



Trabajo Fin de Grado

Virtualización de escritorio para posibilitar la movilidad de usuarios entre nodos de SIMACET.

Autor

Martín Zornoza Auñón

Director/es

Director académico: Dra. M. Teresa Lamelas Gracia

Director militar: Tte. Miguel Ángel de la Vega Igles

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

2019

Agradecimientos

Quiero, en primer lugar, dar las gracias a todo el personal del Batallón de Transmisiones II, por su disponibilidad permanente para ofrecerme su ayuda durante mi estancia en las prácticas externas. Agradezco en especial, la dedicación de la Compañía de Centros de Transmisiones de Puesto de Mando. Su empeño y dedicación han sido de gran ayuda en mi formación y en la elaboración de este trabajo.

En segundo lugar, quiero agradecer este trabajo a mi tutora, la Dra. Dña. M. Teresa Lamelas Gracia, por su dedicación en las correcciones para lograr la mejor versión posible de este texto.

En tercer lugar, agradezco el gran esfuerzo realizado por el profesor D. Sergio Pérez Gaviro, de no ser por su labor y apoyo inicial este trabajo no hubiese sido posible. Su disponibilidad permanente y su interés en lograr que mi Trabajo de Fin de Grado cumplierse los requisitos iniciales, han resultado fundamentales.

En último lugar, quiero dar las gracias al Tte. Miguel Ángel de la Vega Iges, por su dedicación y su esfuerzo en lograr que la redacción de este trabajo se realizase en las mejores condiciones, posibilitando la formación y el uso de los medios de transmisiones disponibles.

Abstract

User mobility is an important factor that can limit the actions of the Army. Changing the location with the current means forces to transport the user's personal equipment and to establish specific configurations in the SIMACET nodes, foreseeing in advance the movements that the users will carry out.

Advances in desktop virtualization technologies offer an alternative to this situation. These techniques consist of separating the physical equipment used by the user from the logical part executed by the desktop, thus being independent of the user's location.

The implementation of this technology can be done by different methods and with different operating systems. The Army acquires licenses from Microsoft to support certain information services. This implies a periodic cost, due to the fact that the support of updates has a concrete duration and an operating system not updated is insecure.

The change from the current situation towards desktop virtualization requires, therefore, the study and comparison not only of the different methods by which it can be established, but also of the operating systems that will support this technology. It could be these open source operating systems, which would not involve any cost in acquiring licenses, given the limited budget available to the Army, or Microsoft owners, requiring the purchase of new licenses to maintain a secure environment and support updates.

This End of Degree Project of the study of the implementation of desktop virtualization in SIMACET.

To this end, a study has been made of the state of the art of this information system, SIMACET and the operating system that supports it, Windows Server. Later on, the different possibilities offered by desktop virtualization were analyzed.

Finally, the different alternatives for implementing desktop virtualization have been tested, using tools to improve performance. In these tests the processing capacity, the efficiency in the use of the main memory, the reading and writing speed of the storage and the use of the network resources have been measured. The result establishes as the best alternative to using, the desktop in the cloud, using open source software. This solution being possible with the expected arrival of new transmission means.

Índice

Abstract.....	III
Índice	IV
Lista de ilustraciones	VI
Lista de Tablas.....	VII
Lista de acrónimos.....	VIII
1 Introducción.....	- 1 -
1.1 Motivación.....	- 1 -
1.2 Objetivo y alcance del proyecto	- 2 -
1.3 Metodología y estructura de la memoria	- 2 -
2 Situación actual	- 3 -
2.1 SIMACET.....	- 3 -
2.1.1 Virtualización	- 4 -
2.1.2 Hipervisor	- 4 -
2.1.3 Máquina virtual	- 5 -
2.2 Windows Server 2008 R2.....	- 6 -
2.2.1 Hyper-V	- 6 -
2.2.2 Active Directory	- 6 -
3 Virtualización de escritorio	- 8 -
3.1 Virtualización de aplicación	- 8 -
3.2 Virtualización de sesión.....	- 9 -
3.3 Infraestructura virtual de escritorio	- 10 -
3.4 Escritorio como un servicio.....	- 12 -
4 Comparación práctica de alternativas.....	- 14 -
4.1 Disposición para las pruebas	- 14 -
4.2 Prueba de rendimiento	- 15 -
4.3 Pruebas de almacenamiento	- 16 -
4.4 Pruebas de memoria.....	- 17 -
4.5 Pruebas de red.....	- 20 -
4.6 Análisis multicriterio	- 23 -
5 Conclusiones.....	- 26 -
Líneas futuras de trabajo.....	- 26 -

Bibliografía.....	i
Anexo A: Configuración detallada de los equipos	viii
Anexo B: Coste de un servidor físico frente a una licencia	ix
Anexo C: Resultados completos de las pruebas	xi

Lista de ilustraciones

Ilustración 1: Linux ejecutado en un SO Windows 10 anfitrión.	- 4 -
Ilustración 2: Esquema de hipervisor de tipo 1 e hipervisor de tipo 2.....	- 5 -
Ilustración 3: Estructura de Active Directory.	- 7 -
Ilustración 4: Esquema de servidores para la virtualización de escritorio.....	- 10 -
Ilustración 5:Rendimiento medio.....	- 15 -
Ilustración 6: Tiempo medio requerido.....	- 17 -
Ilustración 7: Funcionamiento KSM.....	- 19 -
Ilustración 8: VM en ejecución.....	- 20 -
Ilustración 9: Esquema de almacenamiento RAID 0 y RAID 10.	- 21 -
Ilustración 10: Consumo de red.	- 23 -
Ilustración B. 1: Listado de componentes del servidor expuesto en el Anexo A. Fuente: Elaboración propia.	x
Ilustración C. 1: Resultados Geekbench. Fuente: www.browser.geekbench.com	xii
Ilustración C. 2: Resultados en pruebas individuales de Geekbench 5.0. Fuente: www.browser.geekbench.com	xii
Ilustración C. 3: Uso de recursos durante la prueba de RAM en VDI Linux. Fuente: Elaboración propia.	xiv
Ilustración C. 4: Resultados conexiones en DaaS. Fuente: Elaboración propia.	xv

Lista de Tablas

Tabla 1: Resumen de soluciones de virtualización de escritorios.....	- 8 -
Tabla 2: Resultados medios de rendimiento medido en puntos de Geekbench 5.0 ..	- 15 -
Tabla 3: Resultados medios de las pruebas de almacenamiento medido en segundos.-	17
-	
Tabla 4: Número de VM en ejecución.	- 20 -
Tabla 5: Resultados de las pruebas de conexión DaaS en bytes por segundo.	- 22 -
Tabla 6: Consumo de red en las herramientas de réplica medido en bytes por segundo....	
- 23 -	
Tabla 7: Resultados de las pruebas de cero a uno.....	- 24 -
Tabla 8: Resultados análisis multicriterio multiplicando los valores de las pruebas por su peso.	- 25 -
Tabla C. 1: Resultados completos multinúcleo medido en puntos de Geekbench 5.0. Fuente: Elaboración propia.	xi
Tabla C. 2: Resultados completos mononúcleo medido en puntos de Geekbench 5.0. Fuente: Elaboración propia.	xi
Tabla C. 3: Resultados completos prueba de almacenamiento medido en segundos. Fuente: Elaboración propia.	xiii
Tabla C. 4: Resultados prueba de RAM. Fuente: Elaboración propia.	xiv

Lista de acrónimos

Almacenamiento personal del usuario “user personal disk”	(UPD)
Ejército de Tierra	(ET)
Escritorio como un servicio “Desktop as a Service”	(DaaS)
Fusión de páginas iguales del Kernel “Kernel Samepage Merging”	(KSM)
Gigabytes	(GB)
Infraestructura virtual de escritorio “Virtual Desktop Infrastructure”	(VDI)
Infraestructura virtual de escritorio de máquina virtual basada en el Kernel “Kernel-based Virtual Machine – Virtual Desktop Infrastructure”	(KVM-VDI)
Máquina virtual “Virtual Machine”	(VM)
Matriz redundante de discos independientes “Redundant Array of Independent Disks”	(RAID)
Megabytes	(MB)
Megahercios "megahertz"	(MHz)
Memoria de acceso aleatorio “Random Access Memory”	(RAM)
Proyecto de servidor en terminal Linux “Linux Terminal Server Project”	(LTSP)
Red de área local “Local Area Network”	(LAN)
Replicación del sistema de archivos distribuidos “Distributed File System Replication”	(DFS-R)
Sistema operativo	(SO)
Terabyte	(TB)
Unidad de estado sólido “Solid-State Disk”	(SSD)

1 Introducción

La virtualización consiste en abstraer el software del hardware subyacente. Su uso más frecuente es la ejecución de múltiples sistemas operativos, bajo un mismo equipo físico [1]. Sin embargo, existen otras muchas técnicas que han adquirido relevancia por sus características, como la virtualización de escritorio o basada en contenedores. Esencialmente, el proceso es idéntico, el software funciona del mismo modo que cuando se ejecuta de forma no virtualizada.

La virtualización de escritorio separa el equipo de trabajo del escritorio lógico que almacena los datos y ejecuta los programas, pudiendo establecerse esta tecnología por diferentes medios [2].

El Sistema de Mando y Control del Ejército de Tierra (SIMACET) es un sistema distribuido de redes de área local (del inglés “Local Area Networks”, LAN), que se comunican entre sí, y que se establece por medio de nodos, capaces de funcionar de forma autónoma, a los cuales conecta el usuario [3]. Posibilita una visión común del campo de batalla, herramientas de mensajería y ayuda a la decisión junto con otros servicios para los usuarios.

1.1 Motivación

Los cambios de ubicación entre nodos de SIMACET, son un proceso complejo y que implica la pérdida de los archivos y modificaciones realizadas por el usuario en su equipo. Para poder cambiar de ubicación sin experimentar ningún cambio, el usuario debería transportar su equipo físico hasta el nuevo emplazamiento. A su vez, el nodo debe estar configurado previamente, para admitir la conexión de este nuevo usuario.

La nueva versión de SIMACET 5.0 implementa el uso de la virtualización, posibilitando la consolidación de servidores físicos bajo un único equipo, mejorando la compatibilidad de hardware, reduciendo los costes de mantenimiento, elevando el nivel de servicio e implementando diversas características que facilitan su administración [4].

La virtualización de escritorio se establece como una alternativa a la situación actual, facilitando la movilidad del usuario entre nodos, al tiempo que conserva su trabajo, independientemente del equipo empleado.

Para proporcionar servicios de identificación, mensajería y herramientas administrativas entre otros, el Ejército de Tierra (ET) emplea el sistema operativo (SO) Windows Server 2008 R2. El 14 de enero de 2020, esta versión pierde el soporte extendido de actualizaciones ofrecidas por Microsoft, por lo que dejaría de ser un entorno seguro, obligando a buscar alternativas [5]. Para resolver esta situación, sería necesario estudiar la implementación de la virtualización de escritorio con una actualización de licencias de Windows Server, frente al uso de software de código abierto. Todo ello, adaptado a los recursos disponibles y las características requeridas por el ET, siendo el presupuesto un factor limitante.

1.2 Objetivo y alcance del proyecto

El objetivo principal es posibilitar la movilidad de usuarios entre nodos de SIMACET, implementando la virtualización de escritorio. Para conseguir este objetivo principal se deben cumplir los siguientes objetivos secundarios:

- ✓ Realizar una primera aproximación al funcionamiento de SIMACET, en particular a las posibilidades de virtualización de la última versión.
- ✓ Análisis de las técnicas de virtualización de escritorio existentes en la actualidad y de los softwares disponibles para llevarlas a cabo.
- ✓ Comparación de diferentes soluciones para proponer la mejor solución para el ET.

La implementación de la virtualización de escritorio como solución a la movilidad de usuarios se debe establecer en los ambientes requeridos por el ET. Esto implica la posibilidad de desplegarse en cualquier ubicación y empleando los medios de red disponibles en la actualidad.

1.3 Metodología y estructura de la memoria

En primer lugar, para obtener un mayor conocimiento de SIMACET, se ha realizado una revisión bibliográfica de los manuales del ET. Así mismo, se ha llevado a cabo un estudio de la virtualización y el análisis de diferentes manuales y documentos publicados por diversas fuentes, relativos a Windows Server, SO que respalda servicios de SIMACET. Los aspectos destacados se presentan en el *capítulo 2 Situación actual* de la presente memoria.

En segundo lugar, se han consultado diferentes fuentes online y algunos libros relacionados con la virtualización de escritorio para entornos Windows y Linux. Las diferentes alternativas analizadas, incluido el software utilizado para su implementación se tratan en el *capítulo 3 Virtualización de escritorio* de la presente memoria.

En tercer lugar, para realizar una comparación entre las diferentes herramientas que implementa cada solución, se analizarán las posibilidades que ofrece cada alternativa consultando diversas fuentes online. Posteriormente, se ejecutarán una serie de pruebas en las que se determinarán diversos aspectos de funcionamiento de cada alternativa. Estas características, acompañados de un análisis multicriterio de los resultados, se muestran en el *capítulo 4* de la presente memoria.

Finalmente, se presentarán las conclusiones del estudio realizado, proponiendo la mejor alternativa seleccionada para implementar en el ET, así como futuras líneas de estudio, en el *capítulo 5 Conclusiones* de la presente memoria.

Como complemento para una mejor comprensión del trabajo, se incluyen una serie de anexos en los que se tratan los siguientes aspectos:

- ✓ En el Anexo A: Configuración detallada de los equipos, se expone el hardware empleado por cada alternativa para realizar las pruebas
- ✓ En el Anexo B: Coste de un servidor físico frente a una licencia, se expone la comparación de costes entre una licencia de Windows Server y la adquisición de un servidor físico.
- ✓ En el Anexo C: Resultados completos de las pruebas, se incluyen los resultados totales obtenidos de la realización de cada una de las diferentes pruebas.

2 Situación actual

El principal sistema de información del ET empleado actualmente es SIMACET. Este software se encuentra en proceso de implementación de una nueva versión. Para proporcionar soporte se emplea el SO Windows Server 2008 R2, propietario de Microsoft, que permite establecer una serie de funcionalidades y servicios necesarios [6].

2.1 SIMACET

SIMACET es el sistema de información para el mando y control empleado por los cuarteles generales y estados mayores de las brigadas, divisiones y cuerpos de ejército (grandes unidades) y las planas mayores de mando de regimientos y batallones (pequeñas unidades). Dispone de un conjunto de aplicaciones administrativas, de gestión táctica, de comunicaciones, de información geográfica y una serie de utilidades que, en conjunto, facilitan las labores de mando y control. Los objetivos que pretende conseguir son [7]:

- ✓ Visión común del campo de batalla: Cuenta con un mapa de situación, que permite visualizar unidades, con su ubicación, estado y necesidades logísticas. Todo ello, complementado con información adicional y respaldado por una base de datos, que se replica en los distintos nodos.
- ✓ Sistema de mensajería fiable: Basada en Exchange (Outlook), posibilita el uso de mensajería oficial y no oficial. Cuenta con aplicaciones de correo y mensajería instantánea.
- ✓ Alta supervivencia del sistema: Servidores en clúster e implementación de una matriz redundante de discos independientes (“Redundant Array of Independent Disks”, RAID), de modo que el fallo de un servidor o de un disco duro, sea inapreciable para el usuario y preserve la integridad de la información.
- ✓ Movilidad de usuarios: El administrador crea al usuario y lo carga en una base de datos que incluye los permisos de acceso, uso de aplicaciones y ubicación actual. El usuario pertenece al sistema y no solo a un nodo, aprovechando la réplica de cambios entre bases de datos.

En la actualidad, SIMACET cuenta con dos versiones; la 4.2.1, que está totalmente implantada en las unidades del ET, y una nueva versión 5.0, de la cual se dispone de unos pocos nodos.

La versión 4.2.1 requiere de un total de seis servidores físicos para una gran unidad, dos controladores de dominio, dos servidores de SIMACET, un servidor SharePoint y un servidor Exchange [8]. Los servidores duplicados permiten que, en caso de fallo en el servidor principal, el secundario continúe funcionando de forma transparente para el usuario. El arranque de los servidores se debe realizar en un orden preestablecido, para evitar errores, siendo el tiempo necesario hasta el funcionamiento correcto de los servidores superior a los 30 minutos. El apagado de los mismos también requiere de un elevado tiempo de espera, para evitar daños en los sistemas. El uso de múltiples servidores físicos obliga a requerir de mayor espacio físico. A su vez, estos equipos se encuentran desaprovechados con un uso medio de recursos bajo. Estos inconvenientes se abordan en su posterior versión.

Con los despliegues actuales (versión 4.2.1 y versión 5.0), el usuario emplea un ordenador portátil normalizado (cliente) para conectar al servidor. Estos clientes permiten ejecutar las aplicaciones disponibles en SIMACET, almacenar archivos y realizar

modificaciones, siempre que las herramientas administrativas autoricen las acciones que realiza el usuario. Sin embargo, la conexión del cliente con el servidor requiere un tiempo elevado y si el usuario cambia de equipo, pierde los datos y modificaciones que ha realizado. Por ello, un cliente que cambia de ubicación y conecta a un nuevo nodo pierde todos los archivos de su dispositivo, su configuración y cualquier modificación realizada.

El principal atractivo de la nueva versión 5.0 es el uso de las técnicas de virtualización. Con esta tecnología se logra consolidar los servidores bajo un mismo hardware, en un único servidor físico, mejorando la escalabilidad, el uso medio de los recursos y reduciendo costes asociados al mantenimiento. Se aumenta la flexibilidad al poder realizar cualquier configuración por medio de máquinas virtuales (“Virtual Machine”, VM) y la migración de las mismas entre servidores. La recuperación en caso de error y la alta disponibilidad se pueden implementar añadiendo servidores.

2.1.1 Virtualización

Realizar la virtualización, requiere de una capa que interactúe con el hardware. Puede establecerse directamente sobre el equipo, sin necesidad de un SO, o puede funcionar dentro de uno, denominado anfitrión (Ilustración 1). Se implementa por medio de un software denominado hipervisor [9].

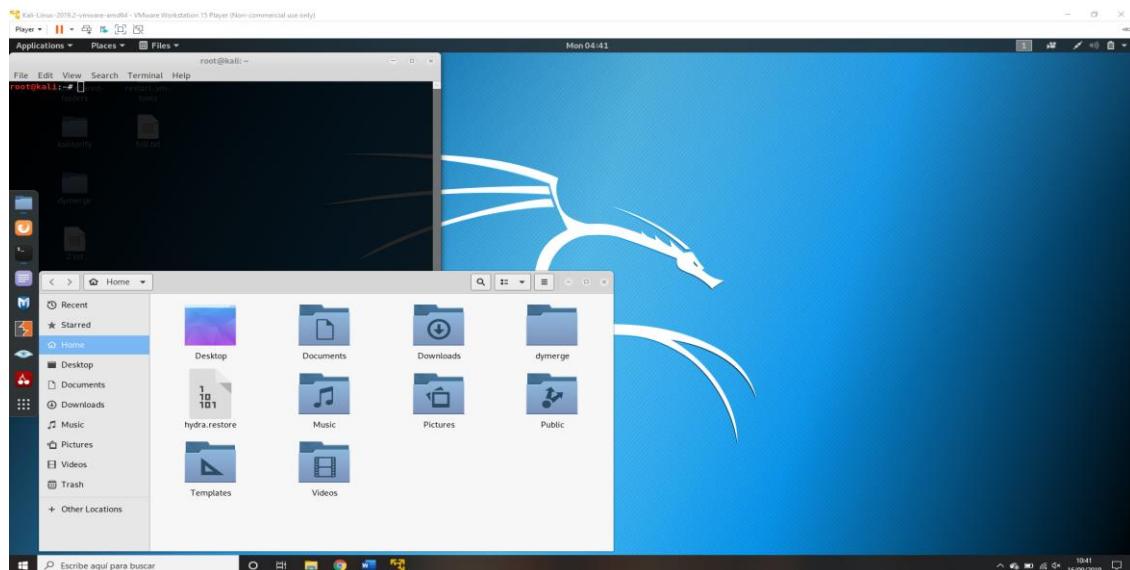


Ilustración 1: Linux ejecutado en un SO Windows 10 anfitrión. Fuente: Elaboración propia.

2.1.2 Hipervisor

El hipervisor es el intermediario entre software y hardware, establece la configuración para los distintos procesos virtuales del equipo [10]. Un hipervisor de tipo 1 gestiona directamente el uso del hardware, mientras que uno de tipo 2, se sitúa encima del SO (Ilustración 2), siendo este último el que realiza la gestión final de los recursos físicos [11].



Ilustración 2: Esquema de hipervisor de tipo 1 e hipervisor de tipo 2. Fuente: Elaboración propia.

Dependiendo del hipervisor empleado, se dispone de unas características concretas, pero todos permiten establecer los recursos virtuales disponibles para cada proceso. Determinados hipervisores permiten aumentar estos recursos físicos mientras el SO virtualizado (invitado) se encuentra en ejecución, siempre y cuando dicho entorno permita esta funcionalidad [12].

Una característica esencial, que permite ofrecer un mayor nivel de servicio, es la migración en “caliente”. Consiste en ejecutar un SO invitado, que ya se encuentra previamente en ejecución, en un anfitrión distinto al que se encuentra en ese momento, sin que el invitado experimente ningún cambio [13]. Esta característica se encuentra disponible en la mayoría de hipervisores comerciales, pero realizar esta migración requiere de determinadas condiciones y recursos físicos.

Un uso menor de recursos y la posibilidad de ejecutarse bajo cualquier circunstancia es lo que ofrece la migración en “frío”. Consiste en trasladar la imagen de un proceso virtual a otro equipo anfitrión, mientras el SO invitado no se encuentra en ejecución [14]. Este proceso es soportado por todos los hipervisores, e incluso existe soporte para la migración entre hipervisores distintos [15].

2.1.3 Máquina virtual

El equipo lógico, con SO, creado por medio de un hipervisor, se denomina máquina virtual (VM) [16]. El hipervisor actúa como intermediario, presentando siempre el mismo hardware virtual. De este modo, el equipo real subyacente es indiferente, lo que aumenta enormemente la compatibilidad y la flexibilidad. Una VM entiende que es un equipo físico funcionando bajo el hardware que le presenta el hipervisor, es decir, una VM desconoce que funciona de forma virtualizada [17].

Una gran ventaja ofrecida por las VM es el aislamiento, que les impide intercambiar datos con el anfitrión [18]. Sin embargo, los hipervisores actuales posibilitan la comunicación del anfitrión con el invitado, con los riesgos que ello implica para la seguridad.

2.2 Windows Server 2008 R2

El SO empleado para servidores de Microsoft se denomina Windows Server [19]. Existen múltiples versiones del mismo, pero la versión 2008 pierde el soporte extendido el 14 de enero de 2020, lo que implicaría que fallos de seguridad descubiertos con posterioridad a esa fecha, no serían solucionados, convirtiendo el SO en vulnerable. En sus nuevas versiones, 2012, 2016 y 2019, se añaden nuevas características y se mejoran las posibilidades existentes en la versión anterior [20]. Una de sus características principales es la posibilidad de funcionar de forma modular, añadiendo roles a los servidores. De este modo, se requiere menor cantidad de recursos al instalar solo aquellos servicios que se desea emplear [21]. Las características principales de Windows Server empleadas para SIMACET son Hyper-V y Active Directory.

2.2.1 Hyper-V

El hipervisor de Microsoft incluido en el entorno Windows Server se denomina Hyper-V. Comparte las características básicas de los hipervisores, permitiendo configurar el entorno virtual con múltiples núcleos de proceso, memoria principal y diversas opciones de almacenamiento y conexión en red [22]. Sus principales funcionalidades son:

- ✓ Creación de redes virtuales: Incluyendo la posibilidad de creación de switches virtuales que permitan el uso de LAN virtuales [23].
- ✓ Servicios de integración: Instalación del set de herramientas para optimizado del entorno virtual, de forma similar a los añadidos por otros hipervisores. Añade controladores para mejorar la experiencia de uso [23].
- ✓ Réplica de Hyper-V: Facilita la creación de copias de seguridad, compatibles con el servicio de instantáneas de volúmenes y las copias de seguridad estándar de estado guardado. Este servicio permite realizar una copia de seguridad mientras el sistema se ejecuta y se modifican los archivos [24]. Al mismo tiempo, permite la creación de instantáneas “snapshots”; copias del estado actual de una VM que posibilitan la vuelta inmediata a esa situación [25].
- ✓ Portabilidad de VM: Pudiendo realizarse migraciones en caliente, en sus versiones más actuales. A su vez, incluye herramientas para facilitar la configuración y realizar en menor tiempo las migraciones de almacenamiento y de VM en frío [26].
- ✓ Seguridad: Hyper-V cuenta con arranque seguro y aislamiento de VM para incrementar la seguridad en los entornos virtuales y el servidor [26].

2.2.2 Active Directory

El servicio de directorio propietario de Microsoft y empleado en Windows Server es Active Directory. Su funcionamiento establece bases de datos, que almacenan la estructura jerárquica de los dispositivos y usuarios conectados en red [27]. Para cada uno de los dispositivos, se almacenan una serie de atributos que los identifican de forma única. Un administrador de dominio puede crear recursos de red y permitir el acceso a determinados usuarios que cumplan un conjunto de atributos o crear políticas de seguridad para grupos de usuarios [28].

Active Directory establece una estructura que establece límites de seguridad y réplica entre los controladores de dominio (Ilustración 3). Esta estructura se basa en las siguientes definiciones:

- ✓ Bosque: Es el nivel más elevado de la organización, establece un límite de seguridad y genera un administrador con permisos totales. La información del bosque se almacena en todos los controladores de dominio pertenecientes al mismo [29].
- ✓ Árbol: Establece un dominio raíz compartido por uno o más dominios [30].
- ✓ Dominio: Establece límites de réplica, generando particiones dentro de un árbol. La réplica de la información se basa en los dominios, que permiten aumentar la eficiencia de la red y la seguridad [31]. La conexión entre dominios pertenecientes a un árbol, se realiza mediante relaciones de confianza en los dos sentidos [32].

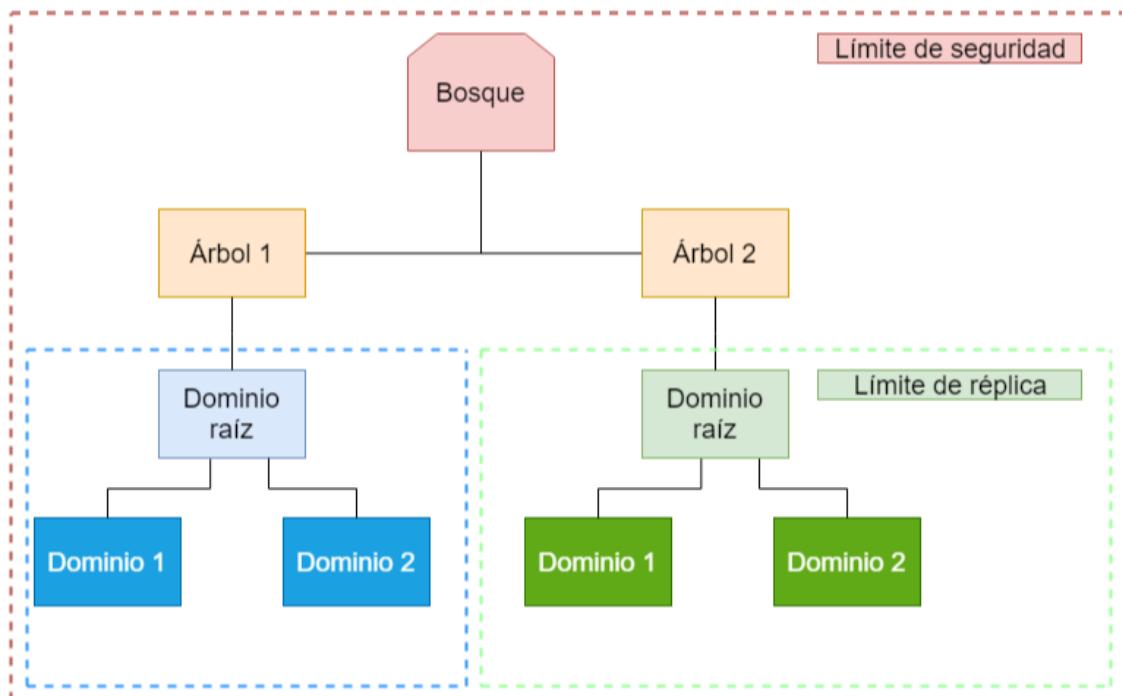


Ilustración 3: Estructura de Active Directory. Fuente: Elaboración propia.

Un controlador de dominio ejecuta las funciones necesarias para el correcto funcionamiento de Active Directory dentro del entorno Windows Server [33]. Para mantener una alta disponibilidad, se emplea un mínimo de dos controladores de dominio, permitiendo el balanceo de carga entre controladores y el correcto funcionamiento del sistema, pese al fallo de un controlador [34].

3 Virtualización de escritorio

Existen múltiples posibilidades en el mundo de la virtualización que aprovechan esta tecnología para lograr diversos fines, siendo la virtualización de escritorio una de ellas. Esta técnica consiste en separar el escritorio y el software que emplea, del equipo físico utilizado para realizar la conexión [35]. Permite presentar al usuario un escritorio idéntico al de un equipo físico personal, de forma independiente al medio empleado, pudiendo ser un dispositivo móvil o un ordenador. Para su implementación se puede recurrir a diversos métodos [36] que se detallan a continuación. Cada solución cuenta con una serie de ventajas e inconvenientes. Los principales son:

- ✓ Uso de recursos en los servidores: Un consumo bajo de recursos posibilita un mayor número de usuarios empleando el mismo equipo físico.
- ✓ Grado de personalización: Modificar el escritorio proporciona una mejor experiencia para el usuario, aumentando la compatibilidad de aplicaciones.
- ✓ Consumo de ancho de banda: Los recursos de red, empleados para replicar las bases de datos entre servidores y realizar las conexiones al escritorio del usuario, adquieren gran importancia, pudiendo limitar el número de usuarios a los que se puede proporcionar servicio.

Un resumen de estos factores para las distintas soluciones se muestra en Tabla 1 y se describen en los apartados siguientes.

Tabla 1: Resumen de soluciones de virtualización de escritorios. Fuente: Elaboración propia.

Metodología empleada	Porcentaje de uso de recursos en los servidores	Grado de personalización	Consumo de ancho de banda
Virtualización de aplicación	Bajo	Ninguno	Bajo
Virtualización de sesión	Medio	Bajo	Bajo
VDI-Grupo de escritorios	Alto	Alto	Bajo
VDI-Escritorio personal virtualizado	Muy Alto	Máximo	Bajo
DaaS	Muy Bajo	Máximo	Alto

3.1 Virtualización de aplicación

Consiste en la ejecución de los programas de forma aislada al SO. El administrador del servidor selecciona una serie de aplicaciones que el usuario puede

acceder. Cuando se identifica en el sistema, se le muestran las aplicaciones que puede ejecutar en el servidor [37]. A diferencia de otras alternativas, con esta tecnología, el usuario visualiza exclusivamente la aplicación que se ejecuta, pero no el entorno de escritorio. Se incluye con frecuencia en la virtualización de escritorio, por requerir de un escritorio virtual que no se muestra al usuario. Generalmente ofrece mejor rendimiento que otras opciones de virtualización de escritorio, con el coste de una experiencia distinta a la que el usuario está acostumbrado [38].

En la actualidad, se recurre a técnicas más avanzadas que muestran al usuario su escritorio habitual, cuando el usuario se identifica y ejecuta determinadas aplicaciones, sus acciones se realizarán en el servidor, pero de forma transparente al usuario; se mostrarán del mismo modo que si se ejecutases de forma local [39]. Las principales ventajas son su posibilidad de ejecutar aplicaciones sin tener conexión al servidor y su elevado rendimiento. Sin embargo, obliga a emplear clientes más potentes que en las otras alternativas y no posibilita la movilidad del usuario.

El software necesario para implementar la virtualización de aplicación con Windows Server es App-V. Debe ser instalado en su versión para clientes en cada dispositivo que pueda emplear el usuario y en su versión de servidor en el equipo que ejecutará las aplicaciones [40].

Una de las alternativas de código abierto para la virtualización de aplicación, sería RemoteApp Tool [41]. Esta herramienta posibilita la virtualización de aplicación en un servidor. Sin embargo, el proceso de conexión a las aplicaciones resultaría más sencillo por medio de otra herramienta de código abierto denominada Guacamole Apache [42]. Este software establece conexiones por medio de un buscador web, agrupando todas las virtualizaciones de escritorio en un único entorno [43].

La virtualización de aplicación consigue un uso eficiente de recursos, lo que podría mejorar el rendimiento de los servidores, pudiendo realizarse de forma gratuita por medio de código abierto. Sin embargo, esta solución no posibilita la movilidad del usuario, objetivo principal de este trabajo, por lo que no se ha considerado como alternativa en la comparación de soluciones presentada en el *capítulo 4* .

3.2 Virtualización de sesión

Se establece una imagen del SO a emplear en el servidor. Cuando el usuario establece la conexión con el servidor y se identifica, se crea una sesión en el servidor. El usuario visualiza un entorno de escritorio similar al que podría ejecutar en su equipo personal, pudiendo llegar a instalar aplicaciones, guardar documentos y personalizar su configuración si las herramientas administrativas lo permiten [44]. La característica principal de este tipo de virtualización es que la imagen del SO es la misma para todos los usuarios. El servidor requiere así de un menor uso de recursos al emplear siempre la misma imagen, pero no permite la personalización de sesiones, pudiendo algunos usuarios tener problemas de compatibilidad con determinadas aplicaciones [45].

Windows Server permite implementar esta solución, enmarcada en los servicios de escritorio, para ello requiere de una serie de servidores (Ilustración 4) que pueden encontrarse virtualizados en un único equipo físico:

- ✓ Servidor anfitrión de virtualización de escritorio: Este servidor, encargado de atender los requerimientos de las sesiones de los usuarios, emplea la mayor parte de recursos [46].

- ✓ Servidor de acceso web: Establece la conexión con el servicio correspondiente, de forma gráfica para el usuario. Este servidor resulta especialmente útil en caso de disponer de múltiples servicios [46].
- ✓ Servidor de Active Directory: Identifica al usuario, permitiendo que acceda a su sesión, y aplica las políticas de seguridad correspondientes [46].
- ✓ Servidor intermediario de conexiones: Gestiona las conexiones entrantes de los usuarios, redirigiéndolas adecuadamente y pudiendo implementar el balanceo de carga entre servidores [47].
- ✓ Servidor de puerta de acceso: Este servidor, que posibilita las conexiones provenientes del exterior, se emplea de forma opcional y permite implementar mayores medidas de seguridad[47].

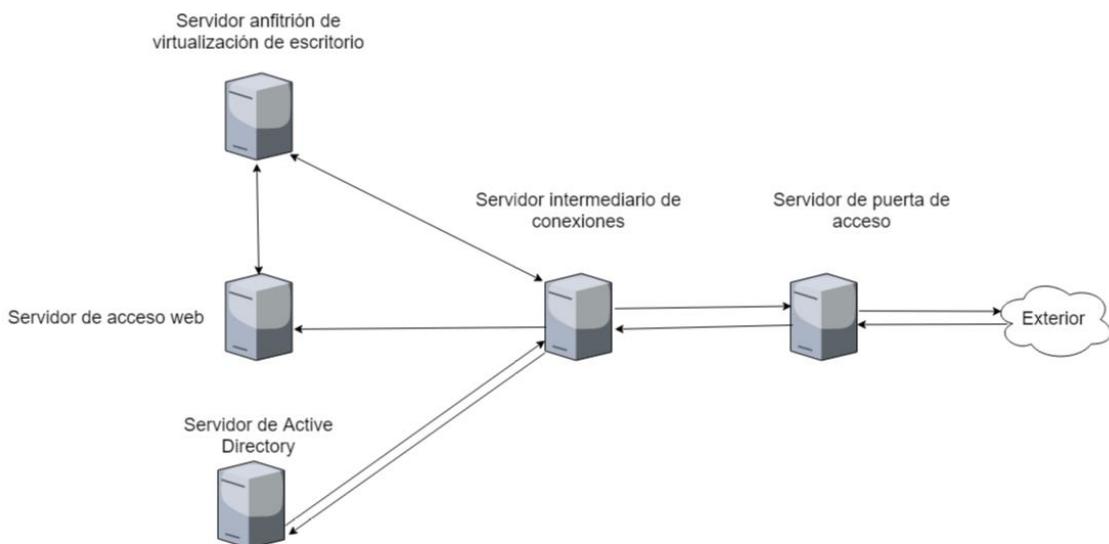


Ilustración 4: Esquema de servidores para la virtualización de escritorio. Fuente: Elaboración propia.

Para mantener la configuración personal de cada usuario junto a sus archivos personales, el servidor genera un archivo denominado almacenamiento personal del usuario (“user personal disk”, UPD), que almacena estos datos. El servidor guarda todos los archivos UPD en un mismo directorio. Cuando un usuario se identifica en Active Directory, se asocia su sesión con su archivo correspondiente, manteniendo siempre todas las modificaciones realizadas [48].

La alternativa a esta solución por medio de código abierto sería el proyecto de servidor en terminal Linux (“Linux Terminal Server Project”, LTSP) [49]. Este software se implementa en un servidor Linux. Ubuntu Server es el SO que ofrece una mejor compatibilidad con este servicio [50].

3.3 Infraestructura virtual de escritorio

La infraestructura virtual de escritorio (“Virtual Desktop Infrastructure”, VDI) implementa un conjunto de VM en uno o más servidores. De este modo se consigue un elevado grado de personalización para el usuario. Existen dos soluciones principales; la creación de un grupo de escritorios virtualizados y la creación de escritorios personales virtualizados [51].

La primera solución mencionada implica la creación de un conjunto de VM con características de hardware virtual idénticas. Las VM se mantienen en un estado de pausa,

excepto un pequeño número de ellas que se mantienen en ejecución [52]; estas máquinas que no están pausadas permiten a los usuarios conectar de una forma más rápida. El número de máquinas en ejecución es fijado por el administrador, en función de los recursos disponibles. Esta solución es más sencilla de implementar que el escritorio personal virtualizado, requiere una cantidad menor de recursos físicos en los servidores y mantiene un nivel de servicio elevado; cuando una VM falla se provisiona automáticamente con una nueva al usuario. Esta opción permite implementar más de un grupo de escritorio, pudiendo tener diversas imágenes de SO, pero reduciendo los recursos disponibles y requiriendo de más servidores anfitriones de virtualización de escritorio.

Un escritorio personal virtualizado implica la creación de una VM concreta para cada usuario. Además, permite el mayor grado de personalización posible pudiendo incluso determinar los recursos físicos disponibles para cada VM de forma individual, pero obliga a una mayor complejidad de implementación [53]. Las VM se mantienen en ejecución de forma continua, lo que mantiene un uso de recursos elevado en el servidor. Además, mantiene un alto nivel de servicio, al poder provisionar nuevas VM clonadas en caso de fallo.

Independientemente del método empleado para establecer la VDI, cuando un usuario conecta al servidor y se identifica, se realiza la conexión con la VM. El servidor, automáticamente conecta el almacenamiento virtualizado correspondiente al usuario, con la VM [54].

Windows Server incluye herramientas que permiten implementar ambos métodos, requiriendo de los mismos servidores que en la virtualización de sesión [55]. La implementación de un grupo de escritorio requiere de una imagen de SO base a emplear generada por los administradores, el número de usuarios simultáneos máximo y el número de VM en ejecución continua. Cuando un usuario se identifica en Active Directory y conecta por primera vez a una VM de un grupo de escritorio, el servidor genera automáticamente un archivo UPD y lo conecta con la VM. El archivo UPD generado en una VDI es incompatible con los archivos generados en la virtualización de sesión; pese a emplear el mismo formato, se deben mantener en directorios separados.

En la implementación de un escritorio personal virtualizado, es necesario implementar manualmente las VM para cada usuario. Posteriormente, se realiza la unión con el dominio de Active Directory, para asociar cada usuario con su VM correspondiente. Cuando se identifique, conectará siempre a la misma VM, de modo que su configuración, archivos y modificaciones se guardarán en su almacenamiento virtual.

Existen múltiples alternativas a Windows Server para implementar una VDI, una de ellas es la infraestructura virtual de escritorio de VM basada en el Kernel (“Kernel-based Virtual Machine – Virtual Desktop Infrastructure”, KVM-VDI). Entre sus principales ventajas, destacan las propias del software de código abierto y las posibilidades ofrecidas por su integración con el hipervisor KVM [56]. Su implementación, de forma similar a Windows Server, posibilita el uso de un grupo de escritorios virtualizados o de escritorios personales virtualizados, aunque también requeriría de los mismos servidores empleados en una virtualización de sesión. Sin embargo, en caso de emplear múltiples servidores físicos, el servidor anfitrión de las VM, necesario para la virtualización de escritorio, podría emplear este software. Se lograría así una reducción en los costes de licencias pues KVM-VDI no tiene ningún coste.

3.4 Escritorio como un servicio

La computación en la nube es una tecnología que ha crecido mucho en las empresas en los últimos años. La experiencia para el usuario resulta similar en el caso de una VDI y del escritorio como un servicio (“Desktop as a Service”, DaaS). Las diferencias principales entre ambos residen en el trabajo de los administradores y la infraestructura que proporciona el servicio [57]. Existen dos alternativas para su implementación, la nube pública y la nube privada.

La nube pública implica la contratación de un proveedor de este servicio. Los servidores físicos se mantienen en una ubicación remota y el usuario puede conectar a su escritorio desde cualquier dispositivo con una conexión a internet. El coste del servicio se puede estimar con sencillez. Sin embargo, un fallo en los servidores escapa al control del contratante. A nivel de seguridad, los riesgos también son elevados, al desconocer la infraestructura que respalda el servicio y existir múltiples usuarios para los mismos servidores [58].

La nube privada se asemeja en gran medida a la VDI, las diferencias residen en el software que lo implementa y el mayor grado de automatización que implica la nube. La ventaja principal de esta solución es el control que proporciona a los administradores para implementar las medidas de seguridad y de nivel de servicio pertinentes [59]. El coste requerido es superior a una nube pública y obliga a mantener múltiples servidores y una velocidad de conexión adecuada.

Existen múltiples proveedores de servicios de nube pública, pero las desventajas asociadas a este servicio a nivel de seguridad y de servicio, lo hacen difícilmente compatible con el uso en las Fuerzas Armadas. La nube privada por su parte sería un gran servicio a implementar, residiendo el control total en los administradores, para establecer las medidas correspondientes. Microsoft ofrece su propio servicio de nube privada bajo la infraestructura Azure. En cuanto a código abierto, el proyecto que más importancia ha cobrado y con gran respaldo de múltiples empresas es Open Stack [60].

El servicio de nube ofrecido por Microsoft se centra principalmente en la nube pública. Sin embargo, cuenta con componentes que tratan de ofrecer un modelo híbrido e incluso una nube privada. Azure computación confidencial “confidential computing” es el módulo que implementa la seguridad en los datos empleados por medio de encriptación, red de confianza entre los dispositivos y seguridad sensible a dirección del protocolo de internet [61]. Su modelo de venta se basa en costes por uso. La principal ventaja reside en la alta capacidad que pueden ofrecer los servidores.

Para una mayor seguridad, Windows Server 2019, en su versión para centro de datos “datacenter”, incluye capacidades para mejorar la estructura de nube privada y nube híbrida en combinación con Azure. La principal funcionalidad que implementa es la red definida por software [62]. Este servicio proporciona una gran seguridad, necesaria para nubes privadas, al establecer las conexiones por medio de Windows Server. A su vez, se implementan la compatibilidad con sistemas Linux, por el creciente peso del proyecto Open Stack [63], la virtualización de plataforma para servicios de nube y la encriptación de redes.

OpenStack es esencialmente un SO de código abierto para el computo en la nube. Permite controlar grandes grupos de recursos de computación, memoria principal, almacenamiento y conexión de red. Por medio de la virtualización, se abstrae el hardware de múltiples servidores, para crear un grupo de recursos, disponibles para ser gestionados.

Su funcionamiento se basa en módulos, proporcionando una gran flexibilidad, que se pueden controlar desde su interfaz web [64]. La automatización de tareas resulta esencial y asegura una escalabilidad casi ilimitada del sistema. Existe también la posibilidad de emplear distribuciones creadas por empresas líderes en virtualización, como Red Hat, VMware, Oracle, IBM, etc., que ofrecen soporte para nubes privadas, basadas en Open Stack, con cierto coste.

4 Comparación práctica de alternativas

La virtualización de escritorio se diseñó para su uso en las empresas. El ET emplea los medios, en sus diversas acciones, en ubicaciones variables, requiriendo de servidores que puedan desplegarse en cualquier situación, con conexiones de red de baja capacidad y que permitan cambiar de ubicación con rapidez. Por ello, se deben implementar diversas herramientas, para lograr un uso más eficiente de los recursos con los que cuenta el ET en sus acciones.

En este capítulo se expondrá en primer lugar los aspectos principales, a nivel de hardware y SO, de cada una de las alternativas. En segundo lugar, se expondrán las pruebas realizadas en las que se evaluarán los recursos físicos de rendimiento, almacenamiento, memoria principal y uso de red. En último lugar se realizará un análisis multicriterio para obtener la mejor alternativa.

4.1 Disposición para las pruebas

Se analizarán seis configuraciones para la implementación de la virtualización de escritorio; tres tipos de virtualización tanto con Windows server como con software libre. Las configuraciones de recursos físicos se han adaptado a cada solución. Los detalles específicos de hardware se recogen en el Anexo A: Configuración detallada de los equipos.

- ✓ Virtualización de sesión con Windows Server: En las pruebas se empleará una sesión virtualizada con 6 gigabytes (GB) de memoria de acceso aleatorio (“Random Access Memory”, RAM), 4 núcleos virtuales y memoria de unidad de estado sólido (“Solid-State Disk”, SSD) estándar.
- ✓ Virtualización de sesión con Ubuntu Server 18.04: Por medio de LTSP se establecerá una sesión virtualizada bajo el mismo hardware que la virtualización de sesión empleada con Windows Server.
- ✓ VDI con Windows: Se empleará Windows 10 en su versión para empresas, “Enterprise”, en una VM dotada de 4 GB y 4 núcleos virtuales, junto con un SSD estándar.
- ✓ VDI con Linux: Esta solución posibilita una comparación entre una VM en Linux y una en Windows. Se empleará Kali Linux 2019.3, una distribución con diversas herramientas de conectividad basada en Debian y que recibe actualizaciones con frecuencia. Empleará el mismo hardware que en la VDI con Windows.
- ✓ DaaS Windows: Esta implementación cuenta con el hardware más potente. La centralización de servidores posibilita una alta disponibilidad de recursos físicos. Sin embargo, esta solución requiere una conexión a internet, por lo que el ancho de banda de sus pruebas adquiere gran importancia. Se empleará un equipo Windows con 32 GB de RAM, 18 núcleos físicos y un SSD con factor de forma de siguiente generación (M.2). Este tipo de discos se conecta directamente a la placa base, obteniendo un mayor rendimiento [65].
- ✓ DaaS Ubuntu: Contará con el mismo hardware que la alternativa DaaS Windows, posibilitando una comparación entre los dos entornos cuando exista una mayor disponibilidad de recursos físicos.

4.2 Prueba de rendimiento

El objetivo de este test es determinar la capacidad de procesamiento de cada solución. La velocidad de procesamiento del equipo acelera la ejecución del software. Una mayor frecuencia del procesador implica menor tiempo de carga en las tareas y proporciona una mejor experiencia para el usuario [66]. A su vez, la frecuencia de la memoria principal, puede incrementar la velocidad. Cuando se ejecutan diversos procesos, el procesamiento multinúcleo adquiere mayor importancia. Sin embargo, determinadas aplicaciones limitan su ejecución a un único núcleo del procesador, siendo el rendimiento mononúcleo un factor más a considerar [67].

Para realizar una comparación adecuada entre los sistemas, se ha empleado la herramienta Geekbench 5.0. Este software mantiene compatibilidad con equipos multiplataforma, siendo adecuado para comparar los entornos a emplear. Muestra una puntuación para tareas de ejecución con un solo núcleo del procesador y para procesamiento en paralelo. La puntuación obtenida está escalada con el rendimiento; una ejecución en la mitad de tiempo requiere el doble de puntuación [68]. Los resultados medios obtenidos mononúcleo y multinúcleo se muestran en la Tabla 2 e Ilustración 5.

Tabla 2: Resultados medios de rendimiento medido en puntos de Geekbench 5.0. Fuente: Elaboración propia. La primera fila corresponde a los resultados mononúcleo y la segunda a multinúcleo.

Sesión virtual Windows Server	Sesión virtual Ubuntu Server	VDI Windows	VDI Linux	DaaS Windows	DaaS Ubuntu
427,4	467,2	483,2	551,2	1.079,8	1.135
1.331,6	1.486,2	1.532,4	1.670	10.816,8	11.218

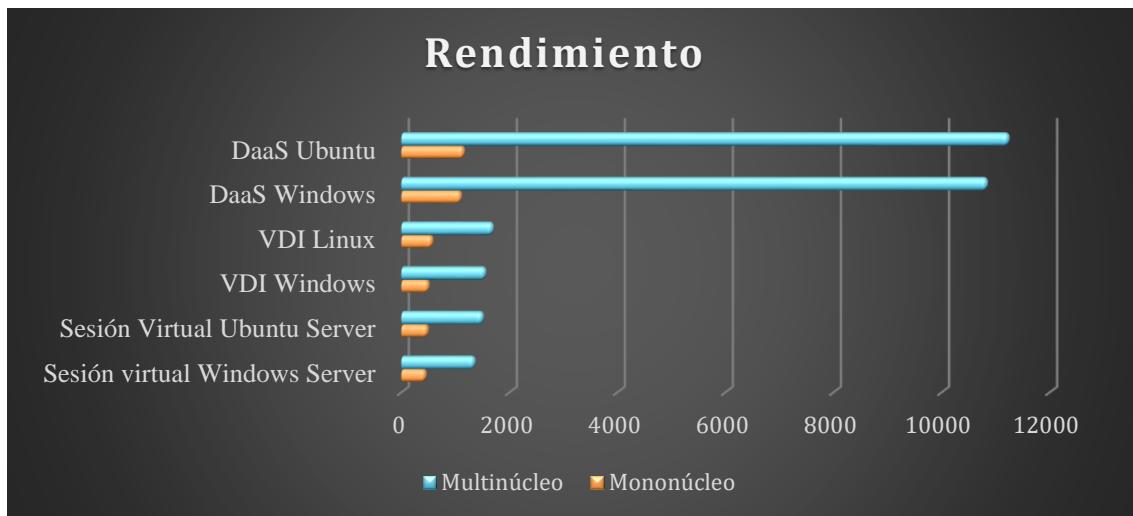


Ilustración 5: Rendimiento medio. Fuente: Elaboración propia.

La mayor capacidad de procesamiento se consigue implementando el DaaS, ofreciendo la opción de Windows un rendimiento en paralelo un 547% superior a la siguiente alternativa, VDI Linux, y su procesamiento mononúcleo un 95% superior. Este resultado era predecible, la consolidación de servidores incrementa los recursos físicos

disponibles. Sin embargo, la solución de VDI Linux es superior a la misma alternativa en Windows en un 14% y un 8%, en mononúcleo y multinúcleo, respectivamente. Este hecho, indica que el SO de Windows 10 ejecuta los procesos de forma más lenta que el entorno Linux. Como se puede observar, la sesión virtualizada emplea un SO de alto consumo de recursos y sus resultados de rendimiento la sitúan como la peor alternativa. A medida que aumentase el número de usuarios, el peso de Windows Server y Ubuntu Server se debería ver compensado con el ahorro de recursos logrado al compartir el SO frente a una VDI, obteniendo de ese modo la eficiencia que, teóricamente, ofrece la virtualización de sesión frente a la VDI.

4.3 Pruebas de almacenamiento

La memoria secundaria es una herramienta esencial que puede limitar el rendimiento del sistema, si no se optimiza adecuadamente. Emplear múltiples máquinas implica un alto consumo de lectura y escritura de datos en el servidor [69] y una alta capacidad de almacenamiento para el archivo UPD de cada usuario. Para incrementar esta capacidad de almacenamiento disponible se emplearán herramientas de deduplicación.

El software de deduplicación analiza constantemente el disco en busca de archivos duplicados, cuando los encuentra, modifica uno de ellos para establecer una referencia a la ubicación de memoria del otro archivo [70]. En el empleo de una VDI basada en grupos de escritorios, cada una de las VM requiere de un almacenamiento que suele superar inicialmente los 250 megabytes (MB), con los sistemas operativos actuales, pudiendo llegar a cantidades muy superiores según la imagen base. En un grupo de diez escritorios, el almacenamiento inicial para VM, se podría reducir desde los 2.500 MB hasta casi 250 MB.

Existen múltiples herramientas para implementar la deduplicación de datos, algunas integradas como parte del SO, como en el caso de Windows Server en sus nuevas versiones [71]. En su versión 2008 R2, este SO no incluye posibilidad de deduplicación de archivos. Esta característica se incluye en la versión 2012 y se mejora con posteriores actualizaciones. La deduplicación se ejecuta como un servicio en segundo plano, para evitar consumir recursos de procesos principales. Este SO puede ser configurado para establecer directorios de mayor prioridad o aquellos que no se deben analizar.

La implementación de esta interesante herramienta en el ET, requeriría de la adquisición de nuevas licencias de Windows Server. Pudiendo ser el precio de una licencia, superior al de adquisición de un nuevo servidor físico (Anexo B: Coste de un servidor físico frente a una licencia). Con herramientas de código abierto se podría implementar siendo el servidor anfitrión de virtualización de escritorio el que realice la deduplicación y sincronización de imágenes entre servidores; actuando este servidor por medio del hipervisor de KVM y sin requerir de una nueva licencia de Windows Server.

Lessfs es un software de deduplicación de código abierto. Se incluye en diversas distribuciones Linux actuales y proporciona un gran rendimiento, reduciendo el uso de almacenamiento. Este software posibilita el uso de deduplicación en tiempo real, cada archivo que se almacena es comprobado, reduciendo ligeramente el rendimiento del disco, pero minimizando el uso de almacenamiento en todo momento [72]. Además, Lessfs puede funcionar en segundo plano, analizando el disco en busca de archivos duplicados, de forma similar a Windows Server. Cuando encuentra coincidencia entre archivos, este software comprime los bloques de memoria y sustituye uno de los archivos por una dirección a la ubicación de memoria en que se almacena el otro archivo.

Para analizar la velocidad de lectura y escritura de datos, se ha realizado la deduplicación de un archivo de 2,5 GB, por medio de las herramientas que posibilita cada SO. Posteriormente, se ha medido el tiempo requerido para clonar los datos de ambos archivos, el archivo deduplicado y el base. De este modo, influye en el resultado la eficacia de acceso a los archivos deduplicados y la velocidad de escritura.

Los resultados de esta operación se muestran en Tabla 3 e Ilustración 6.

Tabla 3: Resultados medios de las pruebas de almacenamiento medido en segundos. Fuente: Elaboración propia.

Sesión virtual Windows Server	Sesión virtual Ubuntu Server	VDI Windows	VDI Linux	DaaS Windows	DaaS Ubuntu
27,28	28,23	26,5	27,75	11,94	12,46

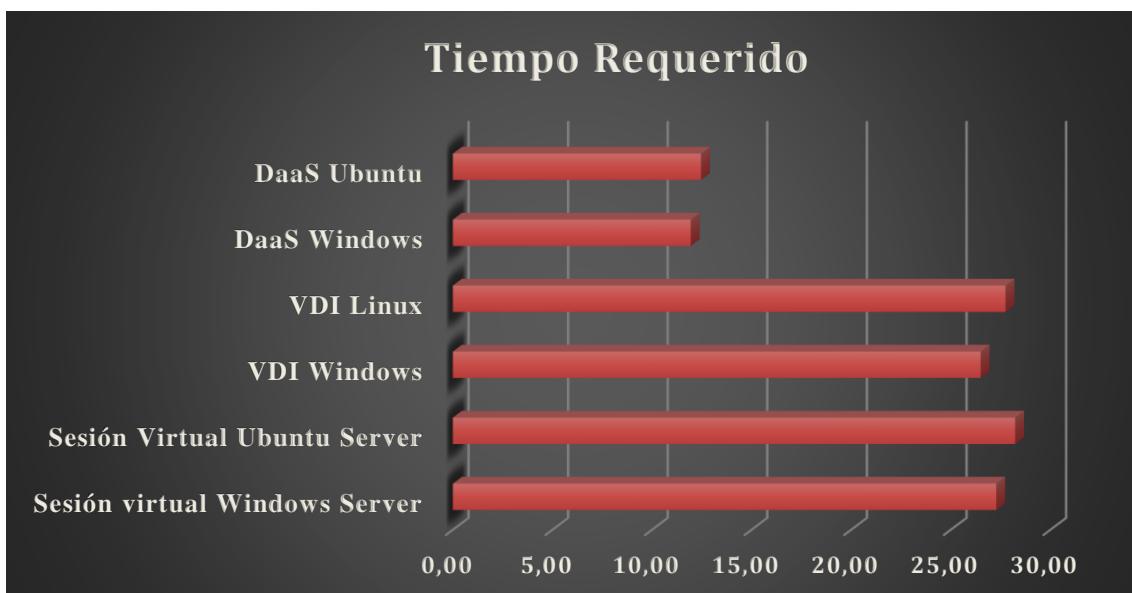


Ilustración 6: Tiempo medio requerido. Fuente: Elaboración propia.

Emplear un SSD con conexión M.2 incrementa en gran medida la velocidad de ejecución de procesos que requieren un alto uso de la memoria secundaria, siendo 2,2 veces más lenta la alternativa VDI Windows que la DaaS Windows. A diferencia de lo sucedido en la prueba de rendimiento, los SO de Microsoft realizan una gestión más eficiente del almacenamiento. Windows Server pese a ser el SO más pesado, presenta mejores resultados que las dos alternativas de código abierto que emplean un SSD estándar.

4.4 Pruebas de memoria

La memoria principal de un equipo físico es la cantidad de RAM disponible que es la que almacena los datos de los programas en ejecución, proporcionando un rápido acceso al procesador. Un servidor anfitrión de virtualización de escritorio puede consumir rápidamente memoria RAM, a medida que incrementa el número de VM en ejecución. Cuando la memoria principal requerida es superior a la disponible, el rendimiento se reduce en gran medida, debiendo el procesador emplear la memoria secundaria para

acceder a los datos; siendo esta de una velocidad muy inferior a la utilizada por la RAM. Existe una técnica conocida como exceso de compromiso “overcommitment”, que asigna a las VM una mayor cantidad de recursos a los disponibles en el equipo anfitrión de las VM [73]. A diferencia de lo que sucede en el procesador, donde una asignación de núcleos superior a los núcleos disponibles mantiene un buen rendimiento, en el caso de la memoria principal, se requiere de herramientas extra, que aseguren el uso de memoria principal por parte de las VM [74].

Un servidor con 128 GB de memoria principal disponible podría ejecutar 64 VM con 4 GB de RAM cada una. Esto supondría un total de 256 GB, sin tener en consideración el consumo de memoria RAM del hipervisor. Sin embargo, hay que tener en consideración que las VM no emplean habitualmente el máximo de memoria RAM disponible. De este modo, se podrían ejecutar las 64 VM de forma eficiente, siempre y cuando la memoria en uso de todas las máquinas no superase los 128 GB. Para afrontar estas situaciones, en la que se requiere de mayor memoria principal a la disponible, existen diversas herramientas disponibles, dependiendo del SO empleado.

Windows Server emplea la memoria dinámica en su hipervisor, estableciendo un mínimo y un máximo de memoria para cada VM [75]. En su versión 2012 se implementa el uso de las páginas inteligentes [76]. Cuando una VM inicia su SO, requiere de una cantidad de memoria superior a la que necesita para mantenerse en ejecución. Windows Server establece una reserva de memoria en el almacenamiento secundario, denominada página inteligente, para arrancar una VM. Cuando el SO se encuentra en ejecución, el hipervisor elimina la reserva de memoria. Con esta técnica es posible establecer una memoria dinámica mínima inferior a la que el SO necesita.

El hipervisor de código abierto KVM cuenta igualmente con herramientas para optimizar la memoria principal. Entre ellas destacan la fusión de páginas iguales del Kernel (“Kernel Samepage Merging”, KSM) y el globo de memoria “memory ballooning”. KVM emplea de forma continua una memoria dinámica para sus VM [77].

KSM es un software de código abierto, incluido en el hipervisor KVM, que ofrece un uso más eficiente de la memoria principal, realizando una deduplicación en la RAM [78]. En entornos virtuales donde la mayor parte de los usuarios emplean el mismo SO, se consigue un uso muy eficaz de la memoria (Ilustración 7). Un servidor con 128 GB de RAM puede desplegar hasta 64 usuarios, con un consumo de 1 GB para el SO y 1 GB para uso, sin contar el uso de memoria empleado por el hipervisor. Si aplicamos KSM, ese mismo servidor podría desplegar un total de 126 usuarios, 1 GB de uso para cada usuario, 1 GB para el SO y 0.252 MB (0.004MB x 63 usuarios compartiendo las páginas de memoria del SO), sin tener en cuenta las posibilidades que ofrece al compartir páginas de los programas en uso. En ese ejemplo, el aumento de usuarios es cercano al 100%, teniendo en cuenta su uso exclusivo para el SO [79].

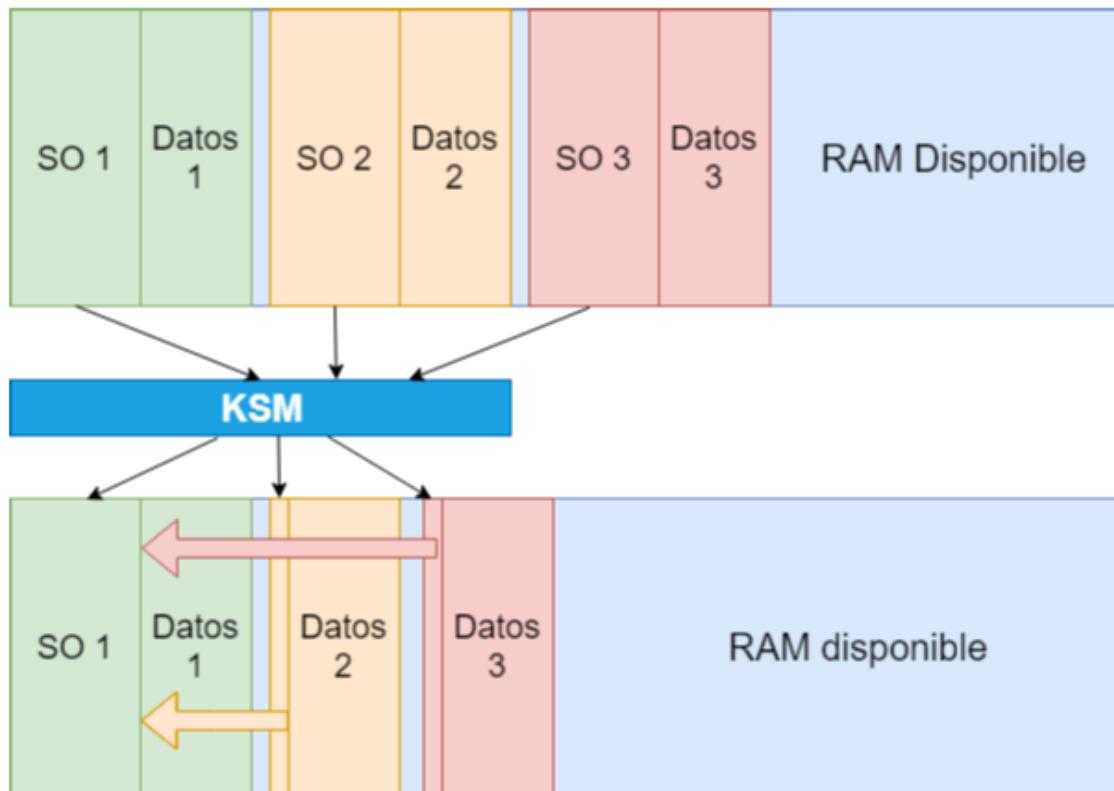


Ilustración 7: Funcionamiento KSM. Fuente: Elaboración propia.

La técnica del globo se emplea en situaciones donde se realiza un exceso de compromiso con la memoria principal. No es exclusivo de KVM, pues el software comercial de VMware también lo implementa. Sin embargo, Hyper-V no permite realizar esta técnica en ninguna de sus versiones, tanto las anteriores como la actual de 2019 [80].

Cuando la memoria principal disponible en el servidor anfitrión de VM se acerca a cero, el hipervisor simula un incremento en el uso de memoria principal de las VM. El SO de cada VM determina que contenido de su memoria principal puede ser eliminado para liberar memoria. La RAM disponible del servidor se ve incrementada y el hipervisor elimina el incremento de uso en la memoria de las VM [81]. Este incremento es descrito por VMware como un balón que se infla, simulando el uso de memoria creado por el hipervisor, para posteriormente desinflarse. Cuando la memoria disponible aumenta, este uso de RAM por parte del hipervisor es eliminado.

El procesador del ordenador almacena las direcciones de memoria principal para uso frecuente. Estas direcciones de memoria denominadas páginas se realizan para 4 kilobytes de RAM. En los sistemas actuales, con una configuración que alcanzan memorias principales superiores a 1 terabyte (TB), se requieren 256 millones de páginas de 4 KB para un sistema con un 1 TB de memoria [82]. La búsqueda entre todas esas páginas para localizar la necesaria se vuelve más lenta a medida que se incrementa el número de páginas almacenadas. La solución reside en incrementar el tamaño de estas páginas, lo que supone un incremento del rendimiento en el procesador [83]. Hyper-V denomina estas páginas de mayor tamaño, habitualmente 2 MB, como páginas extensas “large pages”, KVM las denomina páginas grandes “huge pages”.

El objetivo final de esta prueba es determinar un número máximo de usuarios que podría ejecutar el servidor, sin superar su límite de memoria principal. Se ha virtualizado

en cada equipo una VM con el SO Puppy Linux y se ha mantenido en ejecución. Posteriormente, se ha clonado esta VM hasta alcanzar el límite de RAM en el servidor. Una vez alcanzado, se ha calculado la memoria secundaria empleada para ejecutar la última VM, y con ello se han establecido los resultados. El entorno Linux y Ubuntu Server han empleado KVM para realizar la virtualización, frente a Hyper-V empleado para las otras soluciones.

Los resultados de esta prueba se muestran en Tabla 4 e Ilustración 8.

Tabla 4: Número de VM en ejecución. Fuente: Elaboración propia.

Sesión virtual Windows Server	Sesión virtual Ubuntu Server	VDI Windows	VDI Linux	DaaS Windows	DaaS Ubuntu
4,82	8,59	3,25	5,46	34,73	61,85

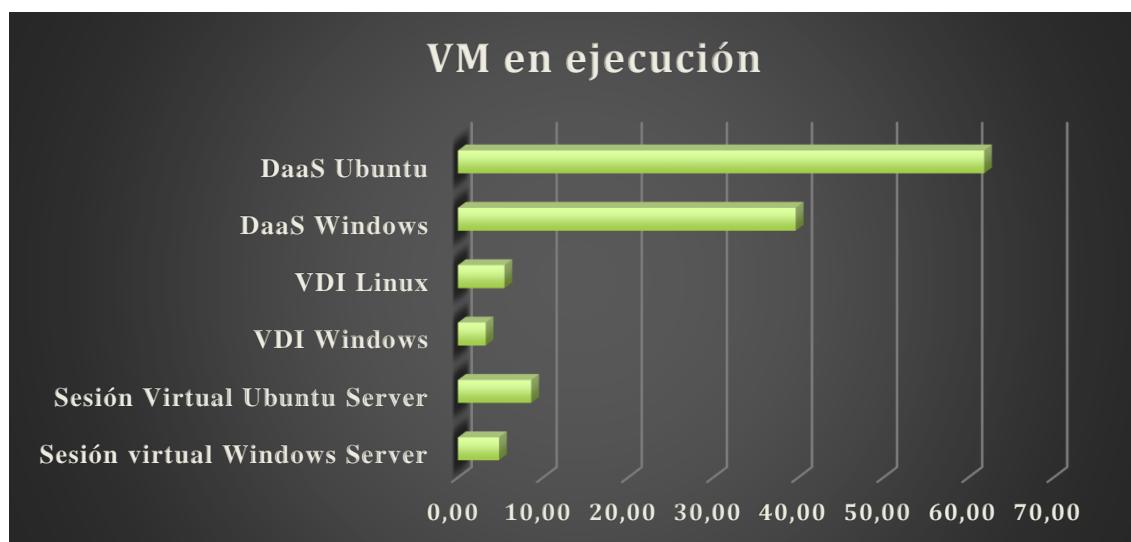


Ilustración 8: VM en ejecución. Fuente: Elaboración propia.

Los 32 GB de RAM con los que cuenta el DaaS lo sitúan en primer lugar. Sin embargo, la VDI Linux cuenta con 4 GB de RAM y consigue ejecutar más VM que la sesión virtual Windows Server que cuenta con 6 GB de RAM. Empleando KSM se logra un uso más eficiente de la memoria principal, siendo el DaaS Ubuntu capaz de ejecutar un 78% más de VM que su alternativa DaaS, un 68% más para VDI y un 78% más en sesión virtual. Los entornos de Microsoft realizan una gestión menos eficiente de la memoria principal que sus alternativas de código abierto.

4.5 Pruebas de red

Las distintas soluciones empleadas requieren de diferentes recursos de red. La solución DaaS emplea el ancho de banda en establecer la conexión con los servidores, ubicados en una localización remota. Los servidores se encuentran en la misma ubicación centralizada, pudiendo replicar los datos entre ellos de forma local, sin consumir ancho de banda. El resto de alternativas no emplean ancho de banda para conectar con el

servidor, que se encuentra ubicado junto a los usuarios, los cuales conectan de forma local al mismo, pero sí emplean estos recursos cuando los servidores replican los datos entre ellos, dado que se encuentran en diferentes ubicaciones en el despliegue.

El proceso de mantener la información en múltiples servidores proporciona grandes ventajas, pudiendo mantener un elevado nivel de servicio y una rápida recuperación en caso de errores. Dependiendo de los recursos disponibles de almacenamiento y ancho de banda, puede ser recomendable emplear una configuración de RAID 0, consistente en almacenar la información usando todos los discos disponibles una única vez. De este modo, se maximiza el rendimiento de escritura y lectura del almacenamiento, al tiempo que se mantiene un menor uso del disco para incrementar su vida útil. Con esta configuración, se requiere un elevado ancho de banda que permita obtener los archivos de otros servidores, en caso de producirse un fallo en el disco de cualquier servidor. En servidores con un menor ancho de banda disponible podría ser más recomendable una configuración RAID 10 (Ilustración 9), cuyo funcionamiento es similar a RAID 0, pero agrupando los discos en pares, de modo que cada par de discos contenga la misma información. Con este método se aseguraría la integridad de los datos, en caso de producirse errores en un disco, sin requerir conexión con otros servidores, pero añadiría el coste de un menor rendimiento.



Ilustración 9: Esquema de almacenamiento RAID 0 y RAID 10. Fuente: Elaboración propia.

Dependiendo del SO la réplica de datos se implementa por distintos métodos. En Windows Server 2008 R2, se realiza mediante la herramienta replicación del sistema de archivos distribuidos (“Distributed File System Replication”, DFS-R). Permite establecer características añadidas si el servicio de Active Directory está funcionando, pudiendo emplear carpetas y archivos de acceso restringido a determinados usuarios [84]. El sistema de réplica posibilita el establecimiento de una topología de servidores, para configurar el envío entre equipos. La transmisión de datos puede funcionar de forma periódica o de forma continua, pudiendo configurar un límite para el máximo ancho de banda que puede consumir este servicio.

En entornos Linux se implementa por medio de Duplicity. Este software de código abierto permite encriptar los archivos, añadir firmas para evitar modificaciones no deseadas y el registro de cambios, produciendo un consumo eficiente del ancho de banda [85]. Es compatible con gran número de protocolos y emplea el algoritmo Rsync.

Rsync es un procedimiento complejo para transmitir datos entre servidores. Antes de transmitir los datos, el servidor divide el archivo en bloques. Para cada uno de estos

bloques realiza una suma de comprobación de 32 bit periódica y una de 128 bits. Posteriormente se envían estas sumas de comprobación al otro servidor. El servidor que recibe estos datos, comprueba sus archivos a enviar en busca de bloques de la misma longitud, coincidentes con los dos archivos de suma de comprobación recibidos. El servidor envía aquellos datos necesarios para crear los archivos que quería sincronizar, a través de los bloques coincidentes entre servidores, a lo cual añade los datos necesarios que no se pueden crear mediante bloques [86]. De este modo, el ancho de banda consumido es mucho menor. El coste de procesamiento de los servidores es mayor, pero esta herramienta resulta muy adecuada en redes con bajo ancho de banda.

Los medios de red empleados en el ET también requieren de otros servicios que consumen ancho de banda. Proporcionan un máximo de 2 MB/s de ancho de banda por cada terminal satélite. En esta prueba se ha realizado una conexión al servidor en los entornos DaaS, midiendo los recursos de red requeridos para las tareas habituales del usuario. En Ubuntu Server se ha empleado Remmina para realizar las conexiones; este software de código abierto posibilita el uso de diversos protocolos para establecer una conexión remota con otros equipos [87]. En el entorno Windows se ha empleado escritorio remoto de Microsoft.

En las alternativas que no emplean DaaS, el resultado depende exclusivamente de la herramienta empleada en la réplica, obteniendo los mismos resultados independientemente del SO empleado. Se ha realizado una comparación entre duplicity, para los sistemas de código abierto, y DFS-R, propio de los entornos Windows. Se ha establecido un archivo UPD en el que se han realizado modificaciones respecto a la imagen base, realizando posteriormente una réplica y dividiendo el consumo entre la frecuencia de red se obtiene el consumo. Los resultados de las pruebas para entornos DaaS se muestran en Tabla 5. Los resultados para la comparación entre duplicity y DSF-R se recogen en Tabla 6.

Tabla 5: Resultados de las pruebas de conexión DaaS en bytes por segundo. Fuente: Elaboración propia.

Entorno de conexión	DaaS Windows	DaaS Ubuntu
Reproducción de video	8.116	7.548
Apertura de documentos	6.375	5.780
Conexión sin uso	698	716
Escribir un documento	4.142	3.651
Promedio	4.832,75	4.423,75

Tabla 6: Consumo de red en las herramientas de réplica medido en bytes por segundo. Fuente: Elaboración propia.

Réplica	SDF-R	Duplicity
Ancho de banda	1.769	1.722

La réplica se realiza bajo unas condiciones muy exigentes; el usuario realiza este tipo de modificaciones en su primer inicio de sesión y no en cada réplica que realiza el servidor como se ha calculado en esta prueba. Para realizar la comparación con los entornos DaaS, se tomará el valor más elevado de los obtenidos en las pruebas, el obtenido en reproducción de video. Estos resultados se muestran en Ilustración 10.

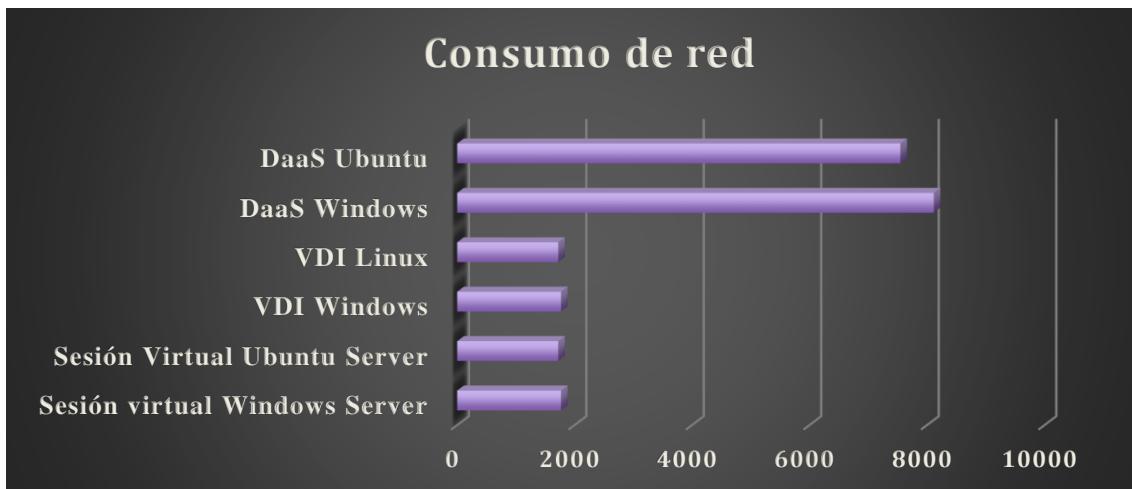


Ilustración 10: Consumo de red. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de las pruebas, cuyos detalles de realización se recogen en el Anexo C: Resultados completos de las pruebas, demuestran que los entornos de código abierto emplean menor ancho de banda.

La conexión por medio de Remmina en DaaS Ubuntu consigue una experiencia más fluida para el usuario que escritorio remoto de Microsoft. Pese a que emplea una tasa de actualización de imágenes de menor frecuencia, la conexión es más estable y el ancho de banda empleado es mucho menor. El ancho de banda empleado por ambas soluciones en realizar la conexión alcanza los 25.000 bytes por segundo hasta que se establece el enlace, pudiendo este proceso tardar hasta 10 segundos en las pruebas realizadas.

Duplicity consigue reducir el ancho de banda empleado para replicar los archivos, sin embargo, necesita un tiempo muy superior entre réplicas, para su configuración y para su puesta en funcionamiento.

4.6 Análisis multicriterio

Para integrar el resultado de todas las pruebas se ha realizado una comparación entre las distintas alternativas, teniendo en cuenta los resultados obtenidos y la importancia de cada prueba.

En primer lugar, se ha realizado una transformación de los resultados para estandarizarlos utilizando una escala de cero a uno. Este cálculo ha consistido en la división de los resultados de rendimiento y memoria entre el valor máximo obtenido por las alternativas. Para las pruebas de almacenamiento y red, donde un menor valor implica un mejor resultado, se ha dividido el mínimo resultado obtenido entre los valores de cada alternativa. La Tabla 7 recoge los resultados de la estandarización.

Tabla 7: Resultados de las pruebas estandarizados. Fuente: Elaboración propia.

Pruebas	Sesión virtual Windows Server	Sesión virtual Ubuntu Server	VDI Windows	VDI Linux	DaaS Windows	DaaS Ubuntu
Rendimiento mononúcleo	0,38	0,41	0,43	0,49	0,95	1,00
Rendimiento multinúcleo	0,12	0,13	0,14	0,15	0,96	1,00
Almacenamiento	0,44	0,42	0,45	0,43	1,00	0,96
Memoria	0,08	0,14	0,05	0,09	0,56	1,00
Red	0,97	1,00	0,97	1,00	0,21	0,23

En segundo lugar, se asigna un peso a cada una de estas pruebas. Para ello, se ha tomado el precio del componente principal que se haya empleado en la alternativa al que se le asigna el valor uno, dividiendo posteriormente ese precio entre el precio total de los componentes. En el caso del rendimiento, el componente principal es el procesador. En este caso, se asigna la mitad de su peso al rendimiento mononúcleo y la otra mitad al rendimiento multinúcleo. El precio del procesador Intel i9 7980 XE es de 853,79 Euros¹. Para el almacenamiento, el mejor resultado lo logra un Samsung SSD 970 Pro con conexión M.2, con un precio de 326,90 Euros². En el caso de la memoria, el resultado de uno se consigue empleando una memoria Crucial de 32GB y 2.666 megahercios (“MegaHertz”, MHz) de frecuencia, con un precio de 254,09 Euros³. En el caso del consumo de red, no existe un componente principal que limite los resultados en el equipo, los límites se deben al ancho de banda de los medios de transmisiones. Teniendo en cuenta que, al igual que la RAM, el consumo de red limita el número de usuarios, se le ha asignado el mismo peso que a la memoria, debido a que su resultado implica también un número máximo de usuarios que pueden emplear el servicio.

El resultado de multiplicar los valores obtenidos anteriormente por el peso correspondiente se muestra en Tabla 8.

¹ Datos obtenidos de lambda-tek.es (28/10/2019)

² Datos obtenidos de pccomponentes.com (28/10/2019)

³ Datos obtenidos de crucial.es (28/10/2019)

Tabla 8: Resultados del análisis multicriterio multiplicando los valores de las pruebas por su peso. Fuente: Elaboración propia.

Pruebas	Sesión virtual Windows Server	Sesión virtual Ubuntu Server	VDI Windows	VDI Linux	DaaS Windows	DaaS Ubuntu
Rendimiento mononúcleo	0,10	0,10	0,11	0,12	0,24	0,25
Rendimiento multinúcleo	0,03	0,03	0,03	0,04	0,24	0,25
Almacenamiento	0,08	0,08	0,09	0,08	0,19	0,19
Memoria	0,01	0,02	0,01	0,01	0,08	0,15
Red	0,15	0,15	0,15	0,15	0,03	0,03
Total	0,37	0,39	0,38	0,41	0,79	0,88

Las distintas pruebas realizadas mantienen como mejor opción a la alternativa DaaS frente al resto, obteniendo una puntuación de 0,88 en el análisis multicriterio. Sin embargo, el uso de red es un gran limitante. Con un uso de hasta 7.548 B/s por usuario, una vez establecida la conexión, en el caso de Ubuntu Server, se podría mantener teóricamente 277 usuarios por cada satélite. Pero, estos satélites emplean ancho de banda para proporcionar otros servicios, como la red de propósito general, la telefonía IP, etc. A ello hay que sumar que 2 MB es la máxima capacidad de los terminales más actuales, proporcionándose con frecuencia un ancho de banda menor o requiriendo del uso de otros medios de menor capacidad. Por ello, el número real de usuarios que podrían emplear este servicio sería aproximadamente 30 en las situaciones más favorables, siendo necesarios 100 usuarios por cada terminal⁴. Por ello, esta alternativa, pese a ser la mejor de las propuestas, no es viable, siempre y cuando no se actualicen los medios empleados en el ET.

La mejor alternativa que se podría implementar con los medios actuales sería la VDI Linux, sin embargo, esta alternativa que no tiene ningún coste en licencias, tiene una serie de costes en formación de personal, adaptación de doctrina, modificación de servidores, etc. Por ello, teniendo en cuenta que esos costes tardarían un tiempo en rentabilizarse y con la inminente implementación de los nuevos medios de transmisiones, que se espera sea operativa para el 2021 [88], se propone como mejor alternativa, realizar la implementación del DaaS con la llegada de los nuevos medios.

⁴ Basado en las maniobras realizadas en el Batallón de Transmisiones II/1 de Madrid en los cinco últimos años.

5 Conclusiones

Los sistemas de código abierto han demostrado mucho mejor rendimiento en las pruebas, exceptuando la ventaja que los sistemas de Microsoft tienen en la prueba de almacenamiento. Además, las herramientas de código abierto son gratuitas y pueden modificarse libremente, pudiendo los administradores añadir opciones de seguridad al software e implementar mejoras y modificaciones. Por ello, la mejor solución que podría implementarse en la actualidad sería la VDI de código abierto, debido a que el DaaS tiene unos requerimientos de red que no se pueden proporcionar con los medios de transmisión de las unidades.

Es importante entender que esta solución, que no implica gastos en licencias, requiere de un desembolso de dinero para modificar los procedimientos actuales, adquirir nuevos servidores, para que funcionen como anfitriones de virtualización, y formar a los administradores de los nodos y los usuarios de los equipos. La VDI solo serviría como una solución temporal hasta adquirir nuevos medios que posibiliten el DaaS. Por ello, dado el limitado presupuesto del ET, la mejor solución sería implementar la movilidad por medio del DaaS con la llegada de los nuevos medios, realizando la movilidad de usuarios, hasta ese momento, con el transporte del equipo personal del usuario que realiza el cambio de ubicación.

Líneas futuras de trabajo

Teniendo en cuenta el potencial de los entornos de código abierto empleados, junto con su gran ventaja a nivel de costes, actualizaciones y la posibilidad de ser modificados libremente por los administradores, una profundización en este ámbito, posibilitaría grandes ahorros en licencias, al tiempo que mejoraría el rendimiento y permitiría emplear nuevas características.

El empleo de estos nuevos SO requeriría de una inversión para la actualización de la doctrina, nuevos cursos de formación y la modificación de los servidores y equipos físicos. Estos costes se podrían compensar por medio del ahorro conseguido en adquisición de licencias y actualizaciones.

La implementación de la virtualización de escritorio empleando la solución DaaS, obligaría a centralizar los servidores y los administradores de estos equipos en una misma ubicación, consiguiendo un ahorro de costes en energía y mantenimiento y una mejora en la infraestructura de los equipos. A su vez, el DaaS posibilita el uso de clientes de menores recursos físicos, pudiendo lograr con ello grandes ahorros. Se podrían emplear equipos ligeros de un coste hasta diez veces menor al de los equipos actuales y con una mayor vida útil.

En definitiva, un estudio de costes y beneficios económicos a medio y largo plazo de esta implementación, resultaría de gran interés para el ET. A su vez, sería interesante realizar una comparación entre los distintos SO de código abierto que podrían emplear los servidores, con especial relevancia en el apartado de seguridad y las políticas que deben ejecutar los administradores.

Bibliografía

- [1] openSUSE Leap, «Virtualization Technology | Virtualization Guide». [En línea]. Disponible en: <https://doc.opensuse.org/documentation/leap/virtualization/html/book.virt/chap.virtualization.introduction.html>. [Accedido: 02-oct-2019].
- [2] T. Olzak, J. Boomer, R. M. Keefer, y J. Sabovik, «Chapter 15 - Desktop virtualization», en *Microsoft Virtualization*, T. Olzak, J. Boomer, R. M. Keefer, y J. Sabovik, Eds. Boston: Syngress, 2010, pp. 377-441.
- [3] Sgto. D Jacobo López Roa, Sgto. D Carlos Domínguez Iglesias, Sgto. Enrique Cabrera Martínez, y Sgto. Dña Sabaa Ali Hamed, «SIMACET 4.2.1 Fundamentos», en *Administrador fullstack de SIMACET 4.2. Guía de configuración del nodo y solución de errores*, Sgto. D. G. Trabanco Llano, Ed. 2018, pp. 32-36.
- [4] NH Learning Solutions, «Top 5 Business Benefits of Server Virtualization». [En línea]. Disponible en: <https://blog.nhlearningsolutions.com/blog/top-5-ways-businesses-benefit-from-server-virtualization>. [Accedido: 03-oct-2019].
- [5] Microsoft, «Fin del soporte de Windows Server 2008 y 2008 R2 | Microsoft», *Microsoft Cloud-Platform - ES (Español)*. [En línea]. Disponible en: <https://www.microsoft.com/es-es/cloud-platform/windows-server-2008>. [Accedido: 19-sep-2019].
- [6] MALE \ DIMA \ PCMSHS, «Configuración SO», en *Manual de Instalación SIMACET 4.1. Nodos sin clúster.*, Ed. 1.6., Madrid, 2013, pp. 39-43.
- [7] Sgto. D Jacobo López Roa, Sgto. D Carlos Domínguez Iglesias, Sgto. Enrique Cabrera Martínez, y Sgto. Dña Sabaa Ali Hamed, «Objetivos SIMACET», en *Administrador fullstack de SIMACET 4.2. Guía de configuración del nodo y solución de errores*, Sgto. D. G. Trabanco Llano, Ed. 2018, pp. 163-165.
- [8] MALE \ DIMA \ PCMSHS, «Configuración de los servidores», en *Manual de Instalación SIMACET 4.1. Nodos sin clúster.*, Ed. 1.6., Madrid, 2013, pp. 201-213.
- [9] Red Hat, «Understanding virtualization». [En línea]. Disponible en: <https://www.redhat.com/es/topics/virtualization>. [Accedido: 04-oct-2019].
- [10] VMware, «Hypervisor». [En línea]. Disponible en: <https://www.vmware.com/topics/glossary/content/hypervisor>. [Accedido: 04-oct-2019].
- [11] BeServices, «Hypervisor o VMM: ¿Qué es y qué relación tiene con el Cloud Computing?» [En línea]. Disponible en: <https://www.beservices.es/hypervisor-que-es-virtual-machine-monitor-n-5351-es>. [Accedido: 04-oct-2019].
- [12] IBM Cloud Education, «What are Hypervisors?», 07-ago-2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.ibm.com/cloud/learn/hypervisors>. [Accedido: 04-oct-2019].

- [13] A. Ganesh, «Hyper-V Live Migration without Failover Clustering», 05-jul-2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.vembu.com/blog/hyper-v-virtual-machine-live-migration-without-failover-clustering/>. [Accedido: 04-oct-2019].
- [14] Google Cloud, «VM migration lifecycle | Migrate for Compute Engine (formerly Velostrata)». [En línea]. Disponible en: <https://cloud.google.com/migrate/compute-engine/docs/4.5/concepts/planning-a-migration/vm-migration-lifecycle>. [Accedido: 04-oct-2019].
- [15] DMTF, «OVF | DMTF». [En línea]. Disponible en: <https://www.dmtf.org/standards/ovf>. [Accedido: 04-oct-2019].
- [16] Oracle Corporation, «Oracle® VM VirtualBox®». [En línea]. Disponible en: <https://www.virtualbox.org/manual/UserManual.html#virtintro>. [Accedido: 04-oct-2019].
- [17] N. Herath, «Virtual Machines and How Malware Authors Know When They Are Being Watched», *Security Intelligence*, 16-oct-2013. [En línea]. Disponible en: <https://securityintelligence.com/virtual-machines-malware-authors-being-watched/>. [Accedido: 04-oct-2019].
- [18] S. Bhartiya, «Why, When, and How To Use a Virtual Machine», *Linux.com*, 10-ago-2015.
- [19] Certia, «Microsoft Windows Server. La solución ideal para los servidores». [En línea]. Disponible en: <https://www.certia.net/WindowsServer>. [Accedido: 04-oct-2019].
- [20] Microsoft Docs, «What's new in Windows Server 2019». [En línea]. Disponible en: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows-server/get-started-19/whats-new-19>. [Accedido: 16-sep-2019].
- [21] O. Thomas, «Windows Server 2008 R2 Secrets», p. 578, 2008.
- [22] KBDAzure, «Introducción a la tecnología Hyper-V». [En línea]. Disponible en: <https://docs.microsoft.com/es-es/windows-server/virtualization/hyper-v/hyper-v-technology-overview>. [Accedido: 08-sep-2019].
- [23] M. Minasi, D. Gibson, A. Finn, W. Henry, y B. Hynes, *Mastering Windows Server 2008 R2*..
- [24] Microsoft Docs, «Servicio de instantáneas de volumenVolume Shadow Copy Service». [En línea]. Disponible en: <https://docs.microsoft.com/es-es/windows-server/storage/file-server/volume-shadow-copy-service>. [Accedido: 11-sep-2019].
- [25] Acronis, «Soluciones de copia de seguridad en Windows Server - Acronis Backup». [En línea]. Disponible en: <https://www.acronis.com/es-es/business/backup/windows-server/>. [Accedido: 04-oct-2019].
- [26] J. Reed, «Discovering New Hyper-V Features in Windows Server 2019», 02-jul-2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.nakivo.com/blog/top-hyper-v-features-windows-server-2019/>. [Accedido: 04-oct-2019].
- [27] Microsoft Docs, «Active Directory Structure and Storage Technologies: Active Directory». [En línea]. Disponible en: [https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/it-pro/windows-server-2003/cc759186\(v%3dws.10\)](https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/it-pro/windows-server-2003/cc759186(v%3dws.10)). [Accedido: 19-sep-2019].

- [28] TechTarget, «Windows Server 2008 Learning Guide», *SearchWindowsServer*. [En línea]. Disponible en: <https://searchwindowsserver.techtarget.com/tutorial/Windows-Server-2008-Learning-Guide>. [Accedido: 19-sep-2019].
- [29] DNSStuff, «The Ultimate Guide to Active Directory Best Practices 2019», 29-may-2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.dnsstuff.com/active-directory-best-practices>. [Accedido: 04-oct-2019].
- [30] DistributedNetworks, «Physical Structure of Active Directory (site names and locations)». [En línea]. Disponible en: <https://www.distributednetworks.com/active-directory-administration/module3/physicalStructure-ofActive-directory.php>. [Accedido: 04-oct-2019].
- [31] Marko Ivancic, «Active Directory Structure», *Utilize Windows*, 22-feb-2016.
- [32] R. Morimoto y G. Yardeni, Eds., *Windows server 2008 R2 unleashed*. Indianapolis, Ind: Sams, 2010.
- [33] Paessler, «Active Directory: definición y detalles». [En línea]. Disponible en: <https://www.es.paessler.com/it-explained/active-directory>. [Accedido: 08-sep-2019].
- [34] Microsoft, «Introducción a Active Directory». [En línea]. Disponible en: <https://support.microsoft.com/es-es/help/196464>. [Accedido: 11-sep-2019].
- [35] TSFactory, «VDI Wiki». [En línea]. Disponible en: <https://www.tsfactory.com/forums/vdiwiki/>. [Accedido: 04-oct-2019].
- [36] R. Sheldon, «Choose the right method for virtualizing applications», *SearchVirtualDesktop*. [En línea]. Disponible en: <https://searchvirtualdesktop.techtarget.com/feature/Choose-the-right-method-for-virtualizing-applications>. [Accedido: 08-sep-2019].
- [37] PCMag, «application virtualization Definition from PC Magazine Encyclopedia». [En línea]. Disponible en: <https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/58428/application-virtualization>. [Accedido: 04-oct-2019].
- [38] TechAdvisory, «App virtualization: What you need to know». [En línea]. Disponible en: <https://www.techadvisory.org/2018/10/app-virtualization-what-you-need-to-know/>. [Accedido: 04-oct-2019].
- [39] Citrix, «Citrix Virtual Apps - Understanding How Session Virtualization Works». [En línea]. Disponible en: <https://www.citrix.com/products/citrix-virtual-apps-and-desktops/application-virtualization.html>. [Accedido: 04-oct-2019].
- [40] Microsoft Docs, «Implementación de aplicaciones virtuales de App-V - Configuration Manager». [En línea]. Disponible en: <https://docs.microsoft.com/es-es/sccm/apps/get-started/deploying-app-v-virtual-applications>. [Accedido: 19-sep-2019].
- [41] K. Knight, «RemoteApp Tool - Kim Knight». [En línea]. Disponible en: <http://www.kimknight.net/remoteapptool>. [Accedido: 02-oct-2019].
- [42] Apache Software Foundation, «Chapter 1. Implementation and architecture». [En línea]. Disponible en: <https://guacamole.apache.org/doc/gug/guacamole-architecture.html#web-application>. [Accedido: 02-oct-2019].

- [43] Apache Software Foundation, «Chapter 15. Using Guacamole». [En línea]. Disponible en: <https://guacamole.apache.org/doc/gug/using-guacamole.html>. [Accedido: 02-oct-2019].
- [44] A. Fryer, *Getting started with Windows VDI: create, maintain, and secure scalable and resilient virtual desktops with Windows 8.1 and Windows Server 2012 R2*. 2014.
- [45] M. Tulloch, «VDI vs. Session Virtualization | BizTech Magazine». [En línea]. Disponible en: <https://biztechmagazine.com/article/2011/04/vdi-vs-session-virtualization>. [Accedido: 04-oct-2019].
- [46] A. Herreiz, «Arquitectura de “Remote Desktop Services” (RDS) y sus roles principales – LATAM Support Blog». [En línea]. Disponible en: <https://blogs.technet.microsoft.com/latam/2017/07/20/arquitectura-de-remote-desktop-services-rds-y-sus-roles-principales/>. [Accedido: 09-sep-2019].
- [47] B. Wright y B. Svidergol, «Planning and Deploying Session-based Virtual Desktops | Microsoft Press Store». [En línea]. Disponible en: <https://www.microsoftpressstore.com/articles/article.aspx?p=2346349>. [Accedido: 04-oct-2019].
- [48] N. Mehic, «Remote Desktop Services 2016, Standard Deployment – Part 10 – Useful Tips», 27-sep-2018.
- [49] Brandon, «Clientes ligeros con LTSP en Ubuntu Server 16.04 (Guía exhaustiva) – Linux Liaison». [En línea]. Disponible en: <https://linuxliaison.org/clientes-ligeros-con-ltsp-en-ubuntu-server-16-04-guia-exhaustiva/>. [Accedido: 02-oct-2019].
- [50] Adrien, «Installing Your Own LTSP Server on Ubuntu», *Make Tech Easier*, 03-may-2012. [En línea]. Disponible en: <https://www.maketecheasier.com/installing-your-own-ltsp-server-on-ubuntu/>. [Accedido: 02-oct-2019].
- [51] Microsoft, «Virtual Desktop Pool», *TECHCOMMUNITY.MICROSOFT.COM*, 08-sep-2018. [En línea]. Disponible en: <https://techcommunity.microsoft.com/t5/Enterprise-Mobility-Security/Virtual-Desktop-Pool/ba-p/246942>. [Accedido: 04-oct-2019].
- [52] Citrix, «Best Practices for Personal Desktops with VDI-in-a-Box». [En línea]. Disponible en: <https://support.citrix.com/article/CTX134793>. [Accedido: 04-oct-2019].
- [53] C. Marcho, «Windows 8 / Windows Server 2012: VDI Personal Desktop Collections - Microsoft Tech Community - 375251». [En línea]. Disponible en: <https://techcommunity.microsoft.com/t5/Ask-The-Performance-Team/Windows-8-Windows-Server-2012-VDI-Personal-Desktop-Collections/ba-p/375251>. [Accedido: 04-oct-2019].
- [54] Awingu, «DEMYSTIFYING RDP: UNDERSTANDING RDP, VDI & RDS - Awingu». [En línea]. Disponible en: <https://www.awingu.com/demystifying-rdp-understanding-rdp-vdi-rds/>. [Accedido: 04-oct-2019].
- [55] A. La rosa, «Monitorización de VDI: lo que debe saber para afrontar el reto», 05-mar-2019.

- [56] T. Ustinavičius, «Seitanas/kvm-vdi». [En línea]. Disponible en: <https://github.com/Seitanas/kvm-vdi>. [Accedido: 10-sep-2019].
- [57] B. Vigliarolo, «VDI vs. DaaS: What is the difference, and which is best for your business' virtualization needs?», *TechRepublic*. [En línea]. Disponible en: <https://www.techrepublic.com/article/vdi-vs-daas-what-is-the-difference-and-which-is-best-for-your-business-virtualization-needs/>. [Accedido: 08-sep-2019].
- [58] K. Allan, «Data visibility: The biggest problem with public clouds», *Cloud Pro*. [En línea]. Disponible en: <https://www.cloudpro.co.uk/go/8084>. [Accedido: 04-oct-2019].
- [59] M. Rouse, «What is private cloud (internal cloud or corporate cloud)? - Definition from WhatIs.com», *SearchCloudComputing*. [En línea]. Disponible en: <https://searchcloudcomputing.techtarget.com/definition/private-cloud>. [Accedido: 08-sep-2019].
- [60] OpenStack, «OpenStack Foundation supporting companies». [En línea]. Disponible en: <https://www.openstack.org/foundation/companies/>. [Accedido: 04-oct-2019].
- [61] Microsoft, «Azure Confidential Computing | Microsoft Azure». [En línea]. Disponible en: <https://azure.microsoft.com/en-us/solutions/confidential-compute/>. [Accedido: 12-sep-2019].
- [62] P. Schnackenburg, «New Windows Server 2019 networking: Hyper-V and software-defined networking». [En línea]. Disponible en: <https://4sysops.com/archives/new-windows-server-2019-networking-hyper-v-and-software-defined-networking/>. [Accedido: 04-oct-2019].
- [63] OpenStack, «Build the future of Open Infrastructure.» [En línea]. Disponible en: <https://www.openstack.org/>. [Accedido: 12-sep-2019].
- [64] V. K. C. Bumgardner, *OpenStack in action*. Shelter Island, New York: Manning, 2016.
- [65] D. Raffo y C. Sliwa, «What is M.2 SSD? - Definition from WhatIs.com», *SearchStorage*. [En línea]. Disponible en: <https://searchstorage.techtarget.com/definition/M2-SSD>. [Accedido: 22-oct-2019].
- [66] L. Case, «Understanding CPU Features», *PCWorld*, 28-mar-2011. [En línea]. Disponible en: <https://www.pcworld.com/article/221559/cpu.html>. [Accedido: 07-oct-2019].
- [67] Sukhdev Singh Ghuman, «Comparison of Single-Core and Multi-Core Processor», *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. Softw. Eng.*, vol. 6, jun. 2016.
- [68] Geekbench, «Interpreting Geekbench 5 Scores / Geekbench / Knowledge Base - Primate Labs Support». [En línea]. Disponible en: <http://support.primatelabs.com/kb/geekbench/interpreting-geekbench-5-scores>. [Accedido: 30-sep-2019].
- [69] D. Davis, «10 ways to improve virtual server storage», *SearchStorage*. [En línea]. Disponible en: <https://searchstorage.techtarget.com/feature/10-ways-to-improve-virtual-server-storage>. [Accedido: 19-sep-2019].

- [70] wmgries, «Data Deduplication Overview». [En línea]. Disponible en: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows-server/storage/data-deduplication/overview>. [Accedido: 19-sep-2019].
- [71] Microsoft Docs, «Introducción a la desduplicación de datos». [En línea]. Disponible en: <https://docs.microsoft.com/es-es/windows-server/storage/data-deduplication/overview>. [Accedido: 07-oct-2019].
- [72] Anantha Krishnan P. T., «Data Deduplication with a Linux Based File System», 15-feb-2019.
- [73] VMware Docs, «Memory Overcommitment». [En línea]. Disponible en: <https://docs.vmware.com/en/VMware-vSphere/6.5/com.vmware.vsphere.resmgmt.doc/GUID-895D25BA-3929-495A-825B-D2A468741682.html>. [Accedido: 07-oct-2019].
- [74] Red Hat, «33.4. Overcommitting Resources Red Hat Enterprise Linux 5». [En línea]. Disponible en: https://access.redhat.com/documentation/en-us/red_hat_enterprise_linux/5/html/virtualization/sect-virtualization-tips_and_tricks-overcommitting_with_kvm. [Accedido: 07-oct-2019].
- [75] Microsoft Docs, «Hyper-V Dynamic Memory Overview». [En línea]. Disponible en: [https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/it-pro/windows-server-2012-r2-and-2012/hh831766\(v%3dws.11\)](https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/it-pro/windows-server-2012-r2-and-2012/hh831766(v%3dws.11)). [Accedido: 19-sep-2019].
- [76] Microsoft Docs, «Whats New For Windows Server 2012 R2 and Windows Server 2012 - Windows applications». [En línea]. Disponible en: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/win32/srvnodeds/what-s-new-for-windows-server-2012-r2>. [Accedido: 19-sep-2019].
- [77] KVM, «FAQ - KVM». [En línea]. Disponible en: <https://www.linux-kvm.org/page/FAQ>. [Accedido: 13-sep-2019].
- [78] Red Hat, «8.3. Kernel Same-page Merging (KSM) Red Hat Enterprise Linux 7». [En línea]. Disponible en: https://access.redhat.com/documentation/en-us/red_hat_enterprise_linux/7/html/virtualization_tuning_and_optimization_guide/chap-ksm. [Accedido: 03-oct-2019].
- [79] H. D. Chirammal, P. Mukhedkar, y A. Vettathu, *Mastering KVM virtualization: dive in to the cutting edge techniques of Linux KVM virtualization, and build the virtualization solutions your datacentre demands*. Birmingham Mumbai: Packt Publishing, 2016.
- [80] Microsoft Docs, «Hyper-V Dynamic Memory Configuration Guide». [En línea]. Disponible en: [https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/it-pro/windows-server-2008-r2-and-2008/ff817651\(v%3dws.10\)](https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/it-pro/windows-server-2008-r2-and-2008/ff817651(v%3dws.10)). [Accedido: 07-oct-2019].
- [81] M. Raffic, «VMware Memory Management Part 3 - Memory Ballooning», *VMware Arena*, 05-jul-2017.
- [82] Oracle Corporation, «7.13 How are Huge Pages Enabled for Virtual Machines?» [En línea]. Disponible en: https://docs.oracle.com/cd/E50245_01/E50249/html/vmcon-vm-hugepages.html#. [Accedido: 04-oct-2019].

- [83] J. Woolsey, «Dynamic Memory Coming to Hyper-V Part 3...». [En línea]. Disponible en: <https://docs.microsoft.com/en-us/virtualization/community/team-blog/2010/20100407-dynamic-memory-coming-to-hyper-v-part-3>. [Accedido: 13-sep-2019].
- [84] J. Barreto, «The Basics of the Windows Server 2008 Distributed File System (DFS)». [En línea]. Disponible en: <https://blogs.technet.microsoft.com/josebda/2009/03/10/the-basics-of-the-windows-server-2008-distributed-file-system-dfs/>. [Accedido: 13-sep-2019].
- [85] M. Terry, «duplicity: Features». [En línea]. Disponible en: <http://duplicity.nongnu.org/features.html>. [Accedido: 19-sep-2019].
- [86] A. Tridgell, «The rsync algorithm». [En línea]. Disponible en: https://rsync.samba.org/tech_report/node2.html. [Accedido: 13-sep-2019].
- [87] A. Kili, «Remmina - A Feature Rich Remote Desktop Sharing Tool for Linux»..
- [88] Defensa.com, «Entrevista al jefe del Mando de Apoyo Logístico del Ejército de Tierra español, teniente general Ramón Pardo de Santayana y Gómez Olea-noticia defensa.com - Noticias Defensa España», 19-ene-2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.defensa.com/espagna/entrevista-jefe-mando-apoyo-logistico-ejercito-tierra-espanol>. [Accedido: 10-oct-2019].
- [89] Microsoft, «Precios y licencias de Windows Server 2019 | Microsoft», *Microsoft Cloud-Platform - ES (Español)*. [En línea]. Disponible en: <https://www.microsoft.com/es-es/cloud-platform/windows-server-pricing>. [Accedido: 16-sep-2019].

Anexo A: Configuración detallada de los equipos

Los recursos físicos disponibles para cada solución deben ser acordes a las pruebas a realizar. La virtualización de sesión ha contado con una mayor cantidad de RAM disponible que una VDI, debido a que el SO empleado es el mismo para todos los equipos y reside en el servidor. La capacidad de computación de estas dos alternativas debe ser similar, por lo que se empleará la misma cantidad de núcleos virtuales, dotando a la sesión virtual de una ligera ventaja en frecuencia base del procesador y de la memoria principal. La opción DaaS centraliza los recursos disponibles en las distintas unidades, para ofrecerlos en conjunto. Se consigue así un nivel de servicio más elevado, al tener toda la demanda concentrada sobre los servidores centrales. Por ello, esta opción contará con una mayor cantidad de recursos físicos.

Para calcular los recursos de las alternativas se tomará como equipo base para la VDI, recursos similares a los que se emplean en algunos clientes empleados para utilizar SIMACET.

Mantener la virtualización de sesión requiere de un servidor capaz de emplear Windows Server y establecerse como anfitrión. Por ello, se empleará un procesador Xeon E5-2630 V4 diseñado para servidores, con una frecuencia básica de 2.2 GHz y un total de 10 núcleos, de los cuales se emplearán 4 hilos para virtualizar la sesión. Compartir el SO permite una alta disponibilidad de memoria RAM, por lo que se dotará con 6 GB de RAM a una frecuencia de 2.200 MHz para las pruebas.

Las soluciones implementadas por VDI emplearán ambas el mismo hardware, para posibilitar una comparación adecuada entre el entorno Windows y el entorno Linux. Se virtualizarán ambos SO en un equipo físico, dotado de un procesador AMD Ryzen 5 3550H, funcionando a una frecuencia base de 2.1 GHz y contando con 4 hilos virtuales para cada VM. Emplearán 4 GB de RAM a una frecuencia de 2100 MHz, 100 MHz por debajo de la virtualización de sesión.

Las alternativas DaaS ofrecerán las mejores prestaciones de hardware. Contarán con un procesador Intel Core i9-7980 XE, a una frecuencia base de 2.6 GHz y con un total de 18 núcleos físicos. Emplearán 32 GB de RAM Crucial a una frecuencia de 2666 MHz. Este equipo empleará un Samsung SSD 970 Pro con conexión M.2, frente a las otras alternativas que emplearán un SSD estándar.

Anexo B: Coste de un servidor físico frente a una licencia

El precio de una licencia individual de Windows Server 2019 en su versión para centros de datos es de 6.155 dólares (5.577,71 Euros²) [89]; la versión estándar mantiene un límite de dos VM para Windows Server frente a la versión de centros de datos que no tiene límite. Esta licencia se vende en un modelo basado en núcleos y son para un total de 16 núcleos. Para comparar el precio de esta licencia con la construcción de un servidor basado en software de código abierto, cuyo único coste sería el del servidor físico, se adjunta la configuración de hardware para un equipo capaz de soportar grandes cargas de trabajo y de ejercer como servidor anfitrión de virtualización de escritorio (Ilustración B. 1). El precio de este servidor es de 2.679,69 Euros, pudiendo adquirirse dos servidores como este por cada licencia de Windows Server 2019.

Dicho servidor cuenta con 128 GB de RAM a una frecuencia de 2.666 MHz. En cuanto a su almacenamiento, dispone de un disco duro de 2 TB y 1 TB de memoria SSD con conexión M.2. El procesador que implementa es un AMD Threadripper 2970WX. Cuenta con 24 núcleos / 48 hilos de procesamiento a una frecuencia base de 3 gigahercios (“GigaHertz”, GHz). Con estas características físicas, su rendimiento es muy superior al equipo empleado en las pruebas DaaS. Debido a la cantidad de núcleos que emplean los nuevos procesadores para conseguir mejor rendimiento paralelo, sería necesario adquirir 3 licencias por cada 2 equipos con estas características. Lo cual implicaría un coste de 18.465 dólares (16.733,14 Euros⁵) para licencias por cada 5.359,38 Euros empleados en equipos físicos, es decir, se emplearía tres veces más dinero en licencias que en el propio servidor que empleará el software.

⁵ Datos tomados de investing.com (13/10/2019)



Imagen	Producto	Precio unitario	Cantidad	Total
	W.D Caviar 2TB SATA 3 RED ENLACE DEL FABRICANTE HD WD 2TB 3.5" SATA3 64MB WD RED para NAS.	82.360805	1	82.360805
	Cooler Master K380 USB 3.0 window ENLACE DEL FABRICANTE Caja Midi-Tower en color negro. Conexiones 1xUSB3.0 (interno), 1xUSB2.0, Mic, Audio. Longitud máxima de VGA 316,6mm.	50.368791	1	50.368791
	Cryorig R1 Ultimate Cooler para CPU con 7 heat-pipes de cobre. Incluye 2 ventiladores XF140. Compatible con socket Intel 775, 1155, 1156, 1366, 2011 y AMD AM2, AM2+, AM3, AM3+, FM1 y FM2.	79.476914	1	79.476914
	CORSAIR HX750i 750W 80 Plus Platinum Modular ENLACE DEL FABRICANTE Ofrecen un Control del Voltaje Extremadamente Preciso, Funcionamiento Prácticamente Silencioso.	175.980827	1	175.980827
	Corsair Vengeance LPX 2666MHz 64GB (4x16GB) CL16 Blanca 4x16GB, 2666MHz, 18-18-18-35, 1.2V.	331.822051	2	663.644102
	MSI X399 SLI PLUS ENLACE DEL FABRICANTE	314.455284	1	314.455284
	Samsung 970 EVO NVME 1TB 500GB, M.2, Lectura 3400 MB/s, Escritura: 2300 MB/s	194.392871	1	194.392871
	AMD Threadripper 2970WX 3GHz	1119.01284	1	1119.01284
	SELECCIONAR PLATAFORMA AMD THREADRIPPER	0	1	0
Total			10	2.679,69 €

Ilustración B. 1: Listado de componentes del servidor expuesto en el Anexo A. Fuente: Elaboración propia.

Anexo C: Resultados completos de las pruebas

Los resultados para las cinco realizaciones de la prueba de rendimiento en multinúcleo se muestran en Tabla C. 1. Los resultados mononúcleo se recogen en Tabla C. 2.

Tabla C. 1: Resultados completos multinúcleo medido en puntos de Geekbench 5.0. Fuente: Elaboración propia.

N	Sesión virtual Windows Server	Sesión Virtual Ubuntu Server	VDI Windows	VDI Linux	DaaS Windows	DaaS Ubuntu
1	1381	1488	1539	1674	10792	11231
2	1315	1503	1519	1669	10844	11198
3	1372	1480	1508	1700	10884	11211
4	1358	1463	1550	1665	10738	11242
5	1232	1497	1546	1642	10826	11208

Tabla C. 2: Resultados completos mononúcleo medido en puntos de Geekbench 5.0. Fuente: Elaboración propia.

N	Sesión virtual Windows Server	Sesión Virtual Ubuntu Server	VDI Windows	VDI Linux	DaaS Windows	DaaS Ubuntu
1	428	467	485	548	1089	1136
2	425	469	488	552	1092	1133
3	427	466	472	551	1089	1134
4	430	466	481	553	1049	1138
5	427	468	490	552	1080	1134

Los resultados de Geekbench incluyen información de hardware básico (Ilustración C. 1) junto con los resultados obtenidos en cada una de las pruebas realizadas para obtener la puntuación (Ilustración C. 2).

Virtualización de escritorio para posibilitar la movilidad de usuarios entre nodos de SIMACET

Martín Zornoza Auñón

285368	System manufacturer System Product Name Intel Core i9-7980XE 2593 MHz (18 cores)	Windows 64	x86_64	1080	10826
272446	QEMU Standard PC (i440FX + PIIX, 1996) Intel Xeon E5-2630 v4 2200 MHz (4 cores)	Windows 64	x86_64	427	1232
271823	QEMU Standard PC (i440FX + PIIX, 1996) Intel Xeon E5-2630 v4 2200 MHz (4 cores)	Windows 64	x86_64	430	1358
271754	QEMU Standard PC (i440FX + PIIX, 1996) Intel Xeon E5-2630 v4 2200 MHz (4 cores)	Windows 64	x86_64	427	1372
271659	QEMU Standard PC (i440FX + PIIX, 1996) Intel Xeon E5-2630 v4 2200 MHz (4 cores)	Windows 64	x86_64	425	1315
271527	QEMU Standard PC (i440FX + PIIX, 1996) Intel Xeon E5-2630 v4 2200 MHz (4 cores)	Windows 64	x86_64	428	1381
231794	VMware, Inc. VMware Virtual Platform AMD Ryzen 5 3550H 2096 MHz (4 cores)	Linux 64	x86_64	548	1674
231768	VMware, Inc. VMware Virtual Platform AMD Ryzen 5 3550H 2096 MHz (4 cores)	Linux 64	x86_64	552	1669
231506	VMware, Inc. VMware Virtual Platform AMD Ryzen 5 3550H 2096 MHz (4 cores)	Linux 64	x86_64	551	1700
231486	VMware, Inc. VMware Virtual Platform AMD Ryzen 5 3550H 2096 MHz (4 cores)	Linux 64	x86_64	553	1665
231470	VMware, Inc. VMware Virtual Platform AMD Ryzen 5 3550H 2096 MHz (4 cores)	Linux 64	x86_64	552	1642

Ilustración C. 1: Resultados Geekbench. Fuente: www.browser.geekbench.com.

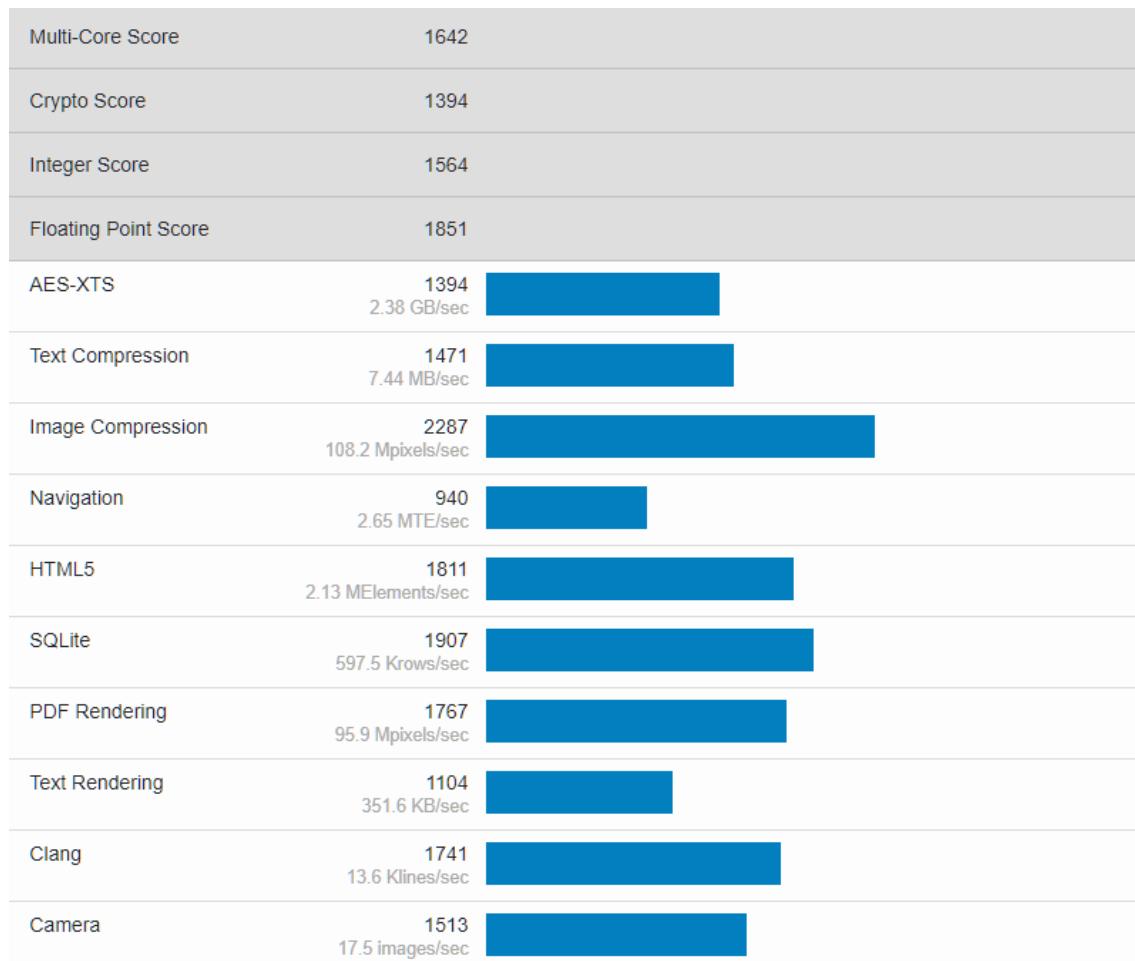


Ilustración C. 2: Resultados en pruebas individuales de Geekbench 5.0. Fuente: www.browser.geekbench.com

Los resultados en cada una de las realizaciones de la prueba de almacenamiento se muestran en Tabla C. 3.

Tabla C. 3: Resultados completos prueba de almacenamiento medido en segundos. Fuente: Elaboración propia.

N	Sesión virtual Windows Server	Sesión Virtual Ubuntu Server	VDI Windows	VDI Linux	DaaS Windows	DaaS Ubuntu
1	27,19	28,16	26,39	28,19	12,16	12,56
2	27,33	28,34	26,16	28,22	11,88	12,37
3	27,4	28,09	26,43	27,78	11,71	12,48
4	27,28	28,3	26,8	27,18	12,03	12,5
5	27,22	28,25	26,71	27,37	11,94	12,41

La realización de las pruebas de memoria principal produce los mismos resultados, siempre que se realicen en las mismas condiciones. Por ello, esta prueba solo se realiza una vez. Para poder estimar el número máximo de VM en ejecución se tendrá en cuenta la cantidad de memoria principal disponible (memoria total del sistema menos la memoria empleada por el SO anfitrión), la memoria secundaria empleada por la última VM y el número de VM en ejecución previo a alcanzar el límite de RAM. Para realizar la estimación se tomará el número de VM en ejecución, cuando ya se ha empleado la memoria secundaria, se le restará la memoria secundaria multiplicada por el número de VM en ejecución y dividido entre la memoria principal más la memoria secundaria empleada. Los resultados de esta prueba se muestran en Tabla C. 4.

Tabla C. 4: Resultados prueba de RAM. Fuente: Elaboración propia.

N	Sesión virtual Windows Server	Sesión Virtual Ubuntu Server	VDI Windows	VDI Linux	DaaS Windows	DaaS Ubuntu
VM completas	4	8	3	5	39	61
Memoria secundaria (MB)	141,8	201,5	570	256,4	235,7	76,1
Memoria principal (MB)	4011	4429	2540	2618	31165	31053
Resultado	4,83	8,61	3,27	5,46	39,70	61,85

Pese a que el uso de procesador se mantiene muy elevado en esta prueba (Ilustración C. 3), realizar un sobrecompromiso de este recurso proporciona buenos resultados, sin embargo, una vez se supera el límite de RAM, el rendimiento cae en gran medida, requiriendo la última VM de un tiempo muy superior para iniciarse.

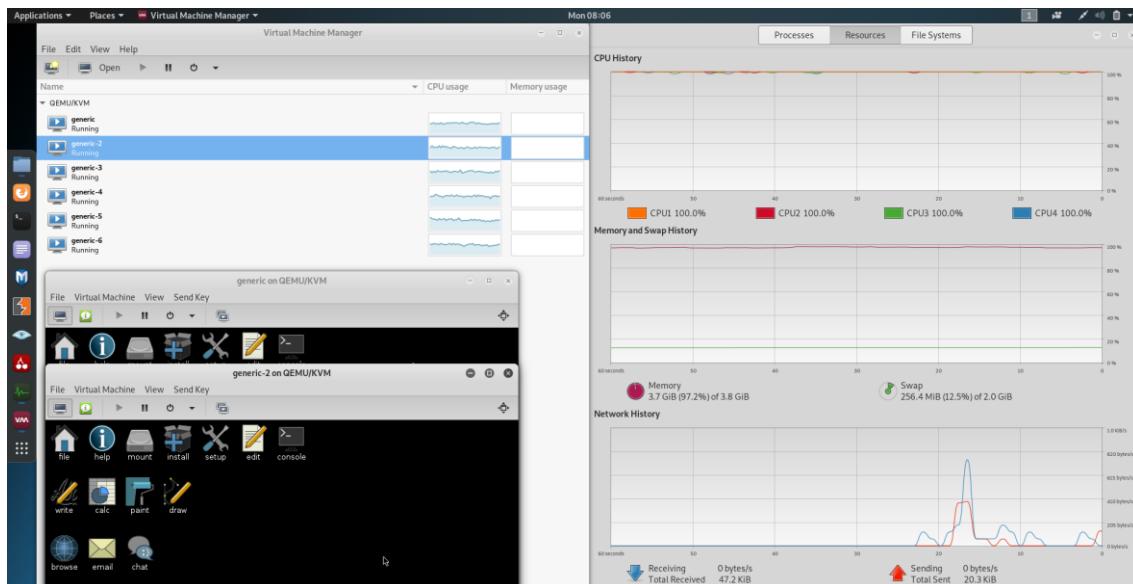


Ilustración C. 3: Uso de recursos durante la prueba de RAM en VDI Linux. Fuente: Elaboración propia.

En las pruebas de conexión se establecen una serie de acciones que se realizan durante un periodo de 30 segundos, midiendo posteriormente el uso de red empleado. Estas acciones son las mismas para ambos entornos DaaS y simulan desde un uso intensivo de recursos con la reproducción de video hasta un uso mínimo, estableciendo una conexión, pero no realizando ninguna acción. Esta última acción resulta relevante dado que el establecimiento de la conexión implica el máximo uso de recursos, pudiendo después mantener la misma con un menor uso de ancho de banda.

Los resultados para estas acciones se muestran gráficamente en Ilustración C. 4.

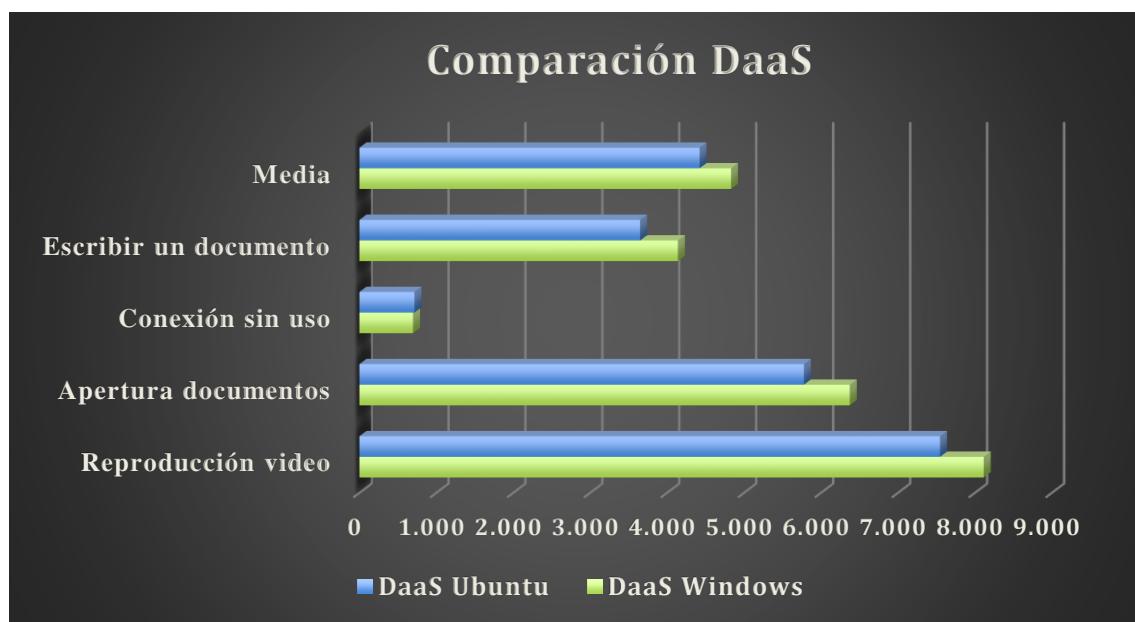


Ilustración C. 4: Resultados conexiones en DaaS. Fuente: Elaboración propia.

Para realizar la réplica de datos se establece una imagen del SO base. Posteriormente se realiza una conexión para crear el archivo UPD y se realizan las modificaciones. En primer lugar, se descarga un archivo pdf de tamaño 10 MB. En segundo lugar, se modifica la contraseña del usuario, la configuración de pantalla, el fondo de escritorio y la organización de los directorios del equipo. Para finalizar, se instala un nuevo navegador y se establece como predeterminado. En la configuración de las herramientas de réplica, se selecciona como directorio la ubicación del archivo UPD modificado, teniendo ambos servidores el archivo base.