statistics ---
14 packets transmitted, 0 received, 100% packet loss, time 13059ms
```

10. Haz un ping desde pc1 a la IPv6 destino ff02::2. ¿Quién responde? Justifica la respuesta.

    Solo responde r1, ya que r2 no tiene una ruta configurada para responder a pc1 como he explicado anteriormente.

1.4 IPv6 entre 2 máquinas de subredes diferentes

Los pcs tienen configuradas rutas por defecto, pero los routers sólo tienen configurada ruta hacia máquinas vecinas. Como habrás comprobado en el apartado anterior, para que las máquinas de diferentes subredes puedan intercambiar tráfico es necesario añadir rutas en los routers.

1. Añade las rutas que consideres necesarias para que todas las máquinas de la figura puedan intercambiar tráfico entre ellas. Indica qué rutas has configurado.
   He añadido a r1 una ruta hacia 2001:db8:300:300::/64 via r2, y desde r2 una ruta hacia 2001:db8:100:100::/64 via r1.

```
r1:~# ip -6 route
2001:db8:100:100::/64 dev eth0  metric 256  expires -221sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
2001:db8:200:200::/64 dev eth1  metric 256  expires -220sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
fe80::/64 dev eth0  metric 256  expires -220sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
fe80::/64 dev eth1  metric 256  expires -219sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
ff00::/8 dev eth0  metric 256  expires -220sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
ff00::/8 dev eth1  metric 256  expires -219sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
r1:~# ip route add 2001:db8:300:300::/64 via 2001:db8:200:200:214:23ff:feaa:d166
r1:~# ip -6 route
2001:db8:100:100::/64 dev eth0  metric 256  expires -342sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
2001:db8:200:200::/64 dev eth1  metric 256  expires -342sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
2001:db8:300:300::/64 via 2001:db8:200:200:214:23ff:feaa:d166 dev eth1  metric 1024  expires -2sec m
tu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
fe80::/64 dev eth0  metric 256  expires -341sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
fe80::/64 dev eth1  metric 256  expires -341sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
ff00::/8 dev eth0  metric 256  expires -341sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
ff00::/8 dev eth1  metric 256  expires -341sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
```

```
r2:~# ip -6 route
2001:db8:200:200::/64 dev eth0  metric 256  expires -373sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
2001:db8:300:300::/64 dev eth1  metric 256  expires -373sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
fe80::/64 dev eth0  metric 256  expires -372sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
fe80::/64 dev eth1  metric 256  expires -372sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
ff00::/8 dev eth0  metric 256  expires -372sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
ff00::/8 dev eth1  metric 256  expires -372sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
r2:~# ip route add 2001:db8:100:100::/64 via 2001:db8:200:200:214:23ff:feaa:d155
r2:~# ip -6 route
2001:db8:100:100::/64 via 2001:db8:200:200:214:23ff:feaa:d155 dev eth0  metric 1024  expires -1sec m
tu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
2001:db8:200:200::/64 dev eth0  metric 256  expires -446sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
2001:db8:300:300::/64 dev eth1  metric 256  expires -446sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
fe80::/64 dev eth0  metric 256  expires -445sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
fe80::/64 dev eth1  metric 256  expires -445sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
ff00::/8 dev eth0  metric 256  expires -445sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
ff00::/8 dev eth1  metric 256  expires -445sec mtu 1500 advmss 1440 hoplimit 4294967295
```

2. Arranca un captura en alguna de las máquinas conectadas al hub1 y guárdala en un fichero ipv6-05.cap. Realiza un ping6 de pc1 a pc4 y otro de pc1 a la dirección global de la interfaz eth0 de r2. Interrumpe la captura y comprueba el fichero de captura. Observa las direcciones Ethernet e IP de los mensajes capturados, y el valor del hop limit.

   El hop limit solo varía en los Echo (ping), ya que en el resto siempre valen 255. En el primer ping el hop limit en el Echo request es 64 ya que pc1 está conectado al hub1 y en el reply es 62 porque tiene que pasar por 2 routers. En el segundo ping es igual salvo que en el reply solo pasa por un router, por lo tanto es 63.

   Luego en el resto de mensajes obviando los Router Advertisement y los Echo se puede ver que r1 pregunta a pc1 para confirmar su dirección ipv6 global.

2 Fragmentación en IPv6

Para analizar la cabecera de extensión para la fragmentación en IPv6 vamos a provocar que sea necesario fragmentar los datagramas IPv6.

En IPv6 sólo puede fragmentar la máquina que crea un datagrama y por tanto, no pueden fragmentar los routers intermedios que hay entre el origen y el destino (en IPv4 los routers intermedios sí pueden fragmentar). NOTA: Ten en cuenta que los tamaños de los fragmentos de IPv6 deben ser un múltiplo de 8 bytes, salvo el último (igual que en IPv4).

El valor de MTU por defecto en Ethernet es 1500 bytes (puedes comprobarlo con el comando ip -6 addr).

Realiza una captura de tráfico en r1(eth0) (fichero ipv6-06.cap) y en r2(eth0) (fichero ipv6-07.cap).

Ejecuta un ping6 desde pc1 a la dirección global de pc4 con la opción -s 2000 obligando a que los paquetes de ICMPv6 echo request tengan 2000 bytes de datos, provocando un tamaño de datagrama IPv6 mayor que la MTU de Ethernet.

Interrumpe las capturas y estúdialas.

1. Explica qué máquina ha fragmentado los datagramas y cómo sabe a qué tamaño máximo debe hacerlo.

   Los ha fragmentado los pc que mandan y reciben el Echo, y los han fragmentado al tamaño por defecto de datagrama máximo en Ethernet que es 1500.

2. Estudia los valores de las cabeceras Next Header cuando un datagrama se fragmenta, y trata de comprobar los tamaños de los fragmentos y el tamaño del datagrama original sin fragmentar que se quería enviar.

El valor de la cabecera Next Header cambia si tiene más fragmentos, esto se ve en el flag de More Fragments. Esta cabecer tiene un tamaño de 44 bits, con lo que al unirlo con el tamaño del primer datagrama obtenemos 1500, lo que es el máximo.
Y por último, para encontrar el tamaño original del datagrama solo sumamos las 2 partes y el resultado es 2024 bits.

Ahora vamos a modificar el valor de la MTU entre r1 y r2 para que sea 1304 bytes (en vez de los 1500 tipos de Ethernet). Para ello ejecuta el siguiente comando en r1 para modificar el valor de MTU en su interfaz eth1:

r1:~ # ip link set eth1 mtu 1304

Y ejecuta el siguiente comando en r2 para modificar el valor de MTU en su interfaz eth0:

r2:~ # ip link set eth0 mtu 1304

Realiza una captura de tráfico en r1(eth0) (fichero ipv6-08.cap) y en r2(eth0) (fichero ipv6-09.cap). Ejecuta un ping6 desde pc1 a la dirección global de pc4 con la opción -s 1400. Interrumpe las capturas y estúdialas.

3. Explica qué máquina ha fragmentado los datagramas y cómo sabe a qué tamaño debe hacerlo. Trata de comprobar los tamaños de los fragmentos y el tamaño del datagrama original sin fragmentar que se quería enviar.

   La máquina que fragmenta los datagramas es pc1. Primero envía el datagrama ip de 1408 bits de tamaño a lo que r1 responde con un mensaje diciendo a pc1 que el tamaño máximo es 1304, con lo que pc1 reenvía el mensaje fragmentándolo de manera adecuada.

4. Explica la diferencia que ves entre los 2 ficheros de capturas.

   Entre la captura 6 y la 8 la diferencia está en el mensaje que envía r1 a pc1 diciéndole que el datagrama es demasiado grande y que el tamaño máximo es 1304.

3 Túnel IPv6 in IPv4

Descomprime el laboratorio IPv6-tun-lab.tgz y carga el escenario dentro de NetGUI. Arranca de una en una todas las máquinas del escenario.
Observa en la figura 2 que hay 3 zonas diferenciadas en el escenario:

- Zona A - Zona IPv6: pc1, pc2 y r1.
- Zona B - Zona IPv4: r3, r4 y r5
- Zona C - Zona IPv6: r7, pc3 y pc4.

Para empezar Los routers r2 y r6 son routers que interconectan zonas diferentes. Estos routers se comunican por IPv4 en una de sus interfaces y por IPv6 en la otra. Son routers frontera que tienen la doble pila (IPv4 e IPv6) instalada. Las máquinas r4 y r5 sólo se comunican por IPv4, y el resto de máquinas (pc1, pc2, r1, r2, r7, pc3 y pc4) sólo se comunican por IPv6.

Todos los routers y máquinas tienen configuradas direcciones IP y rutas válidas para comunicarse con los nodos de su misma zona.

Si haces ping6 desde pc1 a pc3 observarás que no funciona. Ambas máquinas están utilizando IPv6, sin embargo, tienen que atravesar una zona que sólo está utilizando IPv4.

Para solucionar este problema vamos a configurar un Túnel IP punto a punto, metiendo los paquetes IPv6 que se generen en ambas zonas IPv6 dentro de paquetes IPv4. De esta forma, las máquinas IPv6 de diferentes zonas podrán comunicarse.

1. Indica qué routers crees que deberían ser los extremos del túnel IPv6 dentro de IPv4.

   Los routers en los extremos deberían ser r2 y r6.

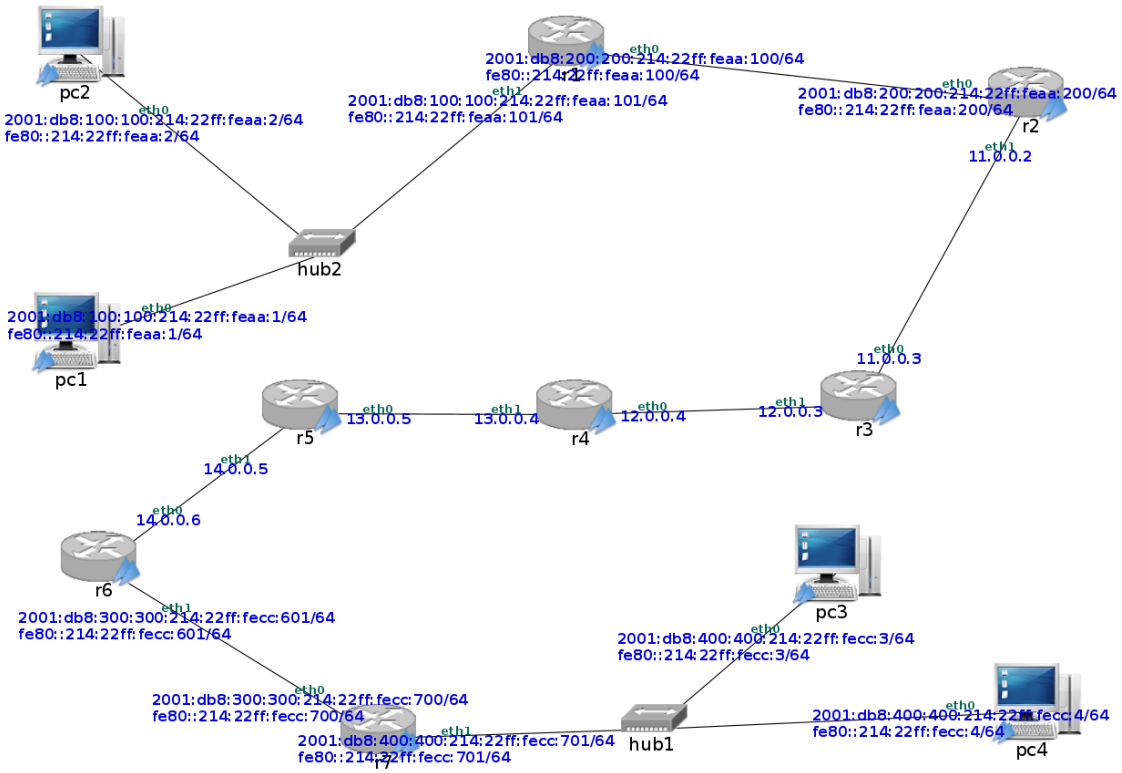


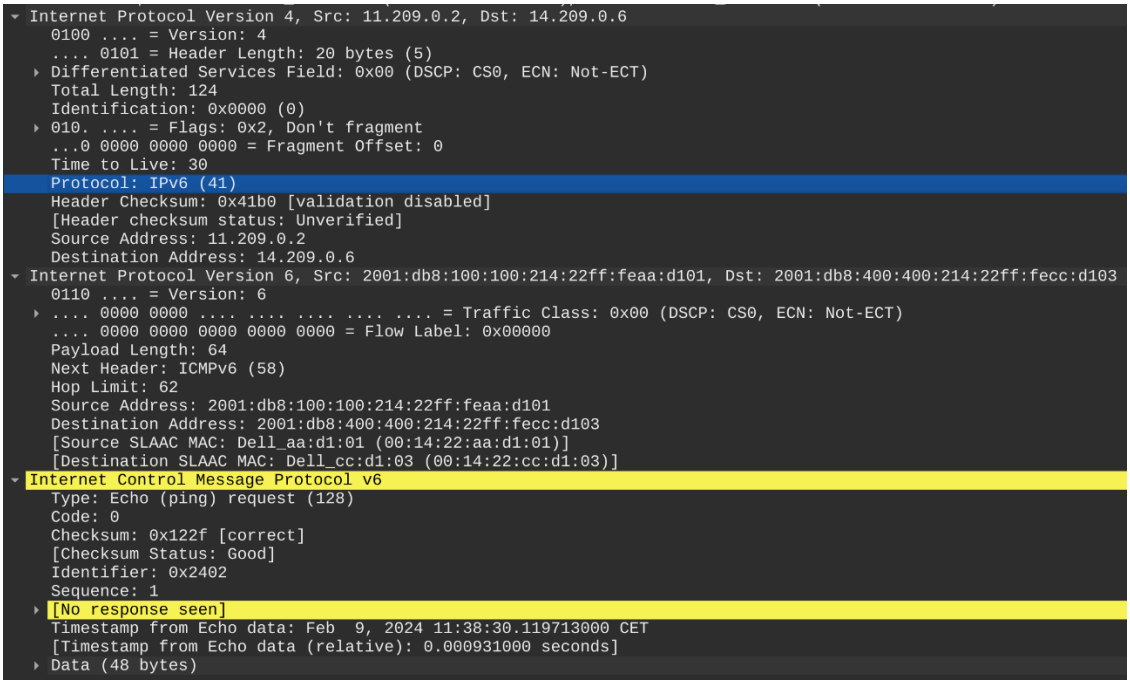
Figure 3.1: Zonas IPv6 a través de una zona IPv4

2. Configura en r2 un extremo del túnel, con ttl 32, y añade la/s ruta/s necesaria/s en r2 para que los paquetes IPv6 generados en la zona A puedan llegar a la Zona C.

3. Arranca 3 tcpdump:

   - tcpdump en la interfaz eth1 de r1 (captura ipv6-tun-01.cap).
   - tcpdump en la interfaz eth1 de r4 (captura ipv6-tun-02.cap).
   - tcpdump en la interfaz eth1 de r7 (captura ipv6-tun-03.cap).

   Realiza un ping6 desde pc1 a pc3. Verás que no funciona, pues aún no está configurado el otro extremo del túnel. Interrumpe las capturas y estúdialas. Con la configuración actual ¿llegan a viajar los ICMPv6 echo request por el túnel? Estudia las cabeceras exactas que llevan y explica sus valores.



Los mensajes viajan por el túnel hasta r6, donde al no estar configurado da error y envía de vuelta a r2 un datagrama ICMP con Protocol Unreachable. En las cabeceras de los Echo request se puede ver una exterior de IPv4 con el protocolo 41 diciendo que su contenido es IPv6, y dentro el datagrama original de IPv6.

4. Configura en r6 el otro extremo del túnel, con ttl 32 y añade la/s ruta/s necesaria/s en r6 para que los paquetes IPv6 generados en la zona C puedan llegar a la Zona A.

5. Arranca 3 tcpdump:

   - tcpdump en la interfaz eth1 de r1 (captura ipv6-tun-04.cap).
   - tcpdump en la interfaz eth1 de r4 (captura ipv6-tun-05.cap).
   - tcpdump en la interfaz eth1 de r7 (captura ipv6-tun-06.cap).

   Realiza de un ping6 desde pc1 a pc3. Interrumpe las capturas y analízalas. Para los paquetes de cada una de las capturas, observa los siguientes campos y explica sus valores:

   a) Versión del protocolo IP que hay en la cabecera IP que va justo detrás de la cabecera Ethernet.

b) direcciones IP origen y destino de esa cabecera

c) TTL (IPv4) o Hop limit (IPv6)

d) Protocol (IPv4) o Next Header (IPv6)

e) Contenido del datagrama IPv4 o IPv6.

Solo estudio los Echo request y Echo reply:

- En r1: Echo request

  a) IPv6

  b) Origen: 2001:db8:100:100:214:22ff:feaa:d101
  Destino: 2001:db8:400:400:214:22ff:fecc:d103

  c) 64 (porque pc1 está conectado a r1)

  d) ICMPv6 (para el ping)

  e) Echo (ping) request

  Como r1 está fuera del túnel solo tendrá IPv6.

- En r1: Echo reply

  a) IPv6

  b) Origen: 2001:db8:400:400:214:22ff:fecc:d103
  Destino: 2001:db8:100:100:214:22ff:feaa:d101

  c) 60 (porque pasa por r7, r6, r2 y r1 (eth0))

  d) ICMPv6 (para el ping)

  e) Echo (ping) reply

  Como r1 está fuera del túnel solo tendrá IPv6, y para el Hop limit hay que tener en cuenta que el túnel no lo modifica.

- En r4: Echo request

  a) IPv4

  b) Origen: 11.209.0.2
  Destino: 14.209.0.6

  c) 30 (pasa por r3 y por r4(eth0))

  d) IPv6 (porque encapsula el datagrama original)

  e) Echo (ping) request

  Como r4 está en el túnel tendrá IPv4 y dentro IPv6. También el origen del datagrama será r2 y el destino r6.

- En r4: Echo reply

  a) IPv4

b) Origen: 14.209.0.6
Destino: 11.209.0.2

c) 31 (pasa por r5)

d) IPv6 (porque encapsula el datagrama original)

e) Echo (ping) reply

Como r4 está en el túnel tendrá IPv4 y dentro IPv6. También el origen del datagrama será r6 y el destino r2.

- En r7: Echo request

  a) IPv6

  b) Origen: 2001:db8:100:100:214:22ff:feaa:d101
  Destino: 2001:db8:400:400:214:22ff:fecc:d103

  c) 60 (porque pasa por r1, r2, r6 y r7 (eth0))

  d) ICMPv6 (para el ping)

  e) Echo (ping) request

  Como r7 está fuera del túnel solo tendrá IPv6.

- En r7: Echo reply

  a) IPv6

  b) Origen: 2001:db8:400:400:214:22ff:fecc:d103
  Destino: 2001:db8:100:100:214:22ff:feaa:d101

  c) 64 (porque pc3 está conectado a r7)

  d) ICMPv6 (para el ping)

  e) Echo (ping) reply

  Como r7 está fuera del túnel solo tendrá IPv6, y para el Hop limit hay que tener en cuenta que el túnel no lo modifica.

Utiliza la herramienta traceroute6 para conocer el número de saltos IPv6 que se dan desde pc2 a pc4. Esta herramienta tiene un comportamiento similar al traceroute en IPv4. Si no recuerdas su funcionamiento, por favor, revísalo antes de comenzar este apartado.
IMPORTANTE: Para usar traceroute6 en este escenario, utiliza siempre la opción -z 200 para que traceroute6 espere 200ms entre cada paquete que envía.

6. Piensa en qué paquetes se van a capturar en las interfaces r4(eth1), r1(eth1) y r7(eth1) cuando ejecutes traceroute6 desde pc2 a pc4.

7. Inicia 3 capturas de tráfico:

- en la interfaz eth1 de r1 (captura ipv6-tun-07.cap).
- en la interfaz eth1 de r4 (captura ipv6-tun-08.cap).
- en la interfaz eth1 de r7 (captura ipv6-tun-09.cap).

y realiza traceroute -I 6 desde pc2 a pc4.

8. Interrumpe las capturas y analiza el contenido de los paquetes capturados, observando especialmente los campos TTL (IPv4) o Hop limit (IPv6) de los paquetes.

   - En r1: con Hop limit 1 cuando no ha entrado en el túnel, con 2 cuando entra en r2 y en el túnel, con 3 cuando llega a r6, con 4 cuando llega a r7 y al hub1 y con 5 al llegar a pc4.
   - En r4: con Hop limit 1 cuando entra al túnel y con TTL 30 (es decir, 2 saltos), luego con Hop limit 2 al salir del túnel y con el mismo TTL, y por último con Hop limit 3 al llegar a pc4 (con TTL 30).
   - En r7: solo hay con Hop limit 1.

9. Tras lo analizado en las capturas, explica con detalle cómo cambian los valores de Hop limit y TTL según los ICMPv6 echo request van avanzando por la zona A, después por la zona B, y por último por la zona C.

   Siguiendo con lo explicado en el apartado anterior se observa que:

   - Zona A: el valor de Hop limit es el real, aumentando de manera constante por los routers que pasa excepto cuando esta en el túnel que no aumenta.
   - Zona B: al estar dentro del túnel el valor del Hop limit se reinicia en r2 (la entrada al túnel) y el TTL será 32 - el número de routers que haya entre ese y r2.
   - Zona C: el valor del Hop limit se vuelve a reiniciar en r6 (la salida del túnel).

10. Indica si ante el tráfico recibido por pc2, es posible que pc2 conozca que se ha atravesado un túnel para llegar a pc4.

```
pc2:~# traceroute6 -z 200 2001:db8:400:400:214:22ff:fecc:d104
traceroute to 2001:db8:400:400:214:22ff:fecc:d104 (2001:db8:400:400:214:22ff:fecc:d104), 30 hops max
, 80 byte packets
 1   (2001:db8:100:100:214:d1ff:feaa:101)  9.354 ms  0.305 ms  0.218 ms
 2   (2001:db8:200:200:214:d1ff:feaa:200)  0.629 ms  0.361 ms  0.339 ms
 3   (2001:db8:300:300:214:d1ff:fecc:601)  0.892 ms  1.559 ms  1.507 ms
 4   (2001:db8:300:300:214:d1ff:fecc:700)  1.926 ms  2.023 ms  1.863 ms
 5   (2001:db8:400:400:214:22ff:fecc:d104)  3.647 ms  0.902 ms  1.741 ms
```

   No es posible que conozca que ha pasado por el túnel, ya que el Hop limit de la zona A no los tiene en cuenta.