

Aplicación de técnicas de virtualización ligera para la evaluación de redes de comunicaciones

Trabajo Final de Estudios

Ingeniería Telemática

Autor: Enrique Fernández Sánchez

Tutor: Josemaria Malgosa Sanahuja

Universidad Politécnica de Cartagena

Revisión Octubre 2021

Índice

Índice de figuras	4
Índice de tablas	4
Listado de ejemplos	4
Glosario de términos	6
Agradecimientos	7
1 Introducción	8
1.1 Contexto del trabajo	8
1.2 Objetivos	9
1.3 Descripción de los capítulos restantes de la memoria	9
2 Virtualización de Funciones de Red (NFV)	10
2.1 Tecnologías implicadas	12
2.2 Virtualización ligera	13
3 Interfaces de red virtuales en <i>Linux</i>	14
3.1 Nombres predecibles en dispositivos físicos.	14
3.2 MAC compartida <code>enp2s0:{0,1,2...}</code>	16
3.3 VLAN 802.1q <code>enp2s0.{0,1,2...}</code>	16
3.4 VLAN 802.1ad. <code>enp2s0.{0,1,2...}.{0,1,2...}</code>	17
3.5 Pares VETH.	18
3.6 TUN/TAP	20
4 Espacio de nombres en <i>Linux</i>	29
4.1 ¿Qué es un <i>espacio de nombres</i> ?	29
4.2 ¿Cómo crear/acceder a un <i>namespace</i> ?	29
4.3 ¿Cuántos <i>namespaces</i> hay?	30
4.3.1 UTS namespace	31
4.3.2 Mount namespace	32
4.3.3 Process ID namespace	33
4.3.4 Network namespace (netns)	34
4.3.5 User ID (user)	37
4.3.6 Interprocess Communication namespace (IPC)	37
4.3.7 Control group (cgroup)	38
4.3.8 Time	41
4.4 Ejemplo de uso de 'netns' usando comando <code>ip</code>	42
4.5 Ejemplo de uso de 'netns' usando comando <code>unshare</code>	44

5	Virtualización ligera y contenedores	45
5.1	Contenedores usando unshare	45
5.2	Contenedores LXC	45
5.3	Contenedores Docker	45
6	Caso práctico: Virtualización para simulación de redes	46
6.1	Interconexión física de diferentes red virtuales	46
6.2	Evaluación de prestaciones	46
7	Conclusiones	47
7.1	Propuestas futuras	47
	Bibliografía	48
	Enlaces y referencias	48
	Imágenes	50
	Anexos	51
	Anexo 1. Instalación ansible	51
	Anexo 2. Configuración de <i>Guest Network</i> para comunicar con la VM	53
	Anexo 3. Playbooks ansible	54

Índice de figuras

1	Comparativa enfoque clásico de las redes contra el enfoque virtualizado. [1]	10
2	Comparativa redes clásicas vs redes basadas en NFV [2]	11
3	Comparativa en capas OSI de las tecnologías NFV y SDN [3]	12
4	Comparativa entre virtualización ligera y virtualización dura [7]	13
5	Regla udev definida por el usuario	15
6	Diagrama conexión VLANs	16
7	Trama ethernet utilizando VLAN 802.1ad [4]	17
8	Ejemplo básico de utilización de pares virtuales ethernet	18
9	Ejemplo avanzado de utilización de pares virtuales ethernet, utilizando bridge	19
10	Comparativa en capa OSI de las interfaces TUN/TAP. [6]	21
11	Uso de la aplicación sock con interfaces tuntap.	27
12	Tabla de encamiamiento para una interfaz tuntap.	27
13	Captura de un paquete emitido por la interfaz tap0.	28
14	Archivos asociados al grupo test_cg una vez lo creamos	38
15	Salida tras ejecutar el programa de Python sin limitar	39
16	Salida tras ejecutar el programa de Python, una vez limitado	39
17	Diferentes namespaces en Linux y su API de acceso. (5)	40

Índice de tablas

Listado de ejemplos

1	Ejemplo de uso de tuncctl para controlar interfaces TUN/TAP [33]	22
5	Compilar e instalar programa sock (37)	26
6	Creación interfaz TAP	26
7	Uso de aplicacion sock para crear cliente servidor asociado a un puerto	26
8	Ejemplo de un persistencia namespace	29
9	Ejemplo de uso de UTS namespace	31
10	Example of usage mount namespace	32
11	Uso de process id namespace	33
12	Creation persistent network namespace	34
13	Comprobar network namespaces existentes	34
14	Asignar interfaz loopback a un namespace	34
15	Ejecutar cualquier programa con un network namespace	34
16	Ejemplo configuración de NAT entre eth0 y veth	35
17	Configuración de NAT para dar Internet a un network namespace	36
18	Ejemplo de uso UID namespace	37
19	Programa en Python que consume 4 GB de RAM	39
20	Instalación ansible en Ubuntu	51
21	Instalación ansible en Fedora	51

22	Instalación <code>ansible</code> en OpenSUSE	51
23	Instalación <code>ansible</code> en Arch Linux	51
24	Crear clave SSH para autenticación en VM	51
25	Copiar clave pública de <code>ansible</code> a VM	52
26	Contenido del archivo <code>inventory</code> de <code>ansible</code>	52

Glosario de términos

NFV (*Network Function Virtualization*). *Network Function Virtualization*, o bien, Virtualización de funciones de red.

SDN (*Software Defined Networks*)

Namespace. *Espacio de nombres*

NS (*Network namespace*). Tipo de espacio de nombres en Linux que tiene por función aislar la parte de red de la máquina host.

Linux. Sistema operativo tipo UNIX, de código abierto, multiplataforma, multiusuario y multitarea.

Kernel de Linux. Núcleo del sistema operativo Linux.

PID (*Process Identifier*). Identificador de procesos que están ejecutándose bajo un sistema tipo Linux.

UID (*User identifier*). Encontrado normalmente como un número o palabra, supone un identificador de usuario dentro del sistema Linux.

GID (*Group Identifier*). Al igual que sucede con el UID, suele aparecer como un número o palabra y hace referencia al identificador de grupo dentro del sistema de Linux.

root. Cuenta superusuario del sistema operativo Linux.

veth-pair (*Virtual Ethernet Pair*). Tipo de interfaz virtual. Funcionan de dos en parejas.

Agradecimientos

1 Introducción

Con el fin de concluir los estudios de grado en ingeniería telemática, es necesaria la investigación y el posterior desarrollo del *Trabajo Fin de Estudios* (TFE). Dicho trabajo, tiene como objetivo enfrentar al alumno a un proceso de investigación en el que pueda aplicar los conceptos que ha ido aprendiendo durante su paso por el grado, además pudiendo añadir puntos de innovación, y aportar soluciones nuevas a un proyecto en específico.

En este documento, recojo lo que sería mi memoria en relación al TFE. En dicho documento detallaremos las diferentes investigaciones realizadas sobre el concepto de virtualización en sistemas Linux, como funcionan los contenedores y como utilizar la virtualización ligera para la evaluación de redes de comunicaciones, en nuestro caso, de conmutación de paquetes.

1.1 Contexto del trabajo

Este proyecto nace con el objetivo de profundizar en conceptos novedosos para el ámbito de red, como por ejemplo podría ser NFV. Definimos NFV (Network Function Virtualization) como la virtualización de hardware físico de red, con el fin de solucionar problemas de escalabilidad y de optimización.

Además, trabajaremos sobre otras tecnologías igual de importantes como pueden ser la virtualización de recursos, o los bien conocidos *contenedores*. Particularizaremos estas tecnologías y las acercamos al campo de conocimiento de la telemática para utilizarlas con el fin de evaluar y simular redes de conmutación de tipo IP.

Partiendo de supuesto de que las herramientas más sencillas de simulación de redes se nos pueden quedar cortas en cuanto queremos escalar el sistema, nos topamos en que otras soluciones pueden ser mucho más *resource hungry* de lo que podríamos imaginar. Además, tampoco podemos contar con realizar dichas pruebas de manera física, ya que el presupuesto del proyecto escalaría de nivel exponencial. Esto sucede ya que deberíamos configurar cada dispositivo de manera específica, y después proceder a interconectarlos con una tecnología de red adecuada, que en nuestro caso, son tecnologías en fase de desarrollo o evaluación de prestaciones.

1.2 Objetivos

Como bien hemos adelantado en el apartado anterior, el objetivo principal de este proyecto es el de analizar la situación en el ámbito de simulación y evaluación de redes de comunicación, además, concretar en aquellas soluciones que estén basadas en virtualización ligera. Por lo tanto, se pretende:

- Aprender los conceptos básicos de la virtualización de sistemas de red (NFV).
- Comprender la diferencia entre virtualización *ligera* y virtualización *dura*.
- Estudiar, dentro del sistema operativo Linux, las diferentes tecnologías que nos permiten adoptar soluciones NFV.
- Definir que es *espacio de nombres* y como podemos aplicarlo para virtualizar redes.
- Profundizar en el concepto de *interfaces virtuales* en Linux.
- Desgranar el concepto amplio de contenedor, relacionandolo con los *espacios de nombres*.
- Desarrollar una aplicación conceptual para la evaluación de un sistema en concreto, utilizando virtualización ligera.

1.3 Descripción de los capítulos restantes de la memoria

En este apartado se comentará brevemente la distribución de capítulos de la memoria. Además, se mencionará que temas se han abordado en cada uno de ellos.

- **Capítulo 1:** Introducción.
- **Capítulo 2:** Virtualización de funciones de red.
- **Capítulo 3:** Interfaces de red virtuales en Linux.
- **Capítulo 4:** Espacio de nombres en Linux.
- **Capítulo 5:** Virtualización.
- **Capítulo 6:** Caso práctico: Virtualización para la simulación de redes.
- **Capítulo 7:** Conclusiones.

2 Virtualización de Funciones de Red (NFV)

El punto de partida de “virtualización de funciones de red” surge a partir de las necesidades de las operadoras para solucionar problemas de gran escala de la red. Estos se puede resumir en los siguientes:

- Saturación en la red o en servicios específicos de la red.
- Servicios que requieren una instalación manual o que necesitan una intervención manual.
- Problemas relacionados con operadoras, como puede ser la reducción de costes del servicio.

Estos problemas radican en una serie de motivos, pero principalmente tiene que ver con el poco crecimiento de la red, y su rápida adopción por la sociedad. Si concretamos estos motivos, podrían ser tal que:

- Falta de estabilidad, debido a la poca flexibilidad de la misma.
- Poca evolución en las redes “core”.
- Falta de innovación, se hace realmente difícil crear nuevos servicios.

En general, se podría resumir en que la poca innovación y la falta de flexibilidad, hacían realmente difícil cambiar ciertos servicios y estructuras críticas de la red “core”. Para ello, para solucionar todos estos problemas, desde los grupos de trabajo de la ITU se empezó a trabajar en nuevas propuestas con el fin de aportar nuevas alternativas. La solución propuesta con más apoyo sería “la virtualización de funciones de red”, que tendría su punto de partida en octubre de 2012, en un grupo de trabajo de la ITU, formado por 13 operadoras internacionales, dando lugar a un paper informativo [19] en el que se detallaba de forma teórica la solución de NFV.

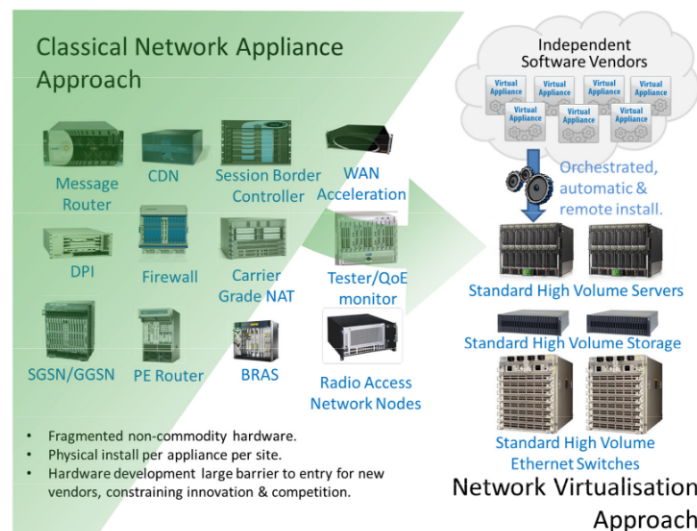


Figura 1: Comparativa enfoque clásico de las redes contra el enfoque virtualizado. [1]

La actualidad es cada dispositivo, corresponde con un aparato físico. Son aparatos embebidos y solo cumplen una función específica. Utilizando la virtualización de red, podemos llegar al punto de tenerlo todo virtualizado. Tenemos una 'imagen' de router que la podemos desplegar en cualquier ordenador de carácter general, y cumplir diferentes funciones a la vez (que un router sea a la vez un firewall, por ejemplo).

Las funciones de red están basadas en tener un software y hardware específico para cada dispositivo. NFV nos aporta que esos recursos software y hardware, se despliegan en servidores físicos de propósito general. Por lo tanto, un mismo nodo físico, puede ser DHCP, router o Firewall. [18]

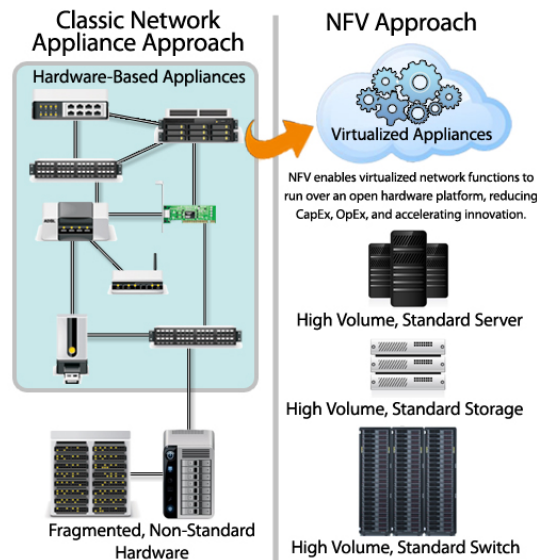


Figura 2: Comparativa redes clásicas vs redes basadas en NFV [2]

La virtualización de funciones de red supone una manera para reducir costes y acelerar el desarrollo de servicios para los operadores de red a costa de desacoplar funciones como pueden ser un "firewall" en un hardware dedicado, moviéndolos a servidores virtuales. Tal y como podemos ver en la comparativa de la Figura 2, sustituimos electrónica de red específica, como podrían ser router, switches, etc; por máquinas virtualizadas que se despliegan en servidores de carácter general, dando lugar a un mayor control y escalabilidad de los sistemas físicos. A consecuencia de esto, podemos ver como las redes toman un camino diferente, dejando a atrás el hardware y software propietario, para centrarse en un enfoque basado en el software.

2.1 Tecnologías implicadas

Para que este cambio de paradigma se materialice, es decir, pase de ser “papers” con soluciones generalistas, y que de verdad estas se materialicen en una solución viable, tienen que realizarse una serie de desarrollos, los cuales provocan que aún a día de hoy sean soluciones experimentales, que aunque son utilizadas en entornos reales, todavía están en continuo desarrollo. Además, aunque estamos hablando de NFV, hay una tecnología extra que también aparece en la ecuación, esta tecnología es el SDN (*Software Defined Networks*). En este caso particular, nos encontramos con que el NFV no puede existir sin el SDN, y viceversa [31]. Si tuviéramos que definir brevemente cada una de dichas tecnologías, podríamos resumirlo en lo siguiente:

- *Software Defined Networks*. Suponen un punto de vista de las redes, en las que las propias redes utilizan una serie de controladores, basados en software o en API de control, con el fin de dirigir el tráfico de red y comunicarse con la infraestructura hardware de capas superiores. (ver Figura 3)
- *Network Functions Virtualizations*. NFV desacopla las funciones de la red de dispositivos de hardware dedicados y las traslada a servidores virtuales, y así se consolidan múltiples funciones en un único servidor físico. Dentro de este servidor físico, podemos distinguir diferentes funciones de red virtuales (VNF), dichas funciones suponen un conjunto de máquinas interconectadas entre sí, y cada una de ellas tiene una función distinta, y además, el conjunto de ellas tienen por objetivo realizar una función que antes era realizada por un equipo físico determinado (un router, firewall o similar). (ver Figura 3)

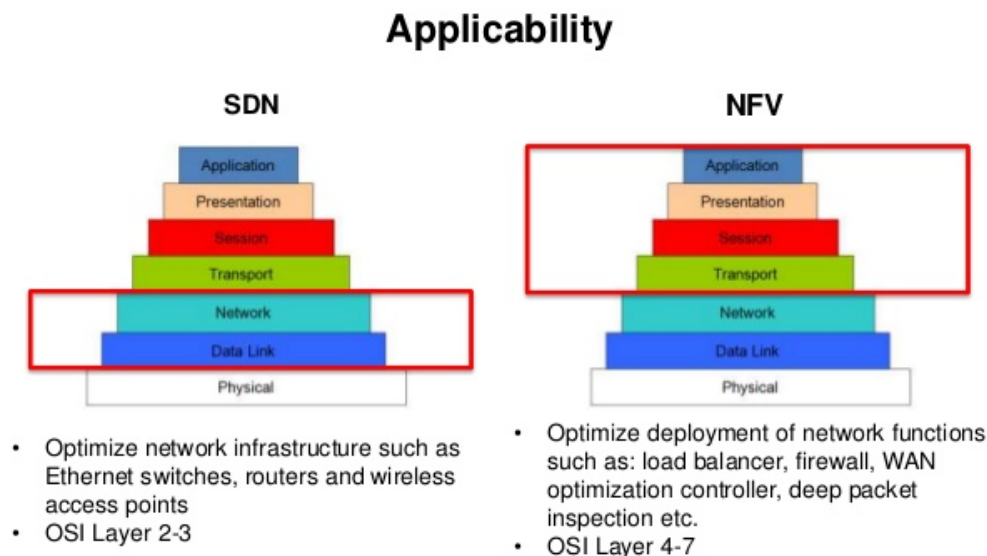


Figura 3: Comparativa en capas OSI de las tecnologías NFV y SDN [3]

2.2 Virtualización ligera

Entendemos la virtualización ligera como un tipo de virtualización de un sistema. Dicha virtualización se hace a nivel de sistema operativo, aportando que existan diferentes espacios de usuarios aislados entre sí, sin embargo, a diferencia del concepto ‘*máquina virtual*’ (virtualización dura), en la virtualización ligera todos los sistemas virtualizados dependen del kernel de la máquina host, mientras que en el caso de una máquina virtual, cada instancia tendría su propio kernel (ver Figura 4). [36]

Por lo tanto, las ventajas destacables sobre la virtualización ligera frente a la virtualización ligera serían:

- Un único kernel para todas las instancias que queramos ejecutar.
- Eliminamos el correspondiente *overhead* al no tener que emular un kernel para cada instancia.
- Menor consumo de CPU y RAM, comparado con las virtualizaciones duras.
- Disponen de la posibilidad de iniciar, mover, parar o borrar la instancia virtualizada.

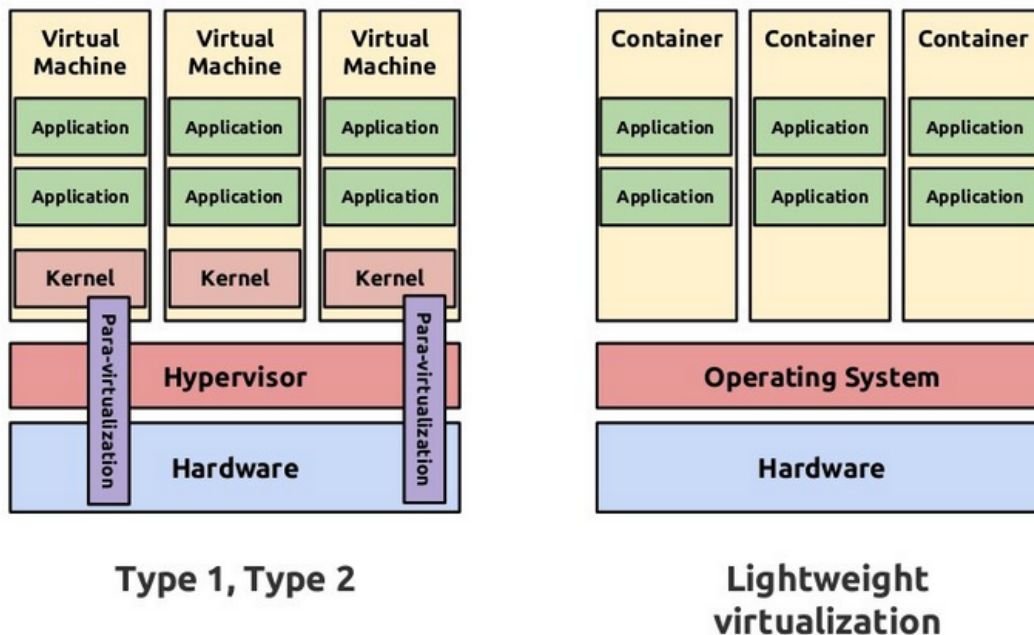


Figura 4: Comparativa entre virtualización ligera y virtualización dura [7]

En consecuencia de tener que utilizar un mismo kernel para todas las instancias, tenemos que profundizar sobre los conceptos de interfaces de red virtuales [3] y espacios de nombres [4], ya que serán piezas clave para tener nuestras instancias aisladas entre sí, pero a su vez conectadas con los diferentes recursos en red que nosotros definamos.

3 Interfaces de red virtuales en *Linux*

En este capítulo, vamos a profundizar en el concepto de interfaces de red virtuales, pero las específicas al sistema operativo basados en el kernel de Linux. Hacemos esto ya que los servidores utilizados a gran escala, la mayoría hacen uso de distribuciones de Linux.

Linux dispone de una selección muy diferente de interfaces de red que nos permiten, de manera sencilla, el uso de máquinas virtuales o contenedores. En este apartado vamos a mencionar las interfaces más relevantes de cara a la virtualización ligera que proponemos para el despliegue de una red virtualizada. Para obtener una lista completa de las interfaces disponibles, podemos ejecutar el siguiente comando `ip link help`.

En este trabajo, vamos a comentar la siguientes interfaces [11]:

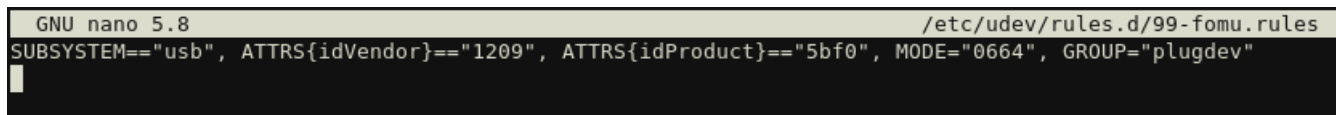
- MAC compartida: `eth0:{0,1,2...}`
- VLAN 802.1q: `eth0.{0,1,2...}`
- VLAN 802.1ad: `eth0.{0,1,2...}.{0,1,2...}`
- Pares de ethernet virtuales (*veth pairs*)
- TUN/TAP

3.1 Nombres predecibles en dispositivos físicos.

Con el fin de comprender como se nombran las diferentes interfaces de red, es necesario que estudiemos el servicio `udev` (*Dynamic device management*). `udev` es el gestor de dispositivos que utiliza el kernel de Linux, su función principal es permitir al administrador del sistema operativo registrar manejadores del espacio de usuario para eventos del sistema. Estos eventos que recibe el servicio `udev` son principalmente generados por el kernel, en respuesta a eventos físicos relacionados con dispositivos periféricos. Por lo tanto, el propósito de `udev` es actuar sobre la detección de periféricos y con conexiones tipo *hotplug*, pudiendo encadenar acciones necesarias que devuelven el control al kernel, como por ejemplo, cargar módulos específicos o un firmware de un dispositivo. [24]

Además, `udev` también se encarga de gestionar los nodos de dispositivos en el directorio `/dev` añadiendo, enlazando simbólicamente y renombrándolos. Por otro lado, una consideración a tener en cuenta es que `udev` maneja los eventos de manera concurrente, lo que aporta una mejora de rendimiento, pero a la vez puede dar problemas a la hora de que el orden de carga de los módulos del kernel no se conserva entre los arranques. Un ejemplo de esto podría ser que en el caso de tener dos discos duros (uno llamado `/dev/sda` y otro `/dev/sdb`), en el siguiente arranque el orden de de arranque puede variar, generando que ambos identificadores se intercambien entre sí, desencadenando una serie de problemas en nuestro sistema. [24]

A modo de ejemplo, el usuario puede crear sus propias reglas, de modo que puede realizar las acciones que ya hemos comentado, de acuerdo a sus propias necesidades. A modo de ejemplo, podemos ver en la siguiente captura (Figura 5) como hemos creado un archivo en la ruta `/etc/udev/rules.d/` en el que definimos la regla para un dispositivo físico en específico (en este caso un USB). Identificamos el dispositivo que queremos a través de los atributos `idVendor` e `idProduct` (atributos necesarios para cualquier dispositivo USB), después le asignamos un "MODE" que corresponde con los permisos que le queremos asignar al dispositivo (en modo numérico) y el grupo al que permitimos acceder al dispositivo.



```
GNU nano 5.8 /etc/udev/rules.d/99-fomu.rules
SUBSYSTEM=="usb", ATTRS{idVendor}=="1209", ATTRS{idProduct}=="5bf0", MODE="0664", GROUP="plugdev"
```

Figura 5: Regla udev definida por el usuario

En el caso de las interfaces físicas de red, vamos a suponer que estamos utilizando el nombrado de interfaces de red antiguo. Esto proviene de que en la últimas versiones del kernel, se ha cambiado la forma en la que las interfaces de red son nombradas por Linux (`systemd networkd v197` [25]). Es por esto por lo que antes podíamos tener interfaces tal que `eth0` y ahora nos encontramos con la siguiente nomenclatura `enps30`. Este cambio surge ya que anteriormente se nombraban las diferentes interfaces conforme el propio ordenador estaba en la etapa de `boot`, por lo que podría pasar que a lo que nosotros entendíamos como `eth1`, en el próximo arranque fuera `eth0`, dando lugar a incontables errores en el sistema. Es por esto por lo que se empezó a trabajar en soluciones alternativas. Por ejemplo, la que acabamos de comentar, utiliza la información aportada por la BIOS del dispositivo para catalogarlo en diferentes categorías, con su formato de nombre para cada categorías. Dichas clasificación corresponde con las siguientes:

1. Nombres incorporados en Firmware/BIOS que proporcionan un número asociado a dispositivos en la placa base. (ejemplo: `eno1`)
2. Nombres incorporados en Firmware/BIOS proveniente de una conexión PCI Express hotplug, con número asociado al conector. (ejemplo: `ens1`)
3. Nombres que incorporan una localización física de un conector hardware. (ejemplo: `enp2s0`)
4. Nombres que incorporan una la MAC de una interfaz. (ejemplo: `enx78e7d1ea46da`)
5. Sistema clásico e impredecible, asignación de nombres nativa del kernel. (ejemplo: `eth0`)

3.2 MAC compartida `enp2s0:{0,1,2...}`

Todas las interfaces asociadas comparten la misma dirección MAC. Cada una de ellas, recibe el nombre de *aliases*. La funcionalidad principal que tienen este tipo de interfaces es la de asignar varias direcciones de IP a una misma interfaz de red.

```
$ ip addr add 192.168.56.151/24 broadcast 192.168.56.255 dev enp2s0  
label enp2s0:1
```

Sin embargo, el comando `iproute2` admite esta misma funcionalidad sin tener que crear interfaces de red extra. Para ello, solo tenemos que asociar cada IP con la interfaz de red deseada.

```
$ ip addr add 192.168.56.151/24 dev enp2s0  
$ ip addr add 192.168.56.251/24 dev enp2s0
```

3.3 VLAN 802.1q `enp2s0.{0,1,2...}`

Siguiendo el mismo concepto que la interfaz anterior, pero en este caso utilizando el estándar 802.1q, que permite etiquetar las tramas, para crear una red lógica independiente. Es necesario que la interfaz a la que estemos asignando, sea un puerto trunk, o bien sea tagged para una VLAN específica.

```
$ ip link add link enp2s0 name enp2s0.{num} type vlan id {num}  
$ ip addr add 192.168.100.1/24 brd 192.168.100.255 dev enp2s0.{num}  
$ ip link set dev enp2s0.{num} up
```

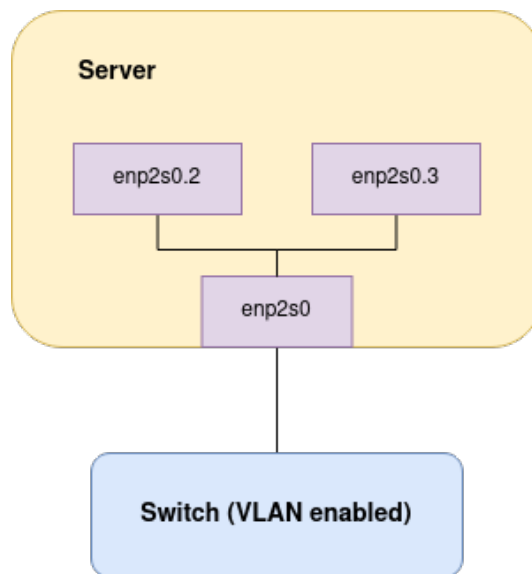


Figura 6: Diagrama conexión VLANs

3.4 VLAN 802.1ad. $\text{enp2s0}\{0,1,2\}\dots\{0,1,2\}\dots$

En este apartado comentamos la interfaz virtual asociada al estándar 802.1ad, dicho estándar supone una actualización respecto a las VLANs basadas en 802.1q, pero añadiendo la posibilidad de tener dos tags dentro de mismo frame ethernet. En el caso del estándar 802.1q, solo podíamos tener un tag. El estándar de vlans 802.1ad es realmente útil cuando el proveedor de red y el usuario de dicha red quieren utilizar VLANs, además que amplía el límite de 4094 VLANs diferentes permitidas por el estándar 802.1Q [28][29]. Otra forma de la que nos podemos encontrar esta interfaz es bajo el nombre “QinQ”.

La estructura de la trama ethernet sigue la siguiente estructura,

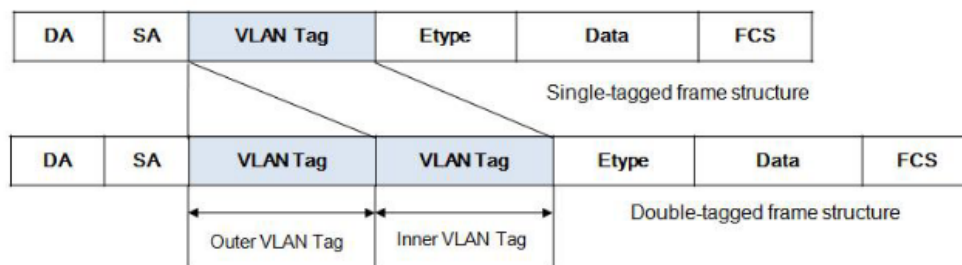


Figura 7: Trama ethernet utilizando VLAN 802.1ad [4]

Para configurar un enlace utilizando este estándar, tenemos que ejecutar los siguientes comandos [30]:

```
$ ip link add link eth0 eth0.1000 type vlan proto 802.1ad id 1000
$ ip link add link eth0.1000 eth0.1000.1000 type vlan proto 802.1q id 1000
```

De esta manera, lo que hacemos es asociar una primera VLAN a una interfaz de red, utilizando 802.1ad, después a esa misma interfaz con identificador, podemos asignar otra nueva VLAN, pero esta vez utilizando el estándar 802.1q. Por lo tanto, al final nos quedaría una interfaz similar a `eth0.1000.1000` en la que podemos distinguir dos identificadores de red virtual.

3.5 Pares VETH.

Los `veth` (Ethernet virtuales) son un dispositivo virtual que forman un túnel local ethernet. El dispositivo se crea en parejas. [11]

Los paquetes transmitidos por un extremo del ethernet virtual se reciben inmediatamente en el otro extremo. Si alguno de ellos se encuentra apagado, decimos que el link de la pareja esta también apagado. A modo de ejemplo, nos fijamos una estructura básica en la que dos aplicaciones se comunican utilizando `veth`, tal y como vemos en la figura (8)

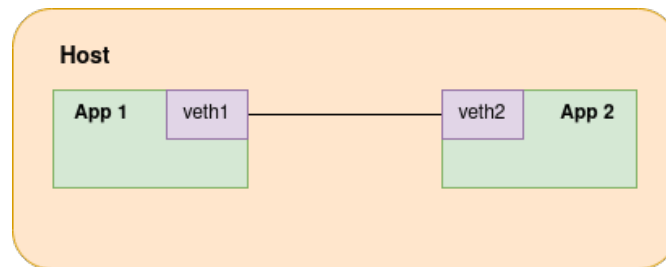


Figura 8: Ejemplo básico de utilización de pares virtuales ethernet

Las interfaces virtuales ethernet se inventaron con el fin de comunicar diferentes *network namespaces*. Aunque profundizaremos en ello más adelante, los namespace de Linux permiten encapsular recursos globales del sistema de forma aislada, evitando que puedan interferir con procesos que estén fuera del namespace.

La configuración necesaria para implementar el ejemplo de la figura 8 sería el siguiente [14]:

```
$ ip netns add app1
$ ip netns add app2
$ ip link add veth1 netns app1 type veth peer name veth2 netns app2
```

De esta manera, tendríamos creados los namespaces `app1` y `app2`, que estarían interconectados entre sí. Ahora procedemos a asignar una IP a cada interfaz.

```
$ ip netns exec app1 ip addr add 10.1.1.1/24 dev veth1
$ ip netns exec app1 ip link set veth1 up
$ ip netns exec app2 ip addr add 10.1.1.2/24 dev veth2
$ ip netns exec app2 ip link set veth2 up
```

Para comprobar que hay conectividad entre las diferentes aplicaciones (app1 y app2) utilizamos la función del comando `ip` para ejecutar programas dentro de un `network namespace`, en este caso realizar un ping entre ambas aplicaciones:

```
$ ip netns exec app1 ping 10.1.1.2
```

Por otro lado, si quisiéramos una topología más compleja, como por ejemplo que varios namespaces puedan hacer uso de una interfaz física, tendríamos que añadir un elemento extra a nuestro sistema. El diagrama de la topología podría ser tal que así:

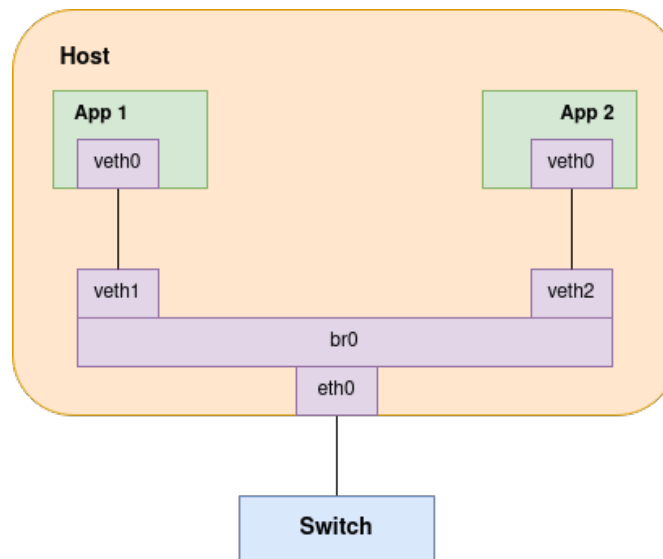


Figura 9: Ejemplo avanzado de utilización de pares virtuales ethernet, utilizando bridge

Como podemos comprobar en la figura 9, es necesario que utilicemos un “bridge” para que podamos conectar ambas interfaces virtuales a una interfaz física, para replicar dicha topología, ejecutaremos los siguientes comandos:

```
$ ip netns add app1
$ ip netns add app2
$ ip link add veth1_br type veth peer name veth0 netns app1
$ ip link add veth2_br type veth peer name veth0 netns app2
```

Para definir un bridge entre las diferentes interfaces virtuales que hemos creado, utilizaremos una interfaz tipo *bridge* de Linux, o bien podemos configurar dicho *bridge* usando *Open vSwitch*. *Open vSwitch* es un programa de código abierto diseñado para ser utilizado como un switch multi-capa virtual [26][27].

```
$ ip link add veth1_br type veth peer name veth0 netns app1
$ ip link add veth2_br type veth peer name veth0 netns app2
$ ovs-vsctl add-br ovsbr0
```

```
$ ovs-vsctl add-port ovsbr0 veth1_br
$ ovs-vsctl add-port ovsbr0 veth2_br
$ ovs-vsctl add-port ovsbr0 eth0
```

Por último, añadimos las direcciones IP que nos faltan en la topología:

```
$ ip addr add 10.1.1.10/24 dev veth1_br
$ ip link set veth1_br up
$ ip addr add 10.1.1.20/24 dev veth2_br
$ ip link set veth2_br up
$ ip netns exec app1 ip addr add 10.1.1.15/24 dev veth0
$ ip netns exec app1 ip link set veth0 up
$ ip netns exec app2 ip addr add 10.1.1.25/24 dev veth0
$ ip netns exec app2 ip link set veth0 up
$ ip netns exec app1 ip link set lo up
$ ip netns exec app2 ip link set lo up
```

De esta manera, ya tendríamos la topología configurada con conectividad entre las diferentes aplicaciones, además de cada aplicación con una interfaz física de la máquina, todo esto utilizando una interfaz tipo bridge.

3.6 TUN/TAP

TUN/TAP son dos interfaces de red virtuales de Linux, que permiten dar conectividad entre programas dentro del espacio de usuario, es decir permiten conectar aplicaciones en específico con el kernel. Esta interfaz es expuesta al usuario mediante la ruta `/dev/net/tun`. Como bien hemos mencionado, existen dos tipos de interfaces virtuales controladas por `/dev/net/tun`:

- TUN. Interfaces encargadas de transportar paquetes IP (trabaja sobre la capa 3).
- TAP. Interfaces encargadas de transportar paquetes Ethernet (trabaja sobre la capa 2).

TUN (Capa 3)

Las interfaces TUN (`IFF_TUN`) transportan paquetes PDU (*Protocol Data Units*) de la capa 3 [32]:

- En la práctica, transporta paquetes IPv4 y/o paquetes IPv6.
- La función `read()` devuelve un paquete de capa 3 PDU, es decir un paquete IP.
- Utilizando la función `write()` podemos enviar un paquete IP.
- No hay capa 2 en esta interfaz, por lo que los mecanismos que se ejecutan en esta capa no estarán presentes en la comunicación. Por ejemplo, no tenemos ARP.
- Pueden funcionar como interfaces tipo *Point to Point*.

TAP (Capa 2)

Las interfaces TAP (IFF_TAP) transportan paquetes de capa 2 32:

- En la práctica, transporta *frames Ethernet*, por lo tanto, actuaría como si fuera un adaptador virtual de Ethernet (“bridge virtual”).
- La función `read()` devuelve un paquete de capa L2, un *frame Ethernet*.
- Utilizando la función `write()` permite enviar un *frame Ethernet*.
- Podemos cambiar la MAC asociada a nuestra interfaz TAP utilizando el parámetro `SIOCSIFHWADDR`, en la función `ioctl()`, la cual usamos para crear un TUN/TAP dentro de nuestra aplicación.

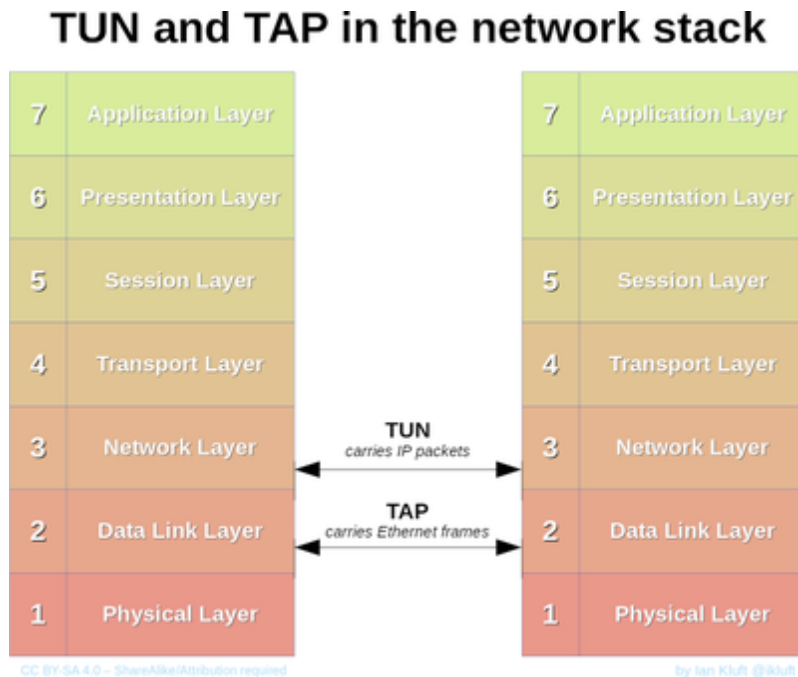


Figura 10: Comparativa en capa OSI de las interfaces TUN/TAP. [6]

Si nos fijamos en la figura 10, podemos ver las diferencias entre ambas interfaces. Aún así, hay una que se utiliza mucho más que la otra, esta interfaz es TAP. Las interfaces tipo TAP son muy ampliamente utilizadas para realizar “túneles virtuales” para una aplicación en concreto. Sería la propia aplicación la encargada de monitorizar dicho “túnel”. Podemos encontrar aplicaciones TAP en hipervisores o en clientes VPN.

En el caso de que queramos crear interfaces TUN/TAP fuera de una aplicación, es decir, desde la línea de comandos, tendremos que utilizar los programas `tunctl` o `ip`. Para ello, podemos revisar los ejemplos 1 y 2 donde se comentan algunos de los comandos más importantes para trabajar con estas interfaces en cada uno de los programas mencionados.

Ejemplo 1: Ejemplo de uso de `tunctl` para controlar interfaces TUN/TAP [33]

```
1 # Create the tap interface by default
2 tunctl
3 # equivalent to
4 tunctl -p
5
6 # For users 'user' create a tap interface
7 tunctl -u user
8
9 # Create Tun interface
10 tunctl -n
11 # Configure IP Address for interface and enable
12 ip addr add 192.168.0.254/24 dev tap0
13 ip link set tap0 up
14 # Add routing to interface
15 ip route add 192.168.0.1 dev tap0
16
17 # Delete interface
18 tunctl -d tap0
19
```

Ejemplo 2: Ejemplo de uso de `ip` para controlar interfaces TUN/TAP [33]

```
20 # Show help
21 ip tuntap help
22
23 # Create tun/tap devices
24 ip tuntap add dev tap0 mod tap # create tap
25 ip tuntap add dev tun0 mod tun # create tun
26
27 # Delete tun/tap devices
28 ip tuntap del dev tap0 mod tap # delete tap
29 ip tuntap del dev tun0 mod tun # delete tun
30
```

Ejemplo de aplicación que crea una interfaz tuntap

Por otro lado, otra manera de trabajar con estas interfaces, es dejar que el programa que estemos utilizando cree dichas interfaces. Es por esto por lo que dentro del programa podemos definir que se refiera a la ruta `/dev/net/tun` para crear la interfaz necesaria. A modo de ejemplo, se implementa un programa en C que crea una interfaz TUN/TAP (en el programa elegimos cual de las dos queremos) y que devuelve el tamaño de los paquetes que reciba en dicha interfaz. Este ejemplo nos sirve para comprobar con una aplicación puede crear y gestionar una interfaz, y además, mediante un programa externo de captura de paquetes (Wireshark, tcpdump, etc...) ver los paquetes que llegan a la interfaz y cual es su estructura.

El código utilizado sería el que vemos en [3]. Es importante comentar que en la línea 80 podemos modificar el tipo de interfaz que vamos a crear, usaremos `IFF_TUN` para crear un TUN y `IFF_TAP` para crear un TAP.

Ejemplo 3: Aplicación de ejemplo para crear tun/tap (tuntap.c) [34]

```
31 /**
32 Receive incoming packages over tun/tap device.
33 stdout -> size of received package
34 **/
35
36 #include <net/if.h>
37 #include <sys/ioctl.h>
38 #include <sys/stat.h>
39 #include <fcntl.h>
40 #include <string.h>
41 #include <sys/types.h>
42 #include <linux/if_tun.h>
43 #include <stdlib.h>
44 #include <stdio.h>
45
46 int tun_alloc(int flags)
47 {
48
49     struct ifreq ifr;
50     int fd, err;
51     char *clonedev = "/dev/net/tun";
52
53     if ((fd = open(clonedev, O_RDWR)) < 0) {
54         return fd;
55     }
56
57     memset(&ifr, 0, sizeof(ifr));
58     ifr.ifr_flags = flags;
59
60     if ((err = ioctl(fd, TUNSETIFF, (void *) &ifr)) < 0) {
61         close(fd);
62         return err;
63     }
64 }
```

```

65 printf("Open tun/tap device: %s for reading...\n", ifr.ifr_name);
66
67 return fd;
68 }
69
70 int main()
71 {
72
73     int tun_fd, nread;
74     char buffer[1500];
75
76     /* Flags: IFF_TUN   - TUN device (no Ethernet headers)
77      *         IFF_TAP   - TAP device
78      *         IFF_NO_PI - Do not provide packet information
79      */
80     tun_fd = tun_alloc(IFF_TAP | IFF_NO_PI);
81
82     if (tun_fd < 0) {
83         perror("Allocating interface");
84         exit(1);
85     }
86
87     while (1) {
88         nread = read(tun_fd, buffer, sizeof(buffer));
89         if (nread < 0) {
90             perror("Reading from interface");
91             close(tun_fd);
92             exit(1);
93         }
94
95         printf("Read %d bytes from tun/tap device\n", nread);
96     }
97     return 0;
98 }
99

```


Los pasos para realizar este ejemplo serían los siguientes:

Ejemplo 4: Instrucciones para realizar las pruebas con el código [3]

```
100 # Guardamos el codigo anterior en tuntap.c
101 # Compilamos el programa
102 gcc tuntap.c -o tun
103
104 ### Terminal 1
105 # Ejecutamos el binario, este se quedara a la escucha en la interfaz creada
106 ./tun
107
108 ### Terminal 2
109 # Asignamos una IP a la interfaz recién creada
110 ip addr add 192.168.209.138/24 dev tun0
111 ip link set dev tun0 up
112
113 # Capturamos el trafico que viaja por la interfaz
114 tcpdump -i tun0
115
116 ### Terminal 3
117 # Mandamos trafico a la interfaz creada, un ping por ejemplo:
118 ping -c 4 192.168.209.139 -I tun0
119
```

Ejemplo aislamiento entre puertos usando interfaz tuntap

En este ejemplo, queremos comprobar el funcionamiento de una interfaz tap, pero poniéndonos en el caso de que el usuario cree dicha interfaz mediante el comando `ip` y un programa externo se asocie a dicha interfaz. Para ello, vamos a utilizar la aplicación `sock` [37], que nos servirá para crear un socket IP en un puerto específico.

Ejemplo 5: Compilar e instalar programa sock (37)

```
1 mkdir ~/tmp
2 cd tmp
3 tar zxvf sock-0.3.2.tar.gz
4 cd sock-0.3.2
5 ./configure
6 make
7 sudo make install
8
```

Una vez tenemos el programa instalado, podemos proceder a crear la interfaz tap.

Ejemplo 6: Creación interfaz TAP

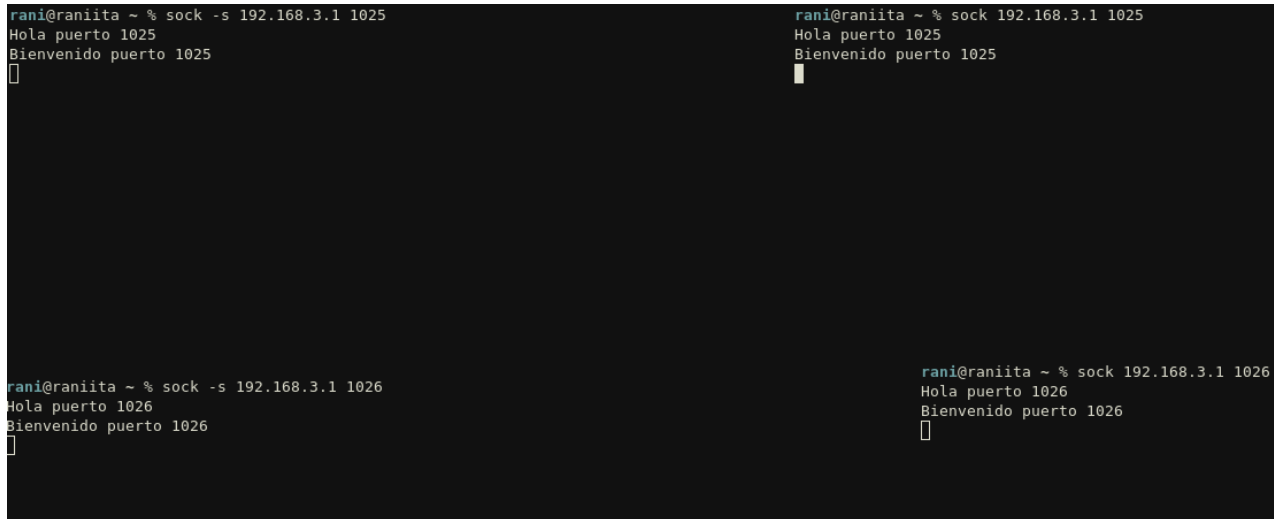
```
1 ip tuntap add dev tap0 mode tap
2 ip address add 192.168.3.1/24 dev tap0
3 ip link set tap0 up
4 ip route add 192.168.3.1 dev tap0
5
```

Una vez ya tenemos creada la interfaz, podemos proceder a comprobar la funcionalidad utilizando el programa `sock`. Para ello, vamos a crear dos instancias cliente-servidor, cada una con un puerto asociado diferente.

Ejemplo 7: Uso de aplicacion sock para crear cliente servidor asociado a un puerto

```
1 sock -s 192.168.3.1 1025      # Terminal 1 (servidor)
2 sock 192.168.3.1 1025        # Terminal 2 (cliente)
3
4 sock -s 192.168.3.1 1026      # Terminal 3 (servidor)
5 sock 192.168.3.1 1026        # Terminal 4 (cliente)
6
```

De esta manera, podemos escribir en cada una de las terminales, y comprobar que solo son recibidas por el servidor, o cliente, asociado al puerto de la terminal en cuestión. Es decir, en las interfaces tuntap tenemos aislamiento entre los diferentes puertos, por lo que funcionan de manera equivalente a un enlace ethernet físico. En la figura (11) podemos ver el ejemplo realizado.



```
rani@raniita ~ % sock -s 192.168.3.1 1025
Hola puerto 1025
Bienvenido puerto 1025
█

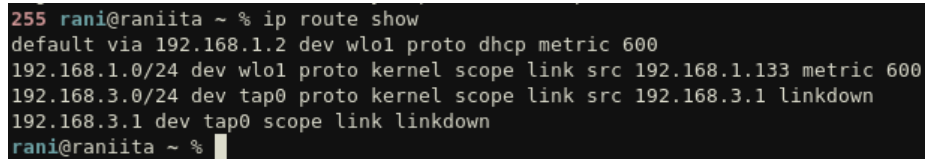
rani@raniita ~ % sock 192.168.3.1 1025
Hola puerto 1025
Bienvenido puerto 1025
█

rani@raniita ~ % sock -s 192.168.3.1 1026
Hola puerto 1026
Bienvenido puerto 1026
█

rani@raniita ~ % sock 192.168.3.1 1026
Hola puerto 1026
Bienvenido puerto 1026
█
```

Figura 11: Uso de la aplicación sock con interfaces tuntap.

Si comprobamos la tabla de enrutamiento de la interfaz creada, `tap0`, podemos ver como aparece asociado el trafico de la IP que le dimos a dicha interfaz, con que utilice la interfaz `tap0`. (Ver figura [12])



```
255 rani@raniita ~ % ip route show
default via 192.168.1.2 dev wlo1 proto dhcp metric 600
192.168.1.0/24 dev wlo1 proto kernel scope link src 192.168.1.133 metric 600
192.168.3.0/24 dev tap0 proto kernel scope link src 192.168.3.1 linkdown
192.168.3.1 dev tap0 scope link linkdown
rani@raniita ~ % █
```

Figura 12: Tabla de encamiamiento para una interfaz tuntap.

Por último, podemos comprobar la estructura de los paquetes enviados utilizando programas como Wireshark, tcpdump, etc. Es importante comentar que aunque los paquetes deberían viajar por la interfaz tap0, el kernel los redirige por loopback. En la figura 13 podemos ver un ejemplo de captura de un paquete enviado por el tap0.

ip.dst == 192.168.3.1						
No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
25	2.849978407	192.168.3.1	192.168.3.1	TCP	74	1025 → 49886 [PSH, ACK] Seq=1 Ack=1 Win=512 Len=8 TSval=605132816 TSecr=605069095
26	2.849998371	192.168.3.1	192.168.3.1	TCP	66	49886 → 1025 [ACK] Seq=1 Ack=9 Win=512 Len=0 TSval=605132816 TSecr=605132816

<ul style="list-style-type: none"> ▶ Frame 26: 66 bytes on wire (528 bits), 66 bytes captured (528 bits) on interface lo, id 0 ▶ Ethernet II, Src: 00:00:00_00:00:00 (00:00:00:00:00:00), Dst: 00:00:00_00:00:00 (00:00:00:00:00:00) ▶ Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.3.1, Dst: 192.168.3.1 ▼ Transmission Control Protocol, Src Port: 49886, Dst Port: 1025, Seq: 1, Ack: 9, Len: 0 <ul style="list-style-type: none"> Source Port: 49886 Destination Port: 1025 [Stream index: 12] [TCP Segment Len: 0] Sequence Number: 1 (relative sequence number) Sequence Number (raw): 3085149397 [Next Sequence Number: 1 (relative sequence number)] Acknowledgment Number: 9 (relative ack number) Acknowledgment number (raw): 1089008822 1000 = Header Length: 32 bytes (8) ▶ Flags: 0x010 (ACK) Window: 512 [Calculated window size: 512] [Window size scaling factor: -1 (unknown)] Checksum: 0x8779 [unverified] [Checksum Status: Unverified] Urgent Pointer: 0 ▶ Options: (12 bytes), No-Operation (NOP), No-Operation (NOP), Timestamps ▶ [SEQ/ACK analysis] ▶ [Timestamps]

Figura 13: Captura de un paquete emitido por la interfaz tap0.

4 Espacio de nombres en *Linux*

4.1 ¿Qué es un *espacio de nombres*?

Los *espacios de nombres*, o también llamados, *namespaces*, son una característica del kernel de Linux que permite gestionar los recursos del kernel, pudiendo limitarlos a un proceso o grupo de procesos. Suponen una base de tecnología que aparece en las técnicas de virtualización más modernas (como puede ser Docker, Kubernetes, etc). A un nivel alto, permiten aislar procesos respecto al resto del kernel.

El objetivo de cada *namespaces* es adquirir una característica global del sistema como una abstracción que haga parecer a los procesos de dentro del *namespace* que tienen su propia instancia aislada del recurso global.

4.2 ¿Cómo crear/acceder a un *namespace*?

Los namespaces normalmente se suelen asociar a procesos o aplicaciones en específico. Para manipular estos namespaces, podemos destacar las siguientes herramientas:

- `unshare`. Permite asociar un namespace a un archivo. Si había un namespace ya en ese archivo, lo sobrescribe. No nos permite reutilizar un namespace.
- `nsenter`. Puede acceder al namespace de un archivo existente. Podemos asociar el namespace a un archivo del sistema, de modo que aunque cerremos el proceso asociado, el archivo sigue existiendo, y por lo tanto puede ser reutilizado.

En resumen, si quisiéramos mantener “vivo” un namespace, sería necesario que lo asociemos con un archivo del sistema, y después volver a “crear” el namespace con la herramienta `nsenter` apuntando a dicho archivo. A modo de ejemplo, sería tal que así:

Ejemplo 8: Ejemplo de un persistencia namespace

```
1 touch /root/ns-uts # Creamos un archivo
2 unshare --uts=/root/ns-uts /bin/bash # Asociamos namespace UTS al archivo
3 hostname FooBar
4
5 # Salimos del namespace
6 exit
7
8 # Volvemos a entrar al namespace
9 nsenter --uts=/root/ns-uts /bin/bash
10 hostname # Nos devuelve 'FooBar'
11
12 # Salimos del namespace
13 exit
14
15 umount /root/ns-uts # Eliminamos el namespace definitivamente
16
```

Tal y como vemos en el ejemplo (8), utilizamos los comandos `unshare` y `nsenter` para manipular un namespace de tipo UTS (`hostname`), veremos más en profundidad este namespace en el

apartado 4.3.1. Lo importante es comprobar que si asociamos un namespace a un archivo, podemos recuperar dicho namespace si utilizamos el comando `nsenter`. Además, si quisieramos eliminar permanentemente dicho namespace, tendríamos que hacer uso del comando `umount`.

4.3 ¿Cuántos *namespaces* hay?

El kernel ha estado en constante evolución desde que 1991, cuando Linus Torvalds comenzó el proyecto, actualmente sigue muy activo y se siguen añadiendo nuevas características. El origen de los namespaces se remonta a la versión del kernel 2.4.19, lanzada en 2002. Conforme fueron pasando los años, más tipos diferentes de namespaces se fueron añadiendo a Linux. El concepto de *User namespaces*, se consideró terminado con la versión 3.9. [1]

Actualmente, tenemos 8 tipos diferentes de namespaces, siendo el último añadido en la versión 5.8 (lanzada el 2 de Agosto de 2020).

1. UTS (hostname)
2. Mount (mnt)
3. Process ID (pid)
4. Network (net)
5. User ID (user)
6. Interprocess Communication (ipc)
7. Control group (cgroup)
8. Time [3]

4.3.1 UTS namespace

El tipo más sencillo de todos los namespaces. La funcionalidad consiste en controlar el hostname asociado del ordenador, en este caso, del proceso o procesos asignados al namespace. Existen tres diferentes rutinas que nos permiten obtener y modificar el hostname:

- *sethostname()*
- *setdomainname()*
- *uname()*

En una situación normal sin namespaces, se modificaría una String global, sin embargo, si estamos dentro de un namespace, los procesos asociados tienen su propia variable global asignada.

Un ejemplo muy básico de uso de este namespace podría ser el siguiente [2]:

Ejemplo 9: Ejemplo de uso de UTS namespace

```
1 $ sudo su      # super user
2 $ hostname     # current hostname
3 > arch-linux
4 $ unshare -u /bin/sh  # shell with UTS namespace
5 $ hostname new-hostname # set hostname
6 $ hostname     # check hostname of the shell
7 > new-hostname
8 $ exit        # exit shell and namespace
9 $ hostname     # original hostname
10 > arch-linux
11
```

En el ejemplo planteado, vemos que utilizamos el comando `unshare`. Utilizando la documentación de dicho comando, `man unshare`. Podemos deducir lo siguiente:

- Ejecuta un programa con algunos namespaces diferentes del host.
- En los parámetros podemos especificar cual o cuales namespaces queremos desvincular.
- Tenemos que especificar la ruta del ejecutable que queremos aislar
- La sintaxis sería tal que: `unshare [options] <program> [<argument>...]`

4.3.2 Mount namespace

Un *mount namespace* (*mnt*) supone otro tipo de espacio de nombres, en este caso relacionado con los *mounts* de nuestro sistema. Lo primero es entender a que nos referimos cuando hablamos de *mount*. *Mount*, o montaje, hace referencia a conectar un sistema de archivos adicional que sea accesible para el sistema de archivos actual de un ordenador. Un *mount*, tiene asignado lo que se llama *mount point*, que corresponde con el directorio en el que está accesible el sistema de archivo que previamente hemos montado.

Por lo tanto, un namespace de tipo *mount* nos permite modificar un sistema de archivos en concreto, sin que el host pueda ver y/o acceder a dicho sistema de archivos. Un ejemplo básico de esta funcionalidad podría ser la siguiente:

Ejemplo 10: Example of usage mount namespace

```
1 $ sudo su      # run a shell in a new mount namespace
2 $ unshare -m /bin/sh
3 $ mount --bind /usr/bin/ /mnt/
4 $ ls /mnt/cp
5 > /mnt/cp
6 $ exit        # exit the shell and close namespace
7 $ ls /mnt/cp
8 > ls: cannot access '/mnt/cp': No such file or directory
9
```

Como vemos en el ejemplo, dentro del namespaces lo que hacemos es crear un *mount* de tipo *bind*, que tiene por función que un archivo de la máquina host se monte en un directorio en específico, en este caso, un directorio únicamente del programa que hemos asignado al namespace. Otro ejemplo de uso de estos namespaces es crear un sistema de archivos temporal que solo sea visible para ese proceso.

4.3.3 Process ID namespace

Para entender en que consiste este namespace, primero tenemos que conocer la definición de *process id* dentro del Kernel. En este caso, *process id* hace referencia a un número entero que utiliza el Kernel para identificar los procesos de manera unívoca. [8]

Concretando, aísla el namespace de la ID del proceso asignado, dando lugar a que, por ejemplo, otros namespaces puedan tener el mismo PID. Esto nos lleva a la situación de que un proceso dentro de un *PID namespace* piense que tiene asignado el ID "1", mientras que en la realidad (en la máquina host) tiene otro ID asignado.

Ejemplo 11: Uso de process id namespace

```
1 $ echo $$      # PID de la shell
2 $ ls -l /proc/$$/ns # ID espacios de nombres
3 $ sudo unshare -f --mount-proc -p /bin/sh
4 $ echo $$      # PID de la shell dentro del ns
5 $ ls -l /proc/$$/ns # nuevos ID espacio de nombres
6 $ ps
7
8 $ ps -ef      # ejecutar en una shell fuera del ns. Comparar PID
9 $ exit
10
```

Si ejecutamos el ejemplo, lo que podemos comprobar es que el ID del proceso que está dentro del namespaces (`echo $$`), no coincide con el proceso que podemos ver de la máquina host (`ps -ef | grep /bin/sh`). Más concretamente, el primer proceso creado en un PID namespace recibirá el pid número 1, y además de un tratamiento especial ya que supone un `init process` dentro de ese namespace [2].

4.3.4 Network namespace (netns)

Este namespaces nos permite aislar la parte red de una aplicación o proceso que nosotros elijamos. Con esto conseguimos que el *stack* de red de la máquina host sea diferente al que tenemos en nuestro namespace. Debido a esto, el namespace crea una interfaz virtual, conjunto con el resto de necesidades para conformar un stack de red completo (tabla de enrutamiento, tabla ARP, etc...).

Para crear un *namespace* de tipo *network*, y que este sea persistente, utilizamos la *tool* ip (del *package* iproute2).

Ejemplo 12: Creation persistent network namespace

```
1 $ ip netns add ns1
2
```

Este comando creará un network namespace llamado ns1. Cuando se crea dicho namespace, el comando ip realiza un montaje tipo bind en la ruta /var/run/netns, permitiendo que el namespace sea persistente aún sin tener un proceso asociado.

Ejemplo 13: Comprobar network namespaces existentes

```
1 $ ls /var/run/netns
2 or
3 $ ip netns
4
```

Como ejemplo, podemos proceder a añadir una interfaz de *loopback* al namespace que previamente hemos creado:

Ejemplo 14: Asignar interfaz loopback a un namespace

```
1 $ ip netns exec ns1 ip link dev lo up
2 $ ip netns exec ns1 ping 127.0.0.1
3 > PING 127.0.0.1 (127.0.0.1) 56(84) bytes of data.
4 > 64 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.115 ms
5
```

La primera línea de este ejemplo, corresponde con la directiva que le dice al namespace que "leve" la interfaz de loopback. La segunda línea, vemos como el namespace ns1 ejecuta el ping a la interfaz de loopback (el loopback de ese namespace).

Es importante mencionar, que aunque existen más comandos para gestionar las redes dentro de linux (como pueden ser ifconfig, route, etc), el comando ip es el considerado sucesor de todos estos, y los anteriores mencionados, dejarán de formar parte de Linux en versiones posteriores. Un detalle a tener en cuenta con el comando ip, es que es necesario tener privilegios de administrador para poder usarlo, por lo que deberemos ser root o utilizar sudo.

Por lo tanto, utilizando el comando ip, podemos recapitular que si utilizamos la siguiente directiva, podemos ejecutar el comando que nosotros indiquemos, pero dentro del network namespace que previamente hemos creado.

Ejemplo 15: Ejecutar cualquier programa con un network namespace

```
1 $ ip netns exec <network-namespace> <command>
2
```

Ejemplo práctico

Una de las problemáticas que supone el uso de los network namespaces, es que solo podemos asignar **una interfaz real a un namespace**. Suponiendo el caso en el que el usuario root tenga asignada la interfaz eth0 (identificador de una interfaz de red física), significaría que solo los programas en el namespace de root podrán acceder a dicha interfaz. En el caso de que eth0 sea la salida a Internet de nuestro sistema, pues eso conllevaría que no podríamos tener conexión a Internet en nuestros namespaces. La solución para esto reside en los **veth-pair**.

Un veth-pair funciona como si fuera un cable físico, es decir, interconecta dos dispositivos, en este caso, interfaces virtuales. Consiste en dos interfaces virtuales, una de ellas asignada al root namespace, y la otra asignada a otro network namespace diferente. Si a esta arquitectura le añadimos una configuración de IP válida y activamos la opción de hacer NAT en el eth0 del host, podemos dar conectividad de Internet al network namespace que hayamos conectado.

Ejemplo 16: Ejemplo configuración de NAT entre eth0 y veth

```
1 # Remove namespace if exists
2 $ ip netns del ns1 &>/dev/null
3
4 # Create namespace
5 $ ip netns add ns1
6
7 # Create veth link
8 $ ip link add v-eth1 type veth peer name v-peer1
9
10 # Add peer-1 to namespace.
11 $ ip link set v-peer1 netns ns1
12
13 # Setup IP address of v-eth1
14 $ ip addr add 10.200.1.1/24 dev v-eth1
15 $ ip link set v-eth1 up
16
17 # Setup IP address of v-peer1
18 $ ip netns exec ns1 ip addr add 10.200.1.2/24 dev v-peer1
19 $ ip netns exec ns1 ip link set v-peer1 up
20 # Enabling loopback inside ns1
21 $ ip netns exec ns1 ip link set lo up
22
23 # All traffic leaving ns1 go through v-eth1
24 $ ip netns exec ns1 ip route add default via 10.200.1.1
25
```

Si siguiendo el ejemplo propuesto, llegamos hasta el punto en el que el tráfico saliente del namespace ns1, será redirigido a v-eth1. Sin embargo, esto no es suficiente para tener conexión a Internet. Tenemos que configurar el NAT en el eth0.

Ejemplo 17: Configuración de NAT para dar Internet a un network namespace

```
1 # Share internet access between host and NS
2
3 # Enable IP-forwarding
4 $ echo 1 > /proc/sys/net/ipv4/ip_forward
5
6 # Flush forward rules, policy DROP by default
7 $ iptables -P FORWARD DROP
8 $ iptables -F FORWARD
9
10 # Flush nat rules.
11 $ iptables -t nat -F
12
13 # Enable masquerading of 10.200.1.0 (ip of namespaces)
14 $ iptables -t nat -A POSTROUTING -s 10.200.1.0/255.255.255.0 -o eth0
15   -j MASQUERADE
16
17 # Allow forwarding between eth0 and v-eth1
18 $ iptables -A FORWARD -i eth0 -o v-eth1 -j ACCEPT
19 $ iptables -A FORWARD -o eth0 -i v-eth1 -j ACCEPT
20
```

Si todo lo hemos configurado correctamente, ahora podríamos realizar un ping hacia Internet, y este nos debería resultar satisfactorio.

```
$ ip netns exec ns1 ping google.es
> PING 8.8.8.8 (8.8.8.8) 56(84) bytes of data.
> 64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=1 ttl=50 time=48.5ms
> 64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=2 ttl=50 time=58.5ms
```

Aún así, no resulta muy cómodo el utilizar `ip netns exec` seguido de la aplicación a utilizar. Es por esto por lo que es común ejecutar dicho comando para asignar el network namespace a una shell. Esto sería tal que así:

```
$ ip netns exec ns1 /bin/bash
```

Utilizaremos `exit` para salir de la shell y abandonar el network namespace.

4.3.5 User ID (user)

Cada sistema dispone de una manera de monitorizar que usuario es el dueño de cada archivo. Esto permite al sistema restringir el acceso a aquellos archivos que consideramos sensibles. Además, bloquea el acceso entre diferentes usuarios dentro del mismo sistema. Para el usuario, este identificador de usuarios se muestra como el usuario que en ese momento está conectado, sin embargo, para nuestro sistema, el identificador de usuario esta compuesto por una combinación arbitraria de caracteres alfanuméricos. Con el fin de mantener el monitoreo correctamente, hay un proceso encargado de transformar esos caracteres a un número específico de identificación (UID), como por ejemplo sería 1000. Es este valor el que se asocia con los archivos creados por este usuario. Esto nos aporta la ventaja de que, si un usuario cambia su nombre, no es necesario reconstruir el sistema de archivos, ya que su UID sigue siendo 1000.

Si por ejemplo queremos ver el UID del usuario que estamos usando en este momento, podemos ejecutar: `echo $UID`, el cual nos devolverá el número asociado a nuestro usuario, en mi caso es el 1000.

Además de diferenciar entre los IDs de usuarios (UID), también se nos permite separar entre IDs de grupos (GID). En linux, un grupo sirve para agrupar usuarios de modo que un grupo puede tener asociado un privilegio que le permite usar un recurso o programas.

Por lo tanto, el namespace de UID, lo que nos permite es tener un UID y GID diferente al del host.

Ejemplo 18: Ejemplo de uso UID namespace

```
1 $ ls -l /proc/$$/ns # espacios de nombres originales
2 $ id
3 > uid=1000(user) gid=1000(user) groups=1000(user), ...
4 $ unshare -r -u bash # Crea un namespace de tipo usuario, programa bash
5 $ id
6 > uid=0(root) gid=0(root) groups=0(root),65534(nobody)
7 $ cat /proc/$$/uid_map
8 >          0          1000          1
9 $ cat /etc/shadow # No nos deja acceder
10 > cat: /etc/shadow: Permission denied
11 $ exit
12
```

Como vemos en el ejemplo, el UID de usuario difiere de la máquina host. Dentro del namespace, tenemos UID 0, sin embargo, eso no significa que podamos acceder a los archivos con UID 0 de la máquina host, ya que en verdad lo que hace el namespace es *mapear* el UID 1000 al 0. [2]

4.3.6 Interprocess Communication namespace (IPC)

Este namespace supone uno de los más técnicos, complicados de entender y explicar. IPC (Inter-process communication) controla la comunicación entre procesos, utilizando zonas de la memoria que están compartidas, colas de mensajes, y semáforos. La aplicación más común para este tipo de gestión es el uso en bases de datos.

4.3.7 Control group (cgroup)

Los grupos de control, o `cgroups`, de Linux suponen un mecanismo para controlar los diferentes recursos de nuestro sistema. Cuando un `cgroup` está activo, puede controlar la cantidad de CPU, RAM, acceso I/O, o cualquier faceta que un proceso puede consumir. Además, permiten definir jerarquías en las que se agrupan, de manera en la que el administrador del sistema puede definir como se asignan los recursos o llevar la contabilidad de los mismos. `Cgroups` permite las siguientes funcionalidades [35]:

- **Limitar recursos.** Podemos configurar un grupo para limitar un recurso (o varios de ellos) para cada proceso que asignemos.
- **Priorizar tareas.** Podemos controlar cuantos recursos utiliza un proceso, comparándolo con otro proceso en un grupo diferente.
- **Monitorización.** Los límites establecidos para los recursos son monitorizados y son reportados al usuario.
- **Control.** Podemos controlar el estado de los procesos asociados a un grupo con un solo comando, pudiendo elegir entre “congelado”, “parado” o “reiniciado”.

La primera versión de `cgroups` aparece en el Kernel en 2007, siendo esta la versión más estandarizada por la mayoría de distribuciones. Sin embargo, en 2016 aparece `cgroups v2` en el Kernel, aportando mejoras en la simplificación de los arboles de jerarquías de la ruta `/sys/fs/cgroup`, además de nuevas interfaces, aportando las bases para contenedores que utilizan el concepto de “*rootless*”.

En el caso de la versión `v1`, los `cgroups` se crean en el sistema de archivos virtual en la ruta `/sys/fs/cgroup`. Para crear un nuevo grupo, en nuestro caso con el objetivo de limitar un proceso en memoria, tendríamos que ejecutar lo siguiente:

```
mkdir /sys/fs/cgroup/memory/<NombreGrupo>
```

De esta manera, ya tendríamos un nuevo grupo creado, asociado al `cgroup` de `memory`. Si ejecutamos el comando `ls` en el directorio que acabamos de crear, podemos comprobar como se han generado una serie de recursos:

```
root@rani-arch /home/rani # cd /sys/fs/cgroup/memory/test_cg
root@rani-arch /sys/fs/cgroup/memory/test_cg # ls
cgroup.procs          memory.kmem.tcp.failcnt  memory.kmem.max_usage_in_bytes  memory.max_usage_in_bytes  memory.oom_control      tasks
cgroup.clone_children memory.memsw.failcnt     memory.kmem.tcp.limit_in_bytes  memory.memsw.limit_in_bytes memory.pressure_level
cgroup.event_control  memory.stat              memory.kmem.tcp.max_usage_in_bytes memory.memsw.max_usage_in_bytes memory.soft_limit_in_bytes
memory.failcnt         memory.swappiness        memory.kmem.tcp.usage_in_bytes  memory.memsw.usage_in_bytes memory.usage_in_bytes
memory.kmem.failcnt    memory.force_empty       memory.kmem.usage_in_bytes      memory.move_charge_at_immigrate memory.use_hierarchy
memory.kmem.slabinfo   memory.kmem.limit_in_bytes memory.limit_in_bytes           memory.numa_stat            notify_on_release
```

Figura 14: Archivos asociados al grupo `test_cg` una vez lo creamos

Si quisiéramos establecer un límite en el uso de memoria, tendríamos que escribir en el archivo `memory.limit_in_bytes`, a modo de ejemplo, establecemos un límite de 50MB. Esto se haría tal que:

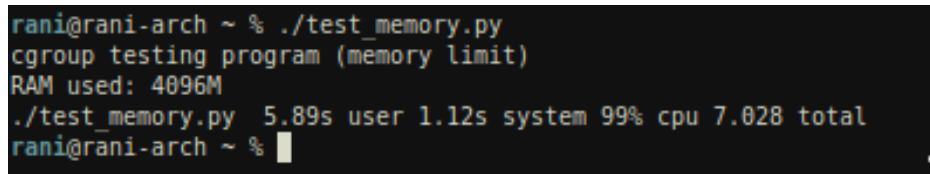
```
echo 50000000 > /sys/fs/cgroup/memory/<NombreGrupo>/memory.limit_in_bytes
```

Para comprobar el funcionamiento de este límite de memoria, vamos a asociarle un programa escrito en Python que consume mucha memoria RAM de golpe. El programa en cuestión vendría dado por el siguiente código:

Ejemplo 19: Programa en Python que consume 4 GB de RAM

```
1 #!/usr/bin/python
2 import numpy
3
4 print("cgroup testing program (memory limit)")
5 result = [numpy.random.bytes(1024*1024) for x in range(1024*4)]
6 print("RAM used: {}M".format(len(result)))
7
```

Ejecutamos el programa, y comprobamos como la salida por consola es tal que:



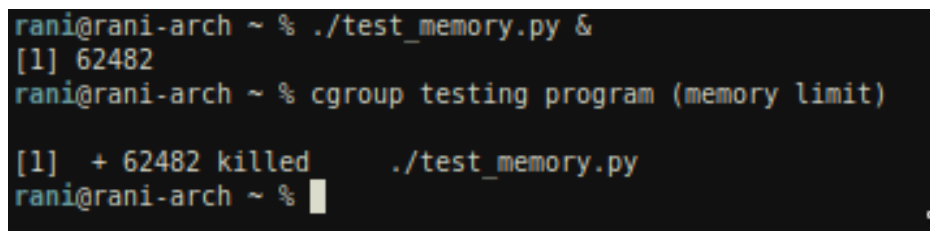
```
rani@rani-arch ~ % ./test_memory.py
cgroup testing program (memory limit)
RAM used: 4096M
./test_memory.py 5.89s user 1.12s system 99% cpu 7.028 total
rani@rani-arch ~ %
```

Figura 15: Salida tras ejecutar el programa de Python sin limitar

Sin embargo, ahora vamos a proceder a limitar ese mismo programa en memoria. Para ello, vamos a añadir el PID asociado a la ejecución de dicho programa al siguiente archivo (ejecutando el script `./test_memory.py &`, nos aparece el PID):

```
echo 62482 > /sys/fs/cgroup/memory/test_cg/cgroup.procs
```

De esta manera ya estaríamos limitando la memoria de ese programa en concreto. Al limitarlo, podemos comprobar como la salida en consola es tal que:



```
rani@rani-arch ~ % ./test_memory.py &
[1] 62482
rani@rani-arch ~ % cgroup testing program (memory limit)

[1] + 62482 killed      ./test_memory.py
rani@rani-arch ~ %
```

Figura 16: Salida tras ejecutar el programa de Python, una vez limitado

Como podemos comprobar en las imágenes [15] y [16], la salida del programa no coincide. Esto es debido a que como el programa Python ha superado el límite establecido para su grupo, `cgroups` cerró bruscamente dicho programa, por lo tanto no nos aparece la memoria consumida por el programa, solo se nos notifica que el proceso con PID 62482 ha pasado a estado “*killed*”.

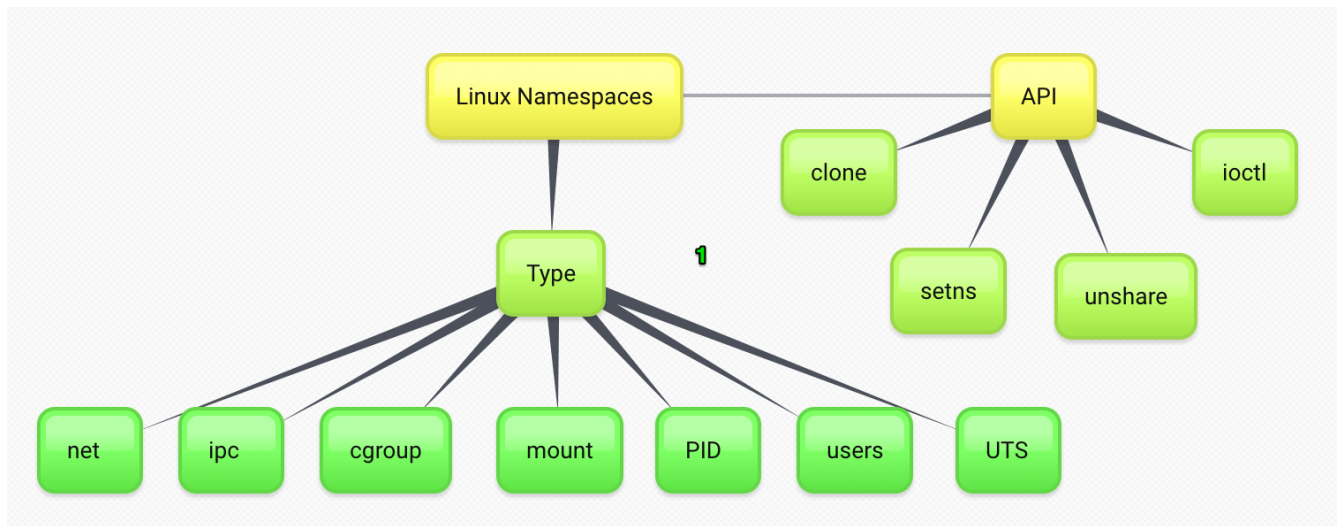


Figura 17: Diferentes namespaces en Linux y su API de acceso. (5)

4.3.8 Time

Por último, nos queda el namespaces asociado al tiempo. Este namespace fue propuesto para que se incorporara al kernel de Linux en 2018 y en enero de 2020 fue añadido a la versión mainline de Linux. Apareció en la release 5.6 del kernel de Linux.

El namespace time, permite que por cada namespace que tengamos, podamos crear desfases entre los relojes monotónicos (CLOCK_MONOTONIC) y de boot (CLOCK_BOOTTIME), de la máquina host. Esto permite que dentro de los contenedores se nos permita cambiar la fecha y la hora, sin tener que modificar la hora del sistema host. Además, supone una capa más de seguridad, ya que no estamos vinculando directamente la hora a los relojes físicos de nuestro sistema. [13]

Un namespace de tipo time, es muy similar al namespace de tipo PID en la manera de como lo creamos. Utilizamos el comando `unshare -T`, y mediante una `systemcall` se nos creará un nuevo time namespace, pero no lo asocia directamente con el proceso. Tenemos que utilizar `setns` para asociar un proceso a un namespace, además todos los procesos dependientes también tendrán asignado dicho namespace.

4.4 Ejemplo de uso de 'netns' usando comando **ip**

En este apartado, vamos a detallar un ejemplo de como funciona el comando IP manejando los 'network namespaces'.

Creamos los *network namespaces*, en este caso, con nombre h1 y h2. El sistema no crea directamente el namespace, lo que en realidad hace es definirlos en el sistema. El *network namespace* se crea cuando una aplicación se asocia a el.

```
$ ip netns add h1
$ ip netns add h2
```

Si utilizamos el comando `ip netns`, nos mostrará los netns existentes. Como es un sub-comando de `ip`, muestra los ns que el comando `lsns` no muestra.

Procedemos a asociar una aplicación a cada netns. Utilizamos `bash`.

```
$ ip netns exec h1 bash
$ ip netns exec h2 bash
```

Ahora, si que podemos utilizar el comando `lsns`. Comprobamos que si nos aparecen los ns que hemos creado, cosa que antes de asociar una aplicación al ns, no pasaba.

El comando `ip` crea automaticamente un *nsfs* para poder colocar los archivos de configuración del *netns*. Para ello, debe crearse el directorio `/etc/netns/h1` y poner en el los archivos de configuración de la red.

```
$ mkdir /etc/netns/h1
$ echo "nameserver 8.8.8.8" > /etc/netns/h1/resolv.conf
```

En este momento, tenemos el ns configurado con DNS. Nos quedaría realizar la conexión entre el ethernet físico de nuestro *host* y las interfaces de nuestros namespaces. Para ello, vamos a utilizar un conmutador virtual, en este caso Open vSwitch.

```
$ systemctl enable --now openvswitch.service
```

Creamos un *brige* utilizando el OpenvSwitch.

```
$ $ ovs-vsctl add-br s1
```

Utilizando el comando `ip`, creamos las interfaces virtuales de ethernet y las asignamos a sus namespaces.

```
$ ip link add h1-eth0 type veth peer name s1-eth1
$ ip link add h2-eth0 type veth peer name s1-eth2
$ ip link set h1-eth0 netns h1
$ ip link set h2-eth0 netns h2
```

Utilizando el comando `ovs-vsctl`, asignamos al *bridge* el otro par ethernet que hemos creado para cada namespace.

```
$ ovs-vsctl add-port s1 s1-eth1
$ ovs-vsctl add-port s1 s1-eth2
```

Verificamos que el controlador sea *standalone*, así el switch se comportará como un *learning-switch*.

```
$ ovs-vsctl set-fail-mode br0 standalone
```

Como la conexión es desde localhost al exterior, entendemos que es una conexión fuera de banda.

```
$ ovs-vsctl set controller br0 connection-mode=out-of-band
```

En este momento, tenemos todos configurado a falta de habilitar las diferentes interfaces de nuestra topología.

```
$ ip netns exec h1 ip link set h1-eth0 up
$ ip netns exec h1 ip link set lo up
$ ip netns exec h1 ip add add 10.0.0.1/24 dev h1-eth0
$ ip netns exec h2 ip link set h2-eth0 up
$ ip netns exec h2 ip link set lo up
$ ip netns exec h2 ip add add 10.0.0.2/24 dev h2-eth0
$ ip link set s1-eth1 up
$ ip link set s1-eth2 up
```

Ahora tenemos todas las interfaces configuradas, el switch activado y el sistema interconectado, por lo que podemos ejecutar un ping en una de las terminales de los namespaces para verificar la topología.

```
$ ip netns exec h1 ping -c4 10.0.0.2
```

Si queremos revertir todas las configuraciones que hemos hecho, lo que tenemos que hacer es ejecutar los siguientes comandos:

```
$ ovs-vsctl del-br s1
$ ip link delete s1-eth1
$ ip link delete s1-eth2
$ ip netns del h1
$ ip netns del h2
```

4.5 Ejemplo de uso de 'netns' usando comando **unshare**

En el ejemplo anterior, utilizabamos el comando `ip` para manejar los netns, sin embargo, eso nos limitaba los tipos namespaces que queriamos asignar a nuestro namespace. En contra partida a esto, el comando `unshare` nos da más libertad a la hora de crear los namespaces.

Utilizando `unshare`, no podemos ponerle un nombre, pero sí que nos permite asociarlo a un archivo, que montará con tipo `bind`. Esto nos permitirá utilizar en namespace aunque no haya ningún proceso corriendo en el, para ello podemos utilizar el comando `nsenter`.

```
$ touch /var/net-h1
$ touch /var/uts-h1
$ unshare --net=/var/net-h1 --uts=/var/uts-h1 /bin/bash
```

Utilizando el comando `nsenter` podemos ejecutar comandos dentro del namespace.

```
$ nsenter --net=/var/net-h1 --uts=/var/uts-h1 hostname h1
$ nsenter --net=/var/net-h1 --uts=/var/uts-h1 ip address
```

Para destruir el namespace, lo que tendremos que hacer es desmontar los archivos asignados a dicho namespace.

```
$ umount /var/net-h1
$ umount /var/uts-h1
```

Como será común necesitar más de un namespace, de ahora en adelante tendremos que utilizar los comandos `unshare` y `nsenter`.

5 Virtualización ligera y contenedores

5.1 Contenedores usando **unshare**

5.2 Contenedores LXC

5.3 Contenedores Docker

6 Caso práctico: Virtualización para simulación de redes

6.1 Interconexión física de diferentes red virtuales

6.2 Evaluación de prestaciones

7 Conclusiones

7.1 Propuestas futuras

Bibliografía

Enlaces y referencias

1. *Namespaces*
2. Tutorial: Espacio de nombres en Linux
3. *Time namespaces coming to linux*
4. *Container is a lie. Namespaces*
5. *Namespaces. Uso de cgroups.*
6. *Introduction to Network Namespaces*
7. *Build a container by hand: the mount namespace*
8. Identificador de procesos (*process id*)
9. *Linux PID namespaces work with containers*
10. *Network Namespaces*
11. *Introduction to Linux interfaces for virtual networking*
12. *Introducción a los grupos de control (cgroups) de Linux*
13. *Time namespaces*
14. *Network namespaces. Assign and configure*
15. How to configure Network Between Guest VM and Host in Virtualbox
16. How to install ansible on fedora for it and server automation
17. *Herramientas de virtualización libres para sistemas GNU/Linux*
18. *What is Network Function Virtualization(NFV)?*
19. NFV white paper
20. Youtube: NFV y SDN: las redes del futuro y del presente - Cristina Santana — T3chFest 2018
21. Percentage of server that run in Linux
22. ¿Qué son las redes definidas por software (SDN)?
23. ¿Qué son las redes virtuales?
24. *Arch Linux Wiki: udev*

25. Predictable Network Interface Names
26. Open vSwitch
27. Veth Devices, Network Namespaces and Open vSwitch
28. IEEE 802.1ad
29. FS.COM QinQ Operation
30. OpenWrt: Linux Network Interfaces
31. SDN & NFV
32. TUN/TAP interface (on Linux)
33. Creating tap/tun devices with IP tuntap and tuncctl as detailed in Linux network tools
34. Principio de diseño del controlador TUN/TAP de la tarjeta virtual
35. What are namespaces cgroups how do they work
36. TFG. Evaluación de prestaciones mediante NVF
37. Aplicación sock
38. Fundamentos de Docker

Imágenes

1. NFV white paper
2. *What is Network Function Virtualization(NFV)?*
3. SDN & NFV
4. FS.COM QinQ Operation
5. Namespaces y API de acceso.
6. Wikipedia: TUN/TAP
7. Docker - container and lightweight virtualization

Anexos

Anexo 1. Instalación de **ansible** para automatizar una VM

En el caso de que queramos utilizar la herramienta ansible para configurar una VM, tendremos que seguir los siguientes pasos.

1. Asegurarnos de que tenemos instalado el programa en el host. La principal dependencia de ansible es Python.

Para instalar ansible en diferentes distribuciones sería tal que:

- Ubuntu 21.04:

Ejemplo 20: Instalación ansible en Ubuntu

```
1 sudo apt install -y software-properties-common
2 sudo add-apt-repository --yes --update ppa:ansible/ansible
3 sudo apt update
4 sudo apt install -y ansible
5
```

- Fedora 32:

Ejemplo 21: Instalación ansible en Fedora

```
1 sudo dnf update
2 sudo dnf install ansible
3
```

- OpenSUSE:

Ejemplo 22: Instalación ansible en OpenSUSE

```
1 zypper in ansible
2
```

- Arch Linux:

Ejemplo 23: Instalación ansible en Arch Linux

```
1 sudo pacman -S ansible
2
```

2. Creamos una clave SSH para utilizarla como método de autenticación con la maquina virtual.

Ejemplo 24: Crear clave SSH para autenticación en VM

```
1 (host)$ ssh-keygen -t ed25519 -C "Host Ansible ssh key"
2
```

3. Utilizando nuestro gestor de máquinas virtuales, encendemos la VM. Es importante que nos aseguremos que tiene internet, por lo que configuramos que la interfaz de red sea de tipo *NAT*. Dentro de la máquina, buscaremos que ip tiene asignada con el comando `ip address`. Desde este momento, dejaremos la máquina virtual encendida.
4. Procedemos a copiar la clave pública SSH que hemos generado en el paso dos. Utilizamos el siguiente comando, sustituyendo con el usuario e IP específico de la máquina. Tendremos que configurar una red tipo *Host-only network* para poder comunicarnos correctamente con nuestra máquina virtual, para ello podemos seguir los pasos detallados en [15]

Ejemplo 25: Copiar clave pública de ansible a VM

```
1 (host)$ ssh-copy-id -i $HOME/.ssh/id_ed25519.pub <user>@<IP VM>
2
```

5. En este momento ya podríamos conectar con la máquina virtual utilizando `ansible`. Sin embargo, por comodidad, lo que vamos a hacer es crear un archivo que funcione con inventario de servidores. Nos servirá para guardar las direcciones IP de los servidores en los que queremos ejecutar comandos remotos con `ansible`. Para ello, creamos un archivo `inventory`. Como ejemplo, dicho archivo puede ser tal que:

Ejemplo 26: Contenido del archivo inventory de ansible

```
1 ## VMs locals
2 [virtualbox]
3 10.0.100.1
4 10.0.100.2
5
6 ## Server SSH
7 [server]
8 192.168.1.200
9
```

6. Para probar la conectividad. Nos aseguramos de que tenemos la máquina virtual encendida y que además, hemos copiado la clave ssh y tenemos su IP añadida a nuestro inventario. Después, procedemos a ejecutar el siguiente comando en la máquina host:

```
(host)$ ansible -i inventory -m ping
```

En la consola nos aparecerá la información de cada uno de las IP que habrá probado para ejecutar el comando remoto `ping`.

Anexo 2. Configuración de *Guest Network* para comunicar con la VM

Para comunicar nuestra máquina host [15], con una *virtual machine* es necesario que estén en una misma red, es por esto por lo que vamos a crear una red en específico para ello. En el programa *Virtualbox*, esta funcionalidad recibe el nombre de *Host-only*.

Es importante que cuando queramos configurar una máquina virtual con esta funcionalidad que siempre pongamos el adaptador de red 1 como el que tendrá la comunicación *guest*, mientras que el adaptador 2 será el que tendrá la conexión a internet via *NAT*.

Procedemos a enumerar los pasos a seguir para configurar una máquina virtual con conectividad con el host, utilizando *Virtualbox*.

1. Abrimos el programa *Virtualbox*. Navegamos a la sección: **File** → **Preferences**.
2. Seleccionamos la tabla de ***Host-only Networks***. Procedemos a pulsar el botón + para añadir una nueva red.
3. Asignamos las diferentes IP que consideremos. Es importante que dejemos activado el servidor DHCP, así la máquina virtual tendrá una IP válida dentro de la red.
4. Ahora, lo que tenemos que hacer es añadir una interfaz de red a nuestra máquina virtual. Para ello, vamos a las **Settings** de la máquina virtual. En el apartado de Network, cambiamos el **Adapter 1** a **Host-only Adapter**, y asignamos una segunda interfaz de red con NAT (Adapter 2 attached to NAT).
5. Para comprobar que lo hemos hecho correctamente. Arrancamos la máquina virtual, ejecutamos el comando `ip address`. Nos deberían aparacer las diferentes interfaces que previamente hemos configurado, es decir, una interfaz de loopback, otra que corresponde al Host-only network, y por último, una que corresponda con la interfaz de NAT.

Anexo 3. Playbooks **ansible**