



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

E.T.S.I. TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN.

Estudio, evolución, comparación y desarrollo de
sistemas de virtualización

Autor:

D. Gonzalo Conde de Pintos

Tutora:

D.ª Beatriz Sainz de Abajo

Valladolid, 23 de septiembre de 2024

Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas.



Usted es libre de:

Copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, **bajo las condiciones siguientes:**

- **Reconocimiento:** debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor, pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o apoyan el uso que hace de su obra;
- **No comercial:** no puede utilizar esta obra para fines comerciales;
- **Sin obras derivadas:** no puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.
- Si reutiliza o distribuye esta obra, tiene que dejar bien claro los términos de la licencia.
- Alguna de estas condiciones puede no aplicarse si obtiene el permiso del titular de los derechos de autor.
- Esta licencia no menoscaba ni restringe los derechos morales del autor.

TÍTULO: Estudio, evolución, comparación y desarrollo de sistemas de virtualización

AUTOR: D. Gonzalo Conde de Pintos

TUTORA: D.ª Beatriz Sainz de Abajo

DEPARTAMENTO: Teoría de la Señal y Comunicaciones e Ingeniería Telemática

TRIBUNAL

PRESIDENTA D.ª Miriam Antón Rodríguez

SECRETARIA D.ª María García Gadañón

VOCAL D. Juan Blas Prieto

P. SUPLENTE D. Juan Pablo Casaseca de la Higuera

S. SUPLENTE D. Javier Manuel Aguiar Pérez

V. SUPLENTE D.ª María Ángeles Pérez Juárez

FECHA: 23 de septiembre 2024

Calificación:

Resumen

El objetivo de este trabajo de fin de máster es poner en contexto la tecnología de virtualización en su conjunto. Para ello se establecerá un marco teórico de los conceptos que la rigen para así poder estudiar su evolución en el tiempo y comprender el porqué de los avances tecnológicos en este campo. Tras esta explicación, se estudiarán los componentes tecnológicos del mercado y su importancia en el contexto actual de la tecnología. Por último, se plantearán casos de uso sobre la utilización de la tecnología para así ver las utilidades prácticas de la misma, además de analizar las posibles ventajas que tiene su utilización en el contexto de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Palabras clave

Máquina virtual; infraestructura; servidor; red; almacenamiento.

Abstract

This master's thesis aims to put virtualization technology as a whole into context. To do so, a theoretical framework of the concepts that govern it will be established to study its evolution over time and understand the reasons for technological advances in this field. After this explanation, the technological components of the market and their importance in the current context of technology will be studied. Finally, use cases will be presented on the use of technology to see its practical uses, in addition to analyzing the possible advantages of its use in the context of the Sustainable Development Goals.

Keywords

Virtual Machine; infrastructure; host; network; storage.

Contenido

Índice de figuras	3
Índice de tablas	5
1. Introducción	7
2. Teoría sobre la virtualización	8
2.1. Introducción	8
2.2. Máquinas virtuales	8
2.3. Actores de la virtualización, servidor, cliente e hipervisor	9
2.4. Contenedores	12
2.5. Principios teóricos de la virtualización	13
2.6. Tipos de virtualización	17
2.6.1. Virtualización de CPU	17
2.6.2. Virtualización de memoria	22
2.6.3. Virtualización de dispositivos	26
2.6.4. Virtualización de almacenamiento	28
2.6.5. Virtualización de red	33
2.6.6. Virtualización de escritorio	36
2.6.7. Virtualización de infraestructura	37
3. Historia y evolución de la tecnología de virtualización	40
3.1. Motivos e inicio de la tecnología de virtualización.	40
3.2. Años 60 y 70, IBM como promotor del mercado de la virtualización	40
3.3. Años 80, pausa de la tecnología ante el auge de los PC	43
3.4. Años 90 y 2000, resurgimiento de la virtualización.	44
3.5. Desde 2010 en adelante, establecimiento de la tecnología y auge de los contenedores.	49
3.6. 2020 en adelante, futuro de la virtualización	53
4. Componentes de una infraestructura de virtualización. Ejemplos del mercado	55
4.1. Servidores	55

4.2.	Dispositivos de red	61
4.3.	Almacenamiento	65
4.4.	Resumen de los componentes de los sistemas de virtualización.....	70
5.	Casos de uso	71
5.1.	Adaptación de sistemas operativos obsoletos a la tecnología actual	71
5.1.1.	Evaluación del estado de la máquina física	71
5.1.2.	Preparar la máquina física para su virtualización.....	72
5.1.3.	Proceso de virtualización.....	73
5.1.4.	Ejemplo de virtualización de un sistema obsoleto.....	74
5.2.	Diseño de una infraestructura de servidores	79
6.	Relación de la virtualización con los objetivos de desarrollo sostenible.....	84
6.1.	Introducción	84
6.2.	Relación de la virtualización con el Objetivo 9 de Desarrollo Sostenible.....	85
6.3.	Relación de la virtualización con el Objetivo 12 de Desarrollo Sostenible.....	85
6.4.	Diferencia de consumo energético entre un servidor con y sin virtualización	86
7.	Conclusiones.....	88
8.	Referencias	89
9.	Referencias – Componentes comerciales.....	94
10.	Referencias – Presupuesto Caso de Uso.....	95

Índice de figuras

Figura 1 - Hipervisor tipo 1	10
Figura 2 - Hipervisor tipo 2	11
Figura 3 - Estructura general de sistema virtualizado	12
Figura 4 - Estructura general de sistema con contenedores	13
Figura 5 - Definición de máquina virtual por Robert P. Goldberg.....	15
Figura 6 - Arquitectura general procesador x86.....	18

Figura 7 - Funcionamiento de un ordenador sin virtualizar	19
Figura 8 - Virtualización completa usando traducción binaria	20
Figura 9 - Virtualización asistida por sistema operativo	21
Figura 10 - Virtualización asistida por hardware	22
Figura 11 - Esquema memoria virtual	23
Figura 12 - Técnica de virtualización de memoria	25
Figura 13 - Esquema gestión vNIC por hipervisor	27
Figura 14 - Abstracción acceso al almacenamiento	28
Figura 15 - Virtualización del sistema de ficheros	29
Figura 16 - Virtualización de bloques de almacenamiento	29
Figura 17 - Virtualización de objetos	30
Figura 18 - Configuraciones RAID	31
Figura 19 - Conexiones MV - Almacenamiento mediante LUN	32
Figura 20 - Ejemplo creación de volúmenes	33
Figura 21 - Aproximación clásica de red física	34
Figura 22 - Aproximación de red virtualizada	35
Figura 23 - Funcionamiento virtualización escritorio	36
Figura 24 - Ejemplo virtualización de infraestructura	38
Figura 25 - IBM System/360 Model 40	41
Figura 26 - IBM System/360 Model 67-2 (duplex) at the University of Michigan, c. 1969	42
Figura 27 - Parte de VM	43
Figura 28 - IBM Personal Computer	44
Figura 29 - Esquema funcionamiento vMotion	47
Figura 30 - Diferencias entre IaaS, PaaS y SaaS	54
Figura 31 - Dimensiones de unidades rack	56
Figura 32 - Diferentes tamaños de chasis	56
Figura 33 - Menú inicial del programa Ghost	75
Figura 34 - Selección de opciones para realizar un backup dentro del programa Ghost	76

Figura 35 - Archivo .GHO creado al realizar el backup	76
Figura 36 - Comando para convertir fichero .GHO en fichero .VMDK	76
Figura 37 - Fichero -VMDK obtenido tras ejecutar el anterior comando	76
Figura 38 - Selección de conexión de almacenamiento con disco VMDK	77
Figura 39 - Error que aparece al hacer boot con un formato de conexión de almacenamiento incorrecto	77
Figura 40 - Máquina Virtual W7 funcionando en Virtual Box	78
Figura 41 - Resumen de recursos seleccionados en VMWare Workstation para máquina virtual W7	78
Figura 42 - Máquina virtual W7 funcionando en hipervisor VMWare Workstation	79
Figura 43 - Esquema infraestructura completa - Parte frontal.....	81
Figura 44 -Esquema infraestructura completa - Parte posterior.....	82
Figura 45 - Presupuesto general de la infraestructura	83
Figura 46 - Presupuesto por tipo de componente de la infraestructura.....	83
Figura 47 - Objetivos de Desarrollo Sostenible	84

Índice de tablas

Tabla 1 - Ejemplos de servidores Dell comerciales [CC1]	58
Tabla 2 - Ejemplos de servidores HPE comerciales [CC2].....	58
Tabla 3 - Ejemplos de servidores Inspur comerciales [CC3] [CC4]	59
Tabla 4 - Ejemplos de servidores Lenovo comerciales [CC5].....	59
Tabla 5 - Ejemplos de servidores Supermicro comerciales [CC6].....	60
Tabla 6 - Ejemplos de servidores Huawei comerciales [CC7]	60
Tabla 7 - Ejemplos de servidores Cisco comerciales [CC8]	61
Tabla 8 - Ejemplos de mainframes IBM comerciales [CC9]	61
Tabla 9 - Ejemplos de switches Cisco comerciales [CC10].....	62
Tabla 10 - Ejemplo de switches Huawei comerciales [CC11]	62
Tabla 11 - Clasificación de categorías de cable ethernet.....	64

Tabla 12 - Distintos tipos de conectores de fibra óptica	65
Tabla 13 - Ejemplos de NAS Synology comerciales [CC12]	66
Tabla 14 - Ejemplos de NAS QNAP comerciales [CC13]	66
Tabla 15 - Ejemplos de NAS Western Digital comerciales [CC14]	67
Tabla 16 - Ejemplos de SAN Dell comerciales [CC15]	67
Tabla 17 - Ejemplos de SAN HPE comerciales [CC16]	68
Tabla 18 - Ejemplos de SAN IBM comerciales [CC17]	68
Tabla 19 - Ejemplos de SAN NetApp comerciales [CC18]	68

1. Introducción

El desarrollo de la informática desde los años 50 con los primeros ordenadores hasta las herramientas de inteligencia artificial de la actualidad se ha movido por necesidades de las empresas automatizar sus procesos y mejorar su rendimiento y producción.

Una de las tecnologías que más ha aportado a esta mejora ha sido la virtualización, transformando la manera en la que las empresas y los desarrolladores de aplicaciones trabajan en el ecosistema de la informática.

Ha tenido grandes avances en los últimos 30 años movidos por la necesidad de optimización de recursos, tanto hardware, disminuyendo la cantidad de componentes que se adquirirían, como económicos, utilizando el ahorro en tecnología a otros fines.

Además, ha colaborado a acelerar el desarrollo software por parte de las empresas convirtiéndolo en uno de los sectores con mayor crecimiento en mundo tecnológico debido a las ventajas que ofrece como soporte para todas las plataformas de desarrollo.

El crecimiento de esta tecnología también es notable, como las soluciones de hipervisores y virtualización en la nube, que crecen a un ritmo notable. En 2023, el sector estaba valorado en miles de millones de dólares y se espera que esta cantidad siga aumentando durante los años siguientes con tecnologías como virtualización de escritorio o la disposición de infraestructura en la nube [1].

Además, grandes centros de datos se han construido en los últimos años para satisfacer las demandas de los clientes que requerían de servicios de computación, por lo que es otro mercado que gracias a las necesidades de las empresas de optimizar gastos ha sufrido un crecimiento considerable [2].

Por todas estas razones, es conveniente estudiar la base teórica de esta tecnología y como ha alcanzado el nivel que está mostrando anteriormente. Conociendo su evolución y su desarrollo se puede saber hacia qué punto tenderá en el futuro y que solución es la más adecuada para cada empresa.

La metodología tomada para realizar este trabajo se ha basado en adquirir conocimiento sobre el trasfondo subyacente de la tecnología. Actualmente mucha información está explicada por fabricantes dedicados dentro del mercado o portales dedicados a la venta de servicios relacionados con la virtualización, por lo que hay que, aun tomándolos como fuentes fiables de información, hace falta eliminar de la explicación su componente sesgada, ya que su fin último será que se opte o no por esa tecnología.

Por ello se va a dar un enfoque objetivo de los componentes y de la historia de la virtualización a través de páginas de análisis de esta historia o de momentos clave de la misma, y luego se complementará con la información proporcionada por las empresas participantes en este mercado.

2. Teoría sobre la virtualización

2.1. Introducción

El punto de partida de este apartado es poner en contexto el significado del concepto de virtualización y todos los actores que forman parte del mismo.

El principio fundamental de la virtualización es la creación de un objeto virtual con las mismas funcionalidades que uno físico. Este objeto no tiene por qué solo ser un sistema operativo con todas sus funcionalidades, sino que puede realizarse una virtualización de todos sus componentes, pudiendo crear hardware virtual, capacidad de procesamiento y de memoria virtual, almacenamiento virtual o incluso redes virtuales [3].

El uso más común que se le da a la virtualización es la creación de máquinas virtuales, que no dejan de ser sistemas operativos con sus correspondientes aplicaciones que no interactúan directamente con el hardware físico del sistema.

2.2. Máquinas virtuales

El uso de una máquina virtual frente a un sistema físico clásico es conveniente en entornos empresariales e incluso personales. Las principales ventajas de las máquinas virtuales se pueden resumir en [3] [4]:

- A- El uso de los recursos adecuados del sistema es el óptimo para cada máquina. No hay sobredimensionamiento de un equipo ya que se puede controlar con exactitud de que recursos dispone una máquina virtual.
- B- Dan flexibilidad al cliente final, ya que ante necesidades de ampliación del sistema no es necesario adquirir otro equipo físico, solo basta con generar una nueva máquina virtual dentro de la plataforma de virtualización o incluso ampliar sus recursos utilizados. Se pueden generar soluciones escalables si se disponen de los recursos físicos necesarios.
- C- Ante problemas en el servidor físico donde se alojan las máquinas virtuales, se pueden migrar a otro servidor físico si se dispone de la infraestructura de red necesaria y de un sistema de *backup* y restauración dedicada para ello. Si son servidores aislados de red, habría que realizar un trabajo de *backup* del sistema para asegurar que el tiempo de indisponibilidad sea mínimo. Aun así, es un proceso más eficiente que tener que cambiar componentes de un sistema físico desde 0, que sería el caso de un malfuncionamiento de un servidor físico clásico.
- D- Disponer de un entorno con máquinas virtuales es más fácilmente administrable y tiene una mayor tolerancia a fallos que un sistema físico clásico. Si falla una máquina virtual, el sistema sobre el que se sustenta sigue funcionando sin sufrir penalizaciones por indisponibilidad. Desplegar soluciones de redundancia para

evitar fallos son más sencillas con un sistema de máquinas virtuales ya desplegado.

- E- Aunque la inversión económica inicial que hay que realizar para desplegar un servidor físico donde se puedas virtualizar es más elevada que si se quiere desplegar una infraestructura sin virtualización, si el número de sistemas a virtualizar crece, a largo plazo el coste de mantenimiento y el coste energético será menor en un sistema virtualizado que en uno que no lo esté.

La virtualización se puede entender como una imitación de las características reales del recurso que se desee replicar sin tener una conexión directa con la característica real imitada, sino que utiliza un intermediario. Se crea una capa de abstracción entre los recursos físicos y los sistemas operativos que se ejecutan dentro de este hardware, funcionando de manera paralela y sin interferir entre sí.

No hay que confundir el término virtualización con emulación. Mientras que la emulación es un proceso en el que se traduce instrucción a instrucción una aplicación diseñada para otra plataforma para que funcione de la misma manera, la virtualización como se ha explicado es la utilización de recursos físicos de forma independiente. Esta migración de plataforma, que, por razones de obsolescencia o indisponibilidad, no es posible trabajar con ella, tiene un alto precio, ya que hay que realizar una traducción de cada una de las instrucciones del sistema antiguo a la nueva plataforma donde se desee ejecutar [5].

Ambos conceptos parecen similares, ya que pueden permitir la transferencia y ejecución de software entre distintas plataformas o entornos y son técnicas utilizadas para combatir la obsolescencia, pero mientras que la emulación es una reproducción del sistema antiguo en una plataforma nueva la virtualización despliega directamente dentro de una infraestructura de virtualización el sistema antiguo. Puede ser más fiable la emulación en algunos casos ya que se reproduce el hardware antiguo mientras que en la virtualización solo se adapta a las características de la plataforma desplegada. Donde puede haber discrepancias es en el coste. Desarrollar un emulador completo es laborioso y puede incluso llegar a infringir leyes de *Copyright*, donde la virtualización solo cambia el sistema físico donde estaba alojada inicialmente la aplicación.

2.3. Actores de la virtualización, servidor, cliente e hipervisor

El proceso de virtualización necesita de un soporte físico para poder realizarse, plataforma conocida como servidor, o *host*; mientras que el objeto virtualizado se denominará cliente, o *guest*. El intermediario debe ser un software que administre los recursos de sistema y tenga la capacidad de abstraer al cliente de las acciones y responsabilidades de mantenimiento del servidor. Este intermediario se denomina hipervisor o virtualizador [6] [7].

El servidor dispondrá de todos los recursos físicos típicos de un ordenador clásico, como son discos duros para el almacenamiento, procesadores, memorias, tarjetas de red u otros adaptadores instalados.

Por otro lado, el cliente utilizará estos recursos según como el administrador del sistema se los asigne a través del hipervisor, que será la herramienta que permita controlar todas las máquinas virtuales que se estén ejecutando en el sistema.

El hipervisor será el software encargado entonces de la gestión y coordinación de los elementos virtualizados en el servidor. Antes del uso de esta tecnología, un sistema operativo se ejecutaba directamente sobre el hardware del servidor, desaprovechando muchas veces el potencial completo de los recursos del sistema.

Es conveniente comentar el origen del concepto de hipervisor. Hiper proviene del griego antiguo *ὑπέρ* (*hypér*, "sobre"), mientras que supervisor es el encargado de supervisar un sistema u organización. Para no caer en la repetición de utilizar la palabra "supersupervisor" o "sobresupervisor", se creó el concepto hipervisor. No deja de ser posible que su uso esté unido al marketing de la tecnología en sus orígenes, ya que su uso fue esporádico en documentos donde se definía el marco teórico de esta herramienta [6].

Aun consumiendo una parte de los recursos del sistema, un hipervisor da la capacidad al servidor donde está instalado de tener funcionando en él distintas instancias que comparten todos los recursos disponibles de forma independiente sin influenciarse entre ellas. Esto es lo que se conoce como hipervisor tipo 1 o *bare-metal*, donde se intercambia la función del sistema operativo clásico por el hipervisor, el cual tiene acceso directo a los recursos del *host* [7].

HIPERVISOR TIPO 1

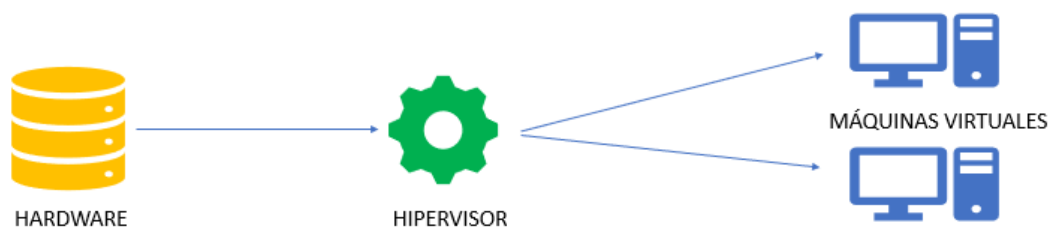


Figura 1 - Hipervisor tipo 1

Los hipervisores permiten asignar de manera independiente los recursos del servidor a cada máquina virtual dependiendo de sus necesidades. Por ello cada máquina virtual tiene la capacidad justa y necesaria para ejecutar las tareas o aplicaciones que sean necesarias para ella y en caso de fallo o malfuncionamiento, el resto de máquinas gestionadas por el hipervisor no son afectadas y pueden seguir ejecutándose sin alteraciones.

No solo se puede desplegar un hipervisor sobre un *host*, sino que, si se busca una aproximación más clásica y no es necesario para la solución buscada desplegar un

hipervisor sobre los recursos físicos del sistema, se pueden instalar hipervisores sobre sistemas operativos, los cuales utilizan los recursos asignados al mismo para controlar y desplegar máquinas virtuales y funcionan como otra aplicación más instalada en un sistema operativo, conocidos como hipervisores tipo 2 [6].



Figura 2 - Hipervisor tipo 2

En ambos tipos, se podría llegar a conseguir recursividad de máquinas virtuales instalando hipervisores de tipo 2 dentro de cada máquina virtual, pero a no ser que los recursos del *host* principal fueran elevados, no es una práctica adecuada ya que se particionarían mucho los recursos accesibles por cada sistema.

El uso de un hipervisor tipo 1 o tipo 2 viene dado por el tipo de solución y rendimiento que el cliente final necesite. Si se busca la eficiencia, el rendimiento y la seguridad del hardware físico, es más recomendable utilizar un hipervisor tipo 1 ya que la instalación del mismo se realiza directamente sobre el *host*. Las principales desventajas ante las desventajas del tipo 1 vienen dadas por la dificultad de la instalación y la necesidad de gestión del *hardware*. Además, que un fallo en el sistema del hipervisor puede generar problemas sobre las soluciones instaladas, como corrupción de máquinas virtuales o necesidad de reinstalar el sistema.

En cambio, si la necesidad de una máquina virtual viene dada por motivos educativos, pruebas de software, descargas de software o aplicaciones ligeras, se puede utilizar un hipervisor tipo 2, ya que agilizan el despliegue de las máquinas virtuales y su gestión de cara al usuario que las utilice. Hay que tener en cuenta que los recursos iniciales del *host* disminuirán, ya que la aplicación de virtualización los consumirá, por lo que se pueden provocar problemas de latencia o sobrecarga del sistema operativo servidor origen.

Cualquier tipo de hipervisor, ya sea de tipo 1 o de tipo 2, necesita unas características que lo ayuden a gestionar máquinas virtuales. Estas funcionalidades son su punto fuerte respecto a la típica instalación de un sistema operativo directamente sobre los recursos hardware del sistema [6] [7]:

- 1- La interacción con las diferentes máquinas virtuales del sistema debe ser posible y cuanto más intuitiva y amigable sea para el usuario final más posibilidades habrá de que la solución sea utilizada.
- 2- A la hora de hacer pruebas y simulaciones sobre las aplicaciones alojadas en un sistema operativo, es interesante disponer de réplicas de la máquina virtual

principal. Por ello una herramienta de replicación de datos y volúmenes del sistema ayudará mucho a los administradores del sistema.

- 3- La optimización de recursos debe ser óptima. Se deben disponer de datos en tiempo real de los consumos de recursos de la máquina virtual para así administrar de forma global todo el conjunto de máquinas virtuales y poder tener una imagen de las necesidades reales de cada máquina. La distribución de los recursos es una parte clave del trabajo de un administrador de máquinas virtuales ya que un mal uso de los mismos puede provocar degradaciones en el sistema y en las aplicaciones que se estén ejecutando en las máquinas virtuales.
- 4- El acceso remoto a las máquinas virtuales del sistema debe ser garantizado para aprovechar las ventajas de este sistema. No tiene sentido desplegar una máquina virtual si solo puede ser utilizada desde la interfaz que provee el hipervisor, ya que se limitaría mucho el uso de las aplicaciones que funcionan dentro de ella. Por esta razón un estudio de la red y un correcto despliegue ayudará a explotar de manera efectiva todas las ventajas de estos sistemas.

Ya es decisión final del cliente o del administrador del sistema que tipo de hipervisor debe utilizar. Para ello debe analizar su necesidad y hacer un estudio de las ventajas y desventajas de cada solución.

2.4. Contenedores

La evolución de la virtualización es la utilización de contenedores. Como se ha explicado, una máquina virtual tiene los recursos que le da el hipervisor del hardware físico donde está instalado, por ello, es una virtualización del hardware físico. En ella se dispondrán de los sistemas operativos deseados y en ellos se ejecutarán las aplicaciones mediante las librerías y ficheros de sistema:

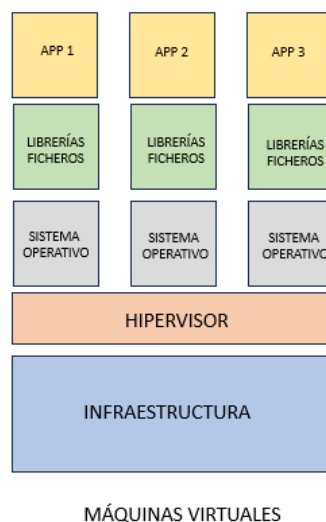


Figura 3 - Estructura general de sistema virtualizado

A diferencia de una máquina virtual, un contenedor solo dispone de la aplicación, con sus servicios y dependencias asociados. No es necesario disponer de un sistema operativo, sino que aquí se virtualiza la parte del sistema operativo necesaria únicamente para que funcione la aplicación, se centra en aislar los procesos que la aplicación necesite, sus accesos a CPU, memoria necesaria y espacio en disco [8][9].

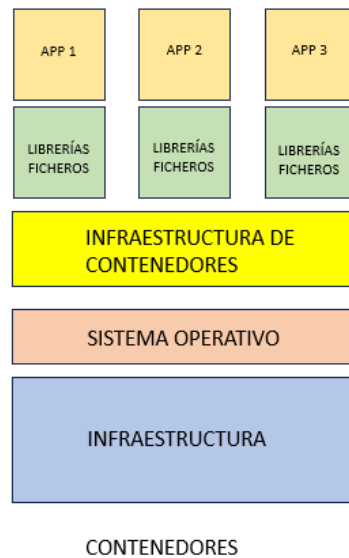


Figura 4 - Estructura general de sistema con contenedores

Debido a esto, los contenedores son sistemas mucho más ligeros que una máquina virtual, ya que solo contienen servicios. Permiten ejecutar estos servicios en entornos menos complejos que los gestionados por máquinas virtuales. También, se pueden granularizar mucho más que las máquinas virtuales, ya que se pueden separar servicios que funcionan de manera independiente para así tener el control de cada elemento que forme parte del sistema final. Esta estructura se define como arquitectura de microservicios.

2.5. Principios teóricos de la virtualización

Tomando como referencia la tesis de Robert P. Goldberg sobre los principios de la arquitectura de la virtualización, se van a explicar los principios básicos de este proceso.

La evolución de la tecnología de ordenadores se divide en varias generaciones [10]:

- Primera generación: desarrollados entre 1940 y 1950 y cuyo hardware estaba basado en válvulas de vacío.
- Segunda generación: desarrollados entre 1950 y 1960 y cuyo hardware estaba basado en transistores.

- Tercera generación: desarrollados entre 1960 y 1970 y cuyo hardware estaba basado en circuitos integrados.
- Cuarta generación: desarrollados entre 1970 en adelante y cuyo hardware estaba basado en microprocesadores.

En primer lugar, hay que señalar el concepto de qué es virtualizable. Debido a que el texto data de los años 70, las limitaciones físicas y tecnológicas que había en ese momento eran elevadas. Por ello se define la abstracción de que un equipo se puede virtualizar si está desarrollado como un ordenador de tercera generación en adelante.

Se establece un modelo de máquina con un procesador y memoria direccionable. Este procesador tendrá dos modos de funcionamiento, supervisor y usuario. La principal diferencia entre ellos es que un procesador en modo supervisor puede acceder a toda la memoria, dispositivos y puede ejecutar instrucciones privilegiadas mientras que el modo usuario tiene un conjunto de instrucciones y accesos más limitado [11].

La virtualización que se define es a nivel de instrucción, excluyendo entradas, salidas e interrupciones. Estas instrucciones pueden ser privilegiadas, sensibles o inocuas:

- Las instrucciones privilegiadas solo pueden ser ejecutadas por el modo supervisor, en otro caso, generarán una excepción.
- Las instrucciones sensibles son aquellas que tienen acceso a memoria, a otros recursos, al control de los mismos, o en las que su comportamiento depende de cómo estén configurados los recursos, pero sin posibilidad de generar excepciones.
- Al resto de instrucciones, se las considera inocuas, ya que no generan excepciones o interrupciones y pueden ser ejecutadas directamente por el procesador.

Con este marco de conceptos establecido, Popek y Goldberg establecieron 3 teoremas básicos de la virtualización [11].

El primero de ellos, define que para cualquier ordenador de tercera generación se puede construir un controlador de máquinas virtuales (*Virtual Machine Manager*, o VMM) si el conjunto de las instrucciones sensibles del ordenador origen son un subconjunto de las instrucciones privilegiadas del VMM. De este modo, como las instrucciones sensibles están dentro del conjunto de las privilegiadas pueden generar una excepción y ser gestionadas por el VMM.

Esta abstracción tiene que ser gestionada por un supervisor, el hipervisor del sistema. Un hipervisor en origen no deja de ser un traductor de instrucciones que funciona en modo supervisor y las máquinas virtuales dentro de él funcionan con un sistema operativo en modo usuario.

El hipervisor de este modo funciona capturando y emulando todas las instrucciones del sistema para que así las instrucciones sensibles del mismo no generen una excepción. Este modo de funcionamiento se conoce como capturar y emular (*trap and emulate*) [11].

En el caso de que se quiera ejecutar una instrucción que no necesite privilegios, no hará falta emular la instrucción ya que el hipervisor se asegura de que no generará una excepción.

El hipervisor debe asegurar que cualquier programa o aplicación que funcione bajo él se comporte igual que si estuviera ejecutando en un ordenador físico sin virtualizar. También tiene que controlar los recursos virtualizados para que no excedan límites que comprometan a las máquinas virtuales del sistema. Además, un gran número de las instrucciones de la máquina virtual deben ser ejecutadas sin la intervención directa del hipervisor, favoreciendo así el rendimiento del sistema [12].

Esto quiere decir que cualquier instrucción de la máquina virtual tiene que ser atendida por el hipervisor del sistema para así poder ejecutar la máquina virtual en modo usuario. De este modo, cualquier instrucción sensible de la máquina virtual, estará dentro del conjunto de instrucciones privilegiadas de la máquina virtual origen [12].

Las implicaciones de este teorema derivan en que si los hipervisores no controlan de manera eficiente estas instrucciones la máquina virtual podría darse cuenta de la existencia de una capa de virtualización, lo que rompería con la abstracción creada.

La definición que Robert P. Goldberg propuso de máquina virtual e hipervisor se puede resumir en la siguiente imagen:

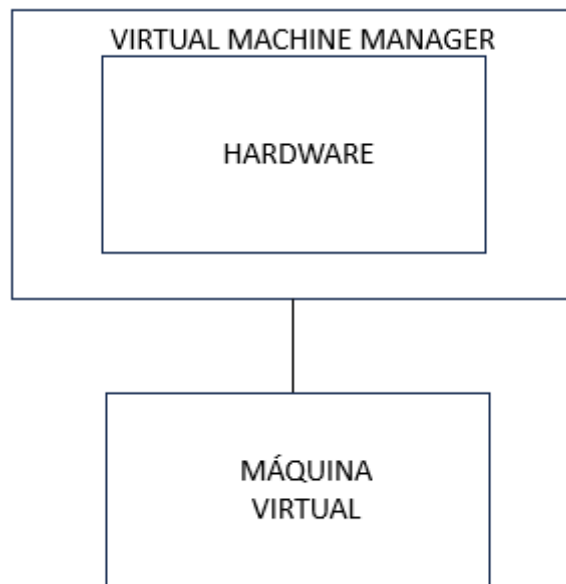


Figura 5 - Definición de máquina virtual por Robert P. Goldberg

En segundo lugar, establecen que un ordenador de tercera generación puede ser recursivamente virtualizable si él mismo es virtualizable y el hipervisor que utiliza no tiene dependencias temporales o de sincronización con otros componentes del sistema.

Este teorema permite la existencia de recursividad y anidamiento dentro del entorno de la virtualización, probando que los recursos físicos existentes serían capaces de mantener esta arquitectura.

El último teorema define la posible creación de un hipervisor híbrido para un ordenador de tercera generación donde las instrucciones que hagan funcionar al procesador en modo usuario sean un subconjunto de las instrucciones privilegiadas [10] [11].

Una máquina virtual híbrida, es aquella donde las instrucciones en modo supervisor están sujetas a la interpretación del hipervisor o pueden ejecutarse de manera directa sobre los recursos del sistema. Cuando se produce un intento de ejecución de instrucción sensible, el hipervisor híbrido se encargará de realizarlo. De esta manera solo deja a la ejecución directa las instrucciones inocuas.

Este último teorema es la versión laxa del primero ya que solo se centra en las instrucciones sensibles y no en las privilegiadas, relajando la definición del teorema 1 de qué máquina es virtualizable [11][12].

El trabajo de Robert P. Goldberg solo especificaba la virtualización del procesador, pero no incidía en la virtualización de las entradas y de las salidas del sistema ya que es un proceso que genera más dificultades y no había tantas necesidades en las primeras etapas de la virtualización. Hay varias aproximaciones para que una máquina virtual pueda acceder a estos recursos [10] [11] [12].

- Modo de acceso completo para los dispositivos: es el modo más sencillo, donde se permite a la máquina virtual acceder directamente a los dispositivos sin la intervención del hipervisor. Es un modo sencillo ya que le quita complejidad a cómo el supervisor funciona, pero no deja de funcionar como un ordenador clásico, accediendo directamente a los recursos, por lo que el sistema virtualizado podría saber que está dentro de un *host* rompiendo con la individualidad de la máquina virtual. Otro inconveniente es que cada máquina virtual que funcionara en este modo necesitaría un dispositivo de entrada/salida diferente para su funcionamiento.
- Instalar los drivers del dispositivo en el hipervisor: implica virtualizar el sistema de entradas y salidas dentro del hipervisor, volviéndolo más complejo. Esto permitiría compartir entradas y salidas dentro de las máquinas virtuales, pero a la hora de programar un hipervisor los fabricantes deberían ponerse de acuerdo para que contara con todas las funcionalidades necesarias.
- Particiones de entradas y salidas: esta técnica genera una capa de virtualización sobre cada dispositivo para que pueda ser utilizado de manera concurrente por las máquinas virtuales. Esta técnica es más compleja y requiere un trabajo añadido dentro del hipervisor, pero consigue que cada máquina virtual disponga de un dispositivo de entrada salida virtual que será gestionado por el sistema de virtualización de ese dispositivo, disponiendo de un único sistema físico.
- Paravirtualización de dispositivos: la última aproximación es que el sistema operativo invitado de la máquina virtual pueda comunicarse con el hipervisor

donde está instalada para así disponer de los recursos del servidor físico. Es eficiente de cara al uso de los recursos, pero rompe con la capa de abstracción que genera el hipervisor con las máquinas virtuales.

Todas las técnicas que se han explicado permiten el uso de los periféricos del *host* origen, pero generan problemas, ya sean de seguridad al poder acceder a dispositivos de manera no controlado, de programación al tener que codificar todas las interacciones o de rendimiento al dispositivo al que se está accediendo.

2.6. Tipos de virtualización

Habiendo establecido los principios teóricos de qué se puede virtualizar, ahora se van a exponer las diferentes técnicas de virtualización para virtualizar CPU, memoria y dispositivos de entrada y salida.

2.6.1. Virtualización de CPU

Una primera aproximación para la virtualización de la CPU es realizar una virtualización por emulación. No es una virtualización en si ya que no utiliza un hipervisor, pero es conveniente explicar su concepto ya que puede haber aplicaciones que pueden ejecutarse con este modo de funcionamiento sin tener que pasar por un proceso de virtualización.

En la emulación, un software conocido como emulador convierte la arquitectura de la CPU que se desea emular en la arquitectura del procesador físico donde se va a ejecutar la máquina virtual. No hay acceso directo a los recursos físicos del sistema ya que tienen que pasar por esta capa de software [7].

Los programas que utilizan emulación tienen las ventajas de que, si todas las instrucciones han sido traducidas a la arquitectura deseada, el sistema funcionará del mismo modo que en el hardware original, pero habrá que dedicar muchos recursos a la ejecución del emulador ya que todas las instrucciones deberán pasar por este proceso de traducción.

También es una forma de luchar contra el software obsoleto. Desarrollar un emulador de un sistema antiguo puede permitir ejecutar en un sistema moderno aplicaciones que no han sido migradas o actualizadas a los nuevos sistemas.

Si no se puede optar por un proceso de emulación, hay que estudiar la arquitectura real del procesador que se necesita virtualizar. La mayor parte de los procesadores del mercado tienen las arquitecturas x86 o x86-64, siendo este último la versión de 64 bits de la arquitectura original x86.

La arquitectura x86 de procesadores, tanto la original, como la arquitectura extendida de 64 bits, provocaron la creación de distintos tipos de virtualización ya que tiene ciertas características que no permiten una virtualización directa siguiendo los principios de Goldberg [11].

Esta arquitectura se define mediante diferentes privilegios, los anillos o ring, que son niveles de acceso al hardware del sistema para el sistema operativo o aplicaciones [13][14]:

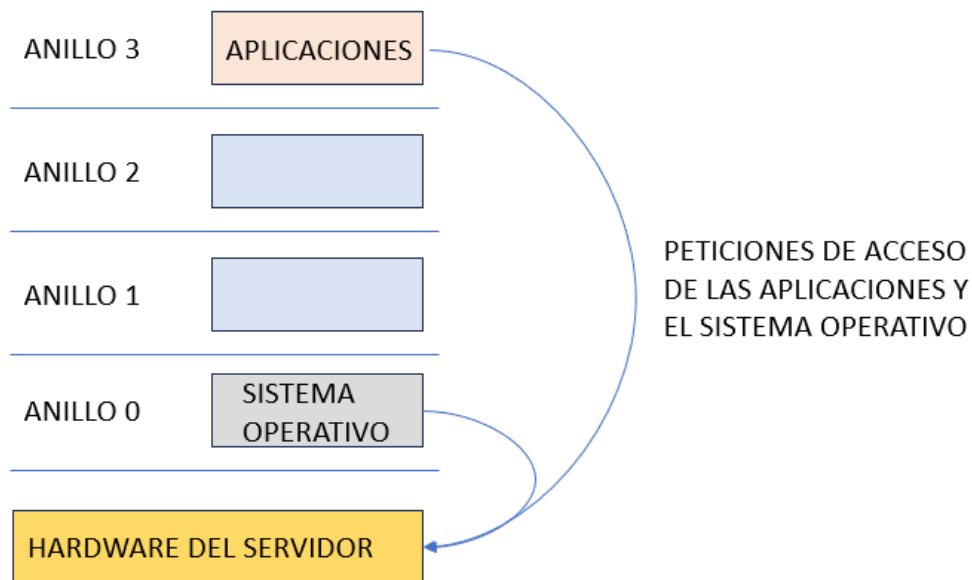


Figura 6 - Arquitectura general procesador x86

El menor nivel de privilegios es el nivel 3, normalmente dedicado a las aplicaciones que ejecutan los usuarios, y el máximo nivel de acceso queda definido por el nivel 0, en el cual está el sistema operativo ya que necesita acceso directo a la memoria y el hardware del sistema.

Para poder virtualizar un sistema, siempre se añade una capa de software entre el hardware y el sistema operativo invitado, el hipervisor, que se encargará de gestionar las máquinas virtuales que se despliegan en este sistema. Añadiendo una capa más entre el anillo 0 y el hardware del sistema provocará que la arquitectura básica se rompa y pueda haber algunas instrucciones que no puedan ser virtualizadas mientras no se encuentren en el nivel 0.

A partir de aquí aparecen 3 alternativas para virtualizar, dependiendo de cómo se genere la capa de abstracción y el tratamiento de las excepciones e instrucciones privilegiadas

2.6.1.1. Virtualización completa usando traducción binaria

En el funcionamiento clásico de un ordenador, el *Kernel* es la capa básica de software del sistema operativo que se encarga de la gestión y administración de los recursos físicos

del sistema, como puede ser memoria, CPU, red y los dispositivos de entrada y salida [13][14].

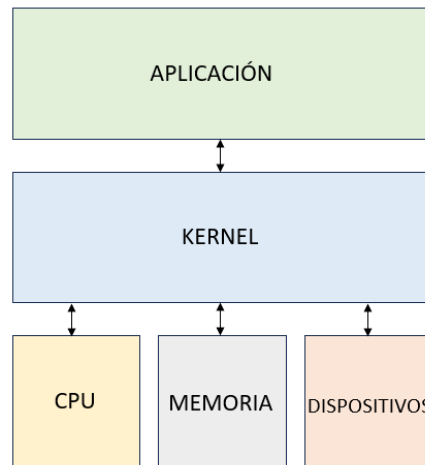


Figura 7 - Funcionamiento de un ordenador sin virtualizar

La gestión de la CPU se realiza mediante instrucciones, que tienen distintos modos de privilegio dependiendo de la aplicación que quiera ejecutar una instrucción. Esto es debido a que no todas las aplicaciones tienen por qué tener acceso a zonas privilegiadas de la memoria del sistema o de acceder a dispositivos a los que no tendrían que poder controlar.

Este modo de virtualización traduce el código del *Kernel* del sistema con nuevas instrucciones para reemplazar instrucciones que no pudieran ser virtualizadas debido a la segmentación de las capas de la arquitectura x86. De este modo el hardware virtualizado podrá ejecutar instrucciones que antes no era capaz por la segmentación de capas debido a que ahora el Kernel no tiene los privilegios de la capa 0.

Además, la ejecución de las aplicaciones de los usuarios será realizada directamente en el hardware del sistema, sobre el procesador, aumentando el rendimiento del sistema.

Cada hipervisor da a cada máquina virtual una abstracción de los recursos físicos del sistema, además de una *BIOS* virtual, dispositivos virtuales y gestión de memoria virtualizada.

Entonces, esta virtualización combina la traducción de instrucciones de Kernel y la ejecución de aplicaciones directamente sobre el procesador, lo que hace que el sistema operativo esté completamente virtualizado ya que no tiene constancia de los recursos del sistema físico original, lo que provoca que no haya que realizarle ninguna modificación ya que está abstraído de manera absoluta.

No es necesario ni asistencia por hardware a las instrucciones ejecutadas ni a las funciones del sistema operativo. El hipervisor es el que se encarga de traducir todas las instrucciones del sistema operativo durante la marcha corriente del sistema y las instrucciones de acceso no privilegiado utilizadas por las aplicaciones no tienen

problemas de rendimiento ni sufren ninguna degradación ya que se ejecutan directamente sobre la CPU.

Este sistema ofrece ventajas como el mejor aislamiento del sistema operativo y seguridad sobre las máquinas virtuales gestionadas por el hipervisor. Además, la migración de máquinas virtuales entre este tipo de sistemas es más sencilla ya que no es dependiente del tipo de hardware sobre el que se ejecuta, ya que como se ha explicado, el sistema operativo no es consciente de la virtualización.

Un resumen de esta aproximación se ve en la siguiente imagen [13][14]:

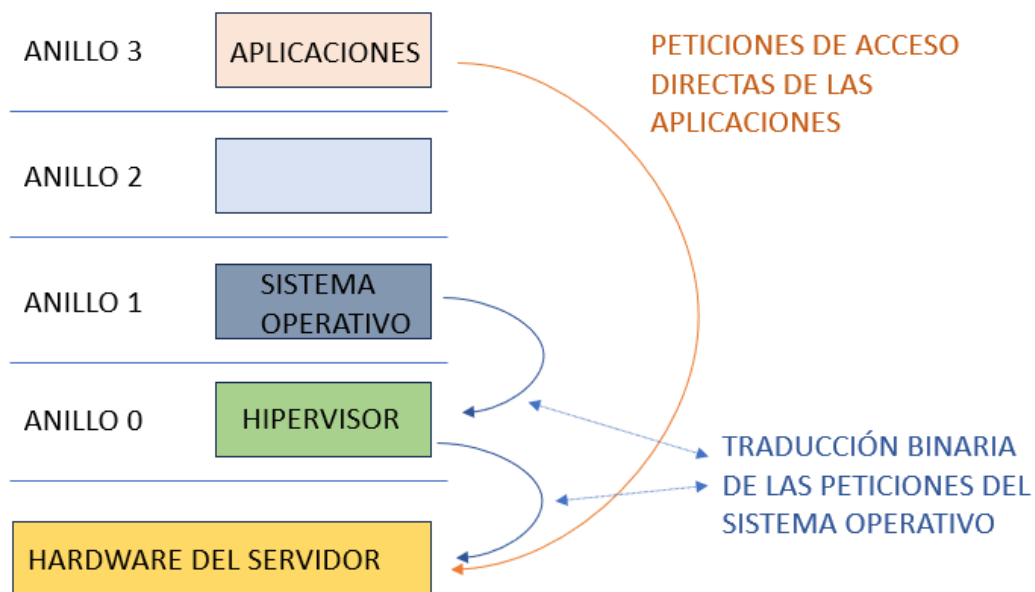


Figura 8 - Virtualización completa usando traducción binaria

2.6.1.2. Paravirtualización o virtualización asistida por sistema operativo

Este tipo de tecnología hace referencia al tipo de virtualización que hace uso de comunicaciones entre el sistema operativo invitado y el hipervisor instalado en el servidor. De este modo se mejora tanto la eficiencia como el rendimiento de las máquinas virtuales [13][14].

Su funcionamiento consiste en modificar el *Kernel* del sistema operativo, donde se reemplazarán las instrucciones no virtualizables (por el modelo de capas) por mensajes entre el sistema operativo y el hipervisor. Estos mensajes son conocidos como hiperllamadas.

No solo se programan hiperllamadas para gestionar las instrucciones más privilegiadas si no que la gestión de la memoria, la gestión de interrupciones o la gestión de la fecha y hora son ejemplos de mensajes de este tipo de virtualización.

Al igual que en la virtualización completa, las aplicaciones del sistema operativo pueden ejecutarse directamente sobre los recursos del sistema.

El funcionamiento queda resumido en la siguiente imagen [13][14]:

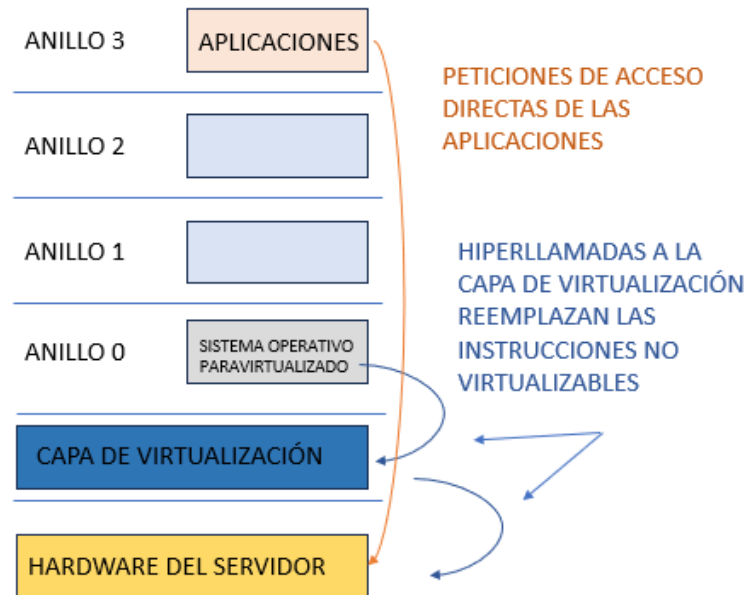


Figura 9 - Virtualización asistida por sistema operativo

A diferencia de la virtualización completa, aquí no se realiza una abstracción completa del sistema operativo ya que este sí que es consciente de que hay un actor que responde a ciertas llamadas del sistema.

Este tipo de virtualización tiene más interés de uso en entornos de menor sobrecarga de llamadas al hardware, ya que por la inclusión de las hiperllamadas provoca que no haya un flujo constante de traducciones de instrucciones. El hipervisor, por otro lado, debe estar preparado para asumir la carga de llamadas y debe estar dimensionado para ello.

Un inconveniente respecto a la virtualización completa es el incremento del tiempo dedicado al soporte y mantenimiento ya que se deben realizar modificaciones delicadas en el *Kernel* del sistema operativo. Es recomendable por ello utilizar este tipo de virtualización con sistemas operativos e hipervisores de código abierto para evitar así problemas de compatibilidad tras las modificaciones.

2.6.1.3. Virtualización asistida por hardware

Con el incremento de uso de la tecnología de virtualización, los propios vendedores de hardware están modificando sus dispositivos para facilitar la integración de los entornos de virtualización con sus elementos. A diferencia de las dos técnicas anteriores, que solo necesitaban modificaciones del software en el hipervisor, esta necesita de componentes físicos dedicados dentro de los procesadores para poder realizarse [13] [14].

Se añaden nuevos tipos de modos de ejecución de instrucciones dentro de la CPU para tratar de manera diferente las instrucciones privilegiadas. Esto se consigue permitiendo al hipervisor funcionar en modo privilegiado en el procesador situándolo con privilegios más elevados que el anillo 0 [13][14]:

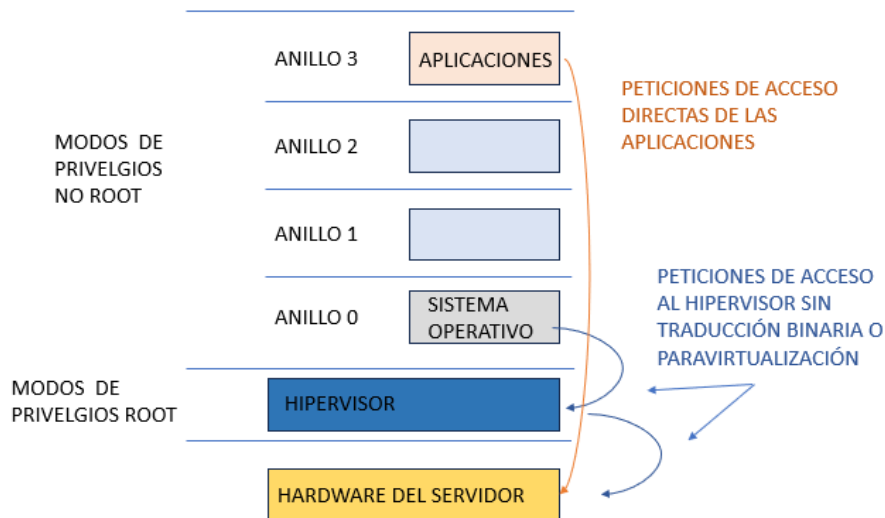


Figura 10 - Virtualización asistida por hardware

Las instrucciones privilegiadas al igual que las llamadas al hardware las gestiona directamente el hipervisor sin utilizar métodos de traducción o paravirtualización.

Procesadores como Intel VT o AMD-V implementan esta tecnología. Implementan dentro de la CPU una memoria caché dedicada para las traducciones de instrucciones, conocida como TLB (*Translation look-aside buffer*). Está gestionado por el MMU del mismo procesador.

Las desventajas respecto a esta tecnología pasan por tener que programar de manera dedicada el hipervisor para que pueda comunicarse correctamente con los nuevos procesadores de modo que la virtualización funcione correctamente y tenga un rendimiento similar a los otros tipos de virtualización.

2.6.2. Virtualización de memoria

El siguiente componente del sistema que necesita virtualizarse es la memoria. Este proceso es necesario ya que todas las máquinas virtuales compartan la memoria física instalada en el sistema. Aun asignando un límite de memoria a las máquinas virtuales a través del hipervisor, es necesario que se vaya distribuyendo la memoria de manera procedural cuando los procesos de las máquinas virtuales lo necesiten.

Un primer acercamiento a la virtualización de la memoria es la técnica de gestión de memoria conocida como memoria virtual. Consiste en expandir la cantidad de memoria

RAM del sistema utilizando memoria de almacenamiento como memoria principal [13] [14].

Para ello, el sistema operativo, que es el encargado de ejecutar esta técnica, hace una relación entre las direcciones de memoria utilizadas por los procesos, denominadas direcciones virtuales, a las direcciones reales de la memoria del sistema, denominadas direcciones físicas [15].

Cuando un proceso entra en ejecución, las referencias de memoria virtuales pasan a ser referencias físicas para así ejecutarse en la memoria RAM del sistema. De este modo un proceso puede entrar y salir de la memoria principal durante su ejecución, o incluso ocupar diferentes espacios de la memoria física, optimizando así los recursos del sistema [15][16].

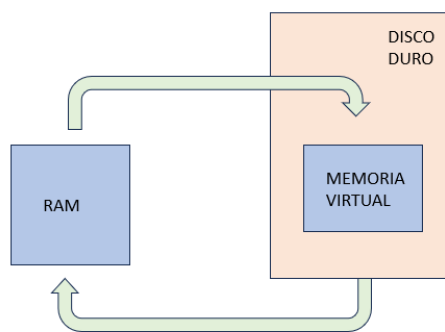


Figura 11 - Esquema memoria virtual

Esto lo realiza mediante soporte por hardware, como unidades de gestión de memoria (MMU) instaladas en las CPU que hacen las traducciones entre las direcciones físicas y virtuales, y por software, donde se utiliza almacenamiento de los discos del sistema para proveer una dirección de memoria que incluso pueda exceder los límites físicos de la memoria instalada en el sistema [15].

Las dos técnicas más habituales de memoria virtual son el paginado y segmentación [13] [14]:

- En el paginado, la memoria se divide en bloques pequeños de tamaño fijo conocidos como páginas. Cuando un proceso se utiliza, las páginas se envían a la memoria RAM real del ordenador. Cuando no se está utilizando o cuando el sistema se queda sin memoria, estas páginas se desplazan por la MMU al disco duro, a una zona de memoria conocida como fichero de *swap*. Si ciertas páginas se necesitasen de nuevo, se moverán desde el fichero de *swap* a la memoria RAM. De este modo se dispone de una extensión de memoria RAM a demanda de las necesidades del sistema para que los procesos puedan funcionar siempre con la memoria adecuada.
- En la segmentación, la memoria virtual del sistema se divide en bloques de diferentes tamaños. Si no fueran utilizados, podrían desplazarse a la memoria de almacenamiento del sistema. El sistema operativo tiene una correspondencia de

los segmentos utilizados, si está siendo utilizado y la relación con la memoria física.

Aun el uso de la memoria virtual limita la velocidad de las operaciones de memoria debido a que utiliza memoria de almacenamiento en vez de memoria RAM, el sistema puede mantener un mayor número de procesos en la memoria principal o incluso un proceso puede superar al tamaño total de memoria, expandiéndose con el uso de las técnicas descritas [16].

Utilizando este principio, la virtualización de la memoria pasa por conseguir que todas las máquinas virtuales vean un bloque completo de memoria que no tiene por qué estar relacionado con el estado físico real del sistema.

Para que un entorno con máquinas virtuales pueda existir, hace falta virtualizar las MMU de los procesadores para que así el sistema operativo de cada máquina virtual sea capaz de asignar memoria a los procesos que se ejecutan en él [13].

De este modo, el sistema operativo sigue teniendo la capacidad de funcionar mediante las técnicas de paginado y segmentación, donde las direcciones virtuales se transforman en direcciones físicas de la memoria, pero el sistema operativo no tiene un acceso directo a la memoria física del sistema, funcionalidad que pasa a estar a cargo del hipervisor instalado [13] [14].

El hipervisor realiza la gestión de la memoria virtual sin que el sistema operativo sea consciente de ello y sin interferir en la parte de la memoria dedicada al funcionamiento del hipervisor.

Hay que realizar una abstracción de 3 conceptos de memoria en este escenario:

- La memoria virtual del sistema se refiere a la memoria total de la máquina virtual.
- La memoria física del sistema operativo es la asignada a la máquina virtual.
- La memoria física del *host* es aquella instalada físicamente en el servidor.

Entonces, el hipervisor dispone de una correspondencia entre las direcciones de memoria del sistema operativo y las direcciones de la memoria del *host* donde realmente se van a ejecutar los procesos.

Cada máquina virtual en si misma cree disponer de memoria contigua y direccionable, pero en la realidad las direcciones de memoria no tienen por qué estar ejecutándose de manera contigua en la memoria física del *host*.

Al igual que ocurre en un entorno sin virtualizar, el sistema operativo es el que direcciona las direcciones de memoria virtuales a las direcciones de memoria físicas y es el hipervisor el que realiza la correspondencia entre la memoria del sistema operativo y la memoria real del sistema.

Para el tipo de virtualización basado en hardware, las CPUs diseñadas para ello disponen también de virtualización dedicada en la memoria [13].

La descripción realizada se escenifica en el siguiente diagrama [14]:

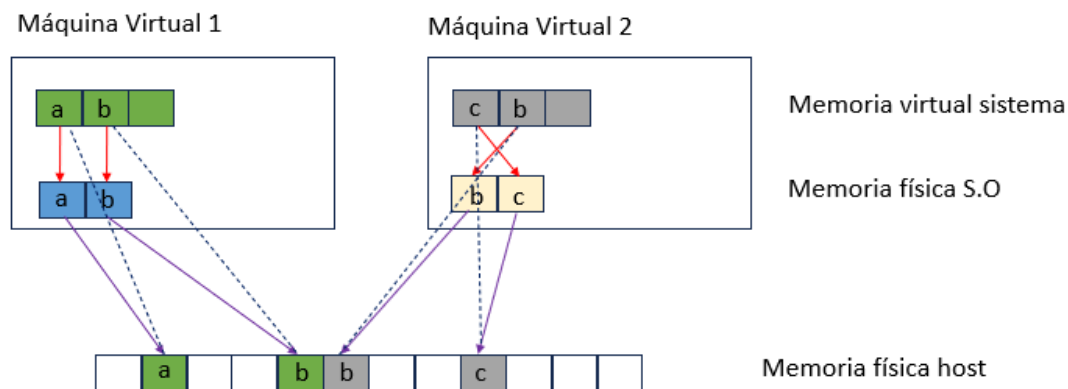


Figura 12 - Técnica de virtualización de memoria

En la imagen, tenemos diferentes flechas y bloques y su significado es el siguiente:

- Cada casilla con una letra representa una página de la memoria
- Las flechas simbolizan diferentes mapeos de direcciones entre actores del sistema.
 - Las flechas rojas simbolizan los mapeados de direcciones dentro del sistema operativo.
 - Las flechas moradas simbolizan los mapeados mantenidos por el hipervisor
 - Las flechas discontinuas simbolizan mapeados de direcciones desde la memoria virtual del sistema a la memoria física del *host*. Esto lo mantiene y gestiona el hipervisor mediante mapeados *shadow*, que son estructuras de direcciones utilizadas para mejorar el rendimiento de los otros mapeados y reducir los accesos a memoria.

Estos procesadores diseñados específicamente para la virtualización por hardware utilizan dos tipos de tablas de paginación. El primer tipo de tabla está dedicado a las traducciones entre memoria virtual del sistema y memoria física del sistema operativo y es mantenida y actualizada por el sistema operativo, mientras que la segunda tabla tiene las traducciones entre la memoria física del sistema operativo y la memoria física del *host*, siendo este tipo de traducción gestionada por el hipervisor [14].

El TLB de estos procesadores puede tener fallos de búsqueda si no encuentra la correspondencia de traducción requerida. Para evitar accesos a memoria constantes, antes del acceso a memoria se realizan búsquedas en las tablas de paginación para encontrar la traducción correspondiente de direcciones de memoria, agilizando así el proceso de paginación [14].

El problema puede llegar a existir cuando las tablas de paginación de estos procesadores sean demasiado grandes para evitar fallos de TLB. Si la mayor parte de los accesos a estas tablas están dedicados a la creación de procesos o mapeados de memoria, no se carga en exceso el TLB, por lo que es más conveniente su uso. En cambio, si hay mucha

actividad de paginaciones habrá fallos de TLB y será conveniente utilizar las tablas de paginación [17].

Estas características se pueden cambiar dentro de las configuraciones propias de los hipervisores, optimizando así el modo de funcionamiento de las máquinas virtuales.

2.6.3. Virtualización de dispositivos

Los últimos componentes a virtualizar son los dispositivos de entrada y salida que están conectados físicamente al servidor y necesitan ser compartidos por todas las máquinas virtuales desplegadas dentro del entorno de virtualización.

La virtualización pasa por gestionar las peticiones de uso entre los objetos virtualizados y el hardware físico compartido, como pueden ser tarjetas de red, ratones, teclados, dispositivos USB o puertos serie.

La aproximación principal en la arquitectura x86 es realizar la virtualización de estos dispositivos mediante gestión por software, es decir, el hipervisor será el encargado de abstraer cada dispositivo físico y presentará a cada máquina virtual un conjunto de dispositivos para así traducir las peticiones de uso sobre ellos sobre el hardware [17].

El primer tipo de dispositivo a estudiar su virtualización es la tarjeta de red. En una máquina virtual, no existe un adaptador de red físico real (NIC), sino que se genera una tarjeta de red virtual (vNIC) que será la que gestione la configuración de red de la máquina virtual. Se pueden añadir múltiples vNIC dependiendo de las redes de comunicaciones que se necesite [18].

Mediante los vNIC, las máquinas virtuales podrán comunicarse con la red física real y también si fuera necesario entre ellas, ya que se genera una capa de abstracción sobre el hardware real y las máquinas virtuales disponen de una interfaz de red sin importar el tipo de hardware que soporte esta comunicación [17] [18].

Las vNIC no generan una dirección MAC propia, que es la característica de las tarjetas de red físicas. Para ello, dentro del *host* se pueden tener una o varias tarjetas de red y será el hipervisor el encargado de crear asociaciones entre la máquina virtual, la vNIC y la tarjeta física del servidor. Por ello los hipervisores deben disponer de un gestor de todas las vNIC que administran, para así encaminar los mensajes a la máquina virtual correspondiente [19].

En el entorno físico, el gestor de los mensajes por dirección MAC es un switch, por lo que la programación de esta interfaz entre vNIC y NIC debe comportarse como un switch virtual.

Para que la abstracción sea completa, en la vNIC se deben poder configurar los mismos parámetros que en una tarjeta de red física, como son la dirección IP, la dirección MAC,

un nombre de *host* para que la dirección pueda ser resuelta por DNS y las características físicas del dispositivo como tratamiento de paquetes o gestión de la energía.

El concepto de las vNIC se esquematiza en la siguiente figura:

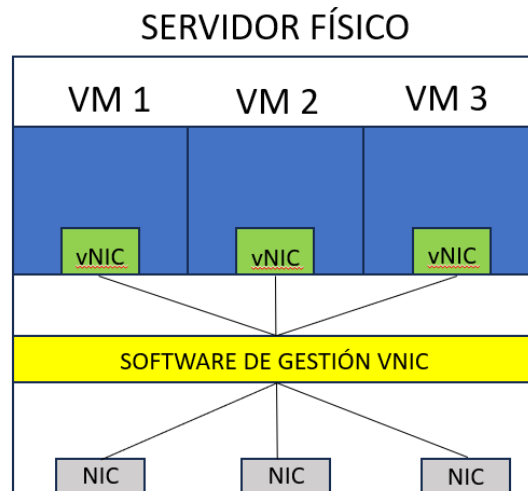


Figura 13 - Esquema gestión vNIC por hipervisor

No hay que olvidar, que los NIC están conectados a una red física, que también deberá ser tratada para poder funcionar con máquinas virtuales. Esta virtualización será estudiada más adelante.

El siguiente dispositivo a estudiar son los adaptadores de bus del *host* (HBA). Este componente es una interfaz física que permite a los dispositivos comunicarse con el sistema operativo y la CPU del equipo. Pueden estar integrados en la placa madre del PC o pueden existir como dispositivos físicos independientes.

De este modo, los dispositivos de almacenamiento o las tarjetas de video pueden comunicarse con la CPU a través de este enlace de comunicaciones. Las NIC también se podrían considerar un HBA ya que no dejan de ser un dispositivo dedicado para las comunicaciones de red [18][19].

Además, reducen las operaciones de procesamiento de los dispositivos a la CPU ya que se encargan ellos mismos de gestionar las peticiones de entrada salida.

El mayor uso que se da a estos conectores es para la gestión de almacenamiento con interfaces de transferencia de datos como *Serial Advanced Technology Attachment (SATA)*, *Small Computer System Interface (SCSI)*, *Serial Attached SCSI (SAS)* o protocolos de almacenamiento en red como *Fiber Channel (FC)* o *internet Small Computer System Interface (iSCSI)* [18][19].

Para virtualizar estos protocolos, como en el resto de componentes explicados, se necesita crear una capa de abstracción entre el dispositivo y la máquina virtual. Para ello, el hipervisor tiene programada una capa de software que define como se transporta la información a través del protocolo de gestión de almacenamiento seleccionado. Así, sin

tener un conector dedicado para cada máquina virtual se permite la conexión hacia dispositivos de almacenamiento [20].

2.6.4. Virtualización de almacenamiento

Tras aplicar las técnicas de virtualización de CPU, memoria y dispositivos, el siguiente paso lógico es la virtualización del almacenamiento del sistema, para así romper la relación unitaria de un ordenador físico clásico en donde el sistema dispone de discos físicos dedicados para él.

Para realizar esta virtualización se deberá conseguir mostrar al sistema una única unidad de almacenamiento virtual que estará formada por la agrupación de varias unidades físicas, rompiendo así las limitaciones de la gestión de discos físicos.

Para conseguirlo, como en los tipos de virtualización anteriores, se necesitará de una capa de software que analice el almacenamiento disponible de los dispositivos físicos para combinarlos en una única unidad lógica.

Mediante los protocolos de acceso a los dispositivos definidos, este software enviará las peticiones de lectura escritura a la sección física correspondiente del disco físico que se haya asignado a la máquina virtual que lo utilice.

Así, para el usuario que esté utilizando almacenamiento virtualizado, no tendrá constancia de qué tipo o cuanto es la cantidad total de almacenamiento disponible, solo que dispone de una unidad de almacenamiento. Esta abstracción se resume en la siguiente figura [21]:

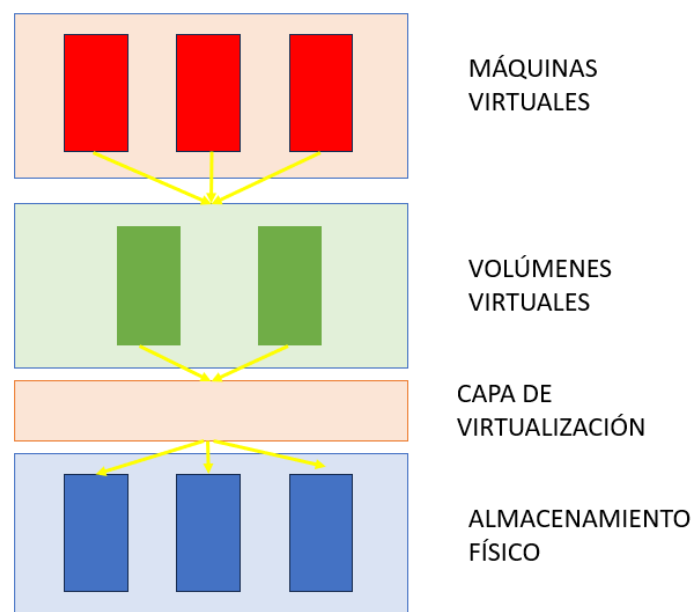


Figura 14 - Abstracción acceso al almacenamiento

Hay varios tipos de virtualización de almacenamiento, dependiendo de la abstracción que se realice [21]:

- Virtualización del sistema de ficheros: este tipo de gestión de almacenamiento se basa en crear un sistema de almacenamiento de ficheros dentro de los recursos virtuales de la infraestructura de almacenamiento. Esto será realizado por el software de virtualización y su administración será realizada mediante el hipervisor, ya que la máquina virtual solo podrá ver la arborescencia de ficheros creada en este sistema. Utilizar el sistema de ficheros podrá ser conveniente en entornos de red donde pueda haber accesos concurrentes al almacenamiento y el cliente no tenga que preocuparse de la administración del mismo.

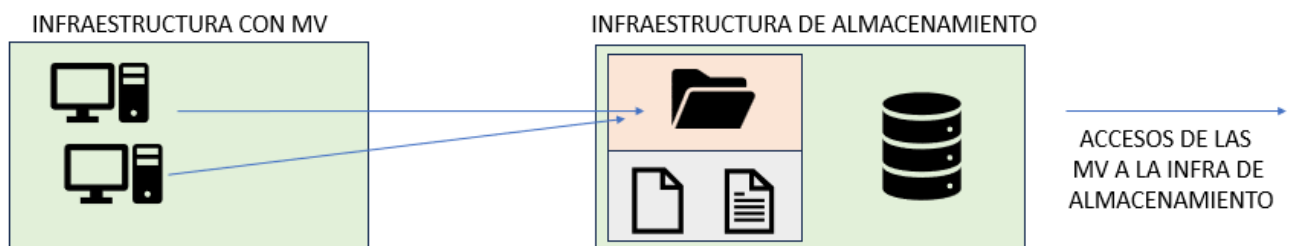


Figura 15 - Virtualización del sistema de ficheros

- Virtualización de bloques: aquí, el hipervisor de la infraestructura de almacenamiento reservará un bloque de datos para la máquina virtual en el que solo definirá el tamaño y el tipo de bloque. Así, la máquina virtual podrá gestionar este espacio como desee, como crear diferentes particiones para diferentes funciones dentro del sistema operativo. Este tipo de virtualización de almacenamiento se debería utilizar en el caso en el que el cliente desee gestionar el espacio asignado directamente, teniendo una complejidad mayor que el de la virtualización del sistema de ficheros.

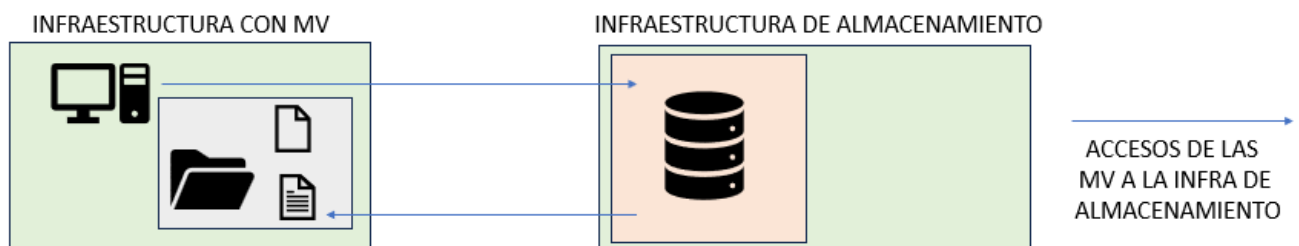


Figura 16 - Virtualización de bloques de almacenamiento

- Virtualización de objeto: aquí, el sistema de almacenamiento definirá cada dato como un objeto virtual, que consistirá en que tiene el propio dato almacenado además de metadatos sobre él. Esta técnica no tiene conocimiento del objeto que almacena, solo de sus características. El cliente final, mediante la interfaz del hipervisor, podrá recuperar el objeto para visualizarlo recuperando sus componentes definidos en el almacenamiento. Este sistema será utilizado

cuando el cliente desee abstraerse completamente de cómo gestionar el espacio y como se va almacenar, se almacenarán los recursos de manera invisible para él.

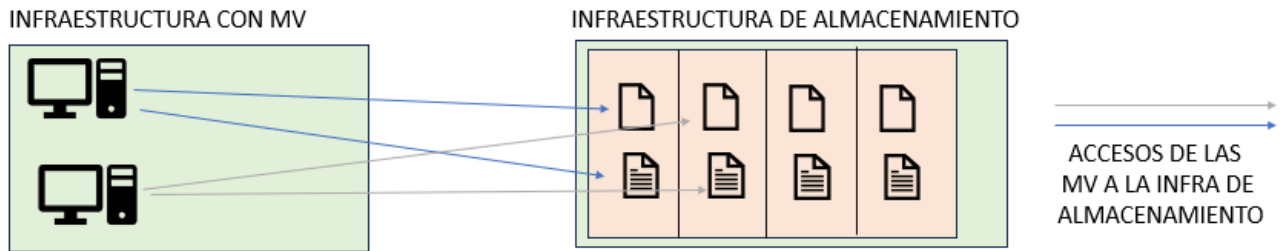


Figura 17 - Virtualización de objetos

Dependiendo del protocolo de almacenamiento utilizado o la arquitectura de almacenamiento, estas unidades lógicas son denominadas LUN (*Logical Unit Number*), LV (*Logical Volume*) o grupos RAID (*Redundant array of independent disks*) donde varios discos físicos replican la información de manera redundante para conseguir tolerancia ante fallos o mejoras en las operaciones de lectura/escritura [22].

En una configuración RAID, se utilizan diferentes unidades de almacenamiento para conseguir redundancia ante fallos en disco. Se suele trabajar con unidades de tamaño similar para el correcto funcionamiento del sistema RAID.

Sus configuraciones más habituales son el reparto de las secciones de los datos, la duplicación de la información, ya sea literal o mediante paridad o una combinación de las anteriores. El uso de una configuración u otra viene dado principalmente por el presupuesto que se quiera invertir en el sistema ya que cada tipo de raid requiere un número de discos mayor al del uso habitual.

Las configuraciones más habituales son [23]:

- Raid 0: la información se divide en diferentes secciones de discos, aumentando la capacidad de escritura ya que los datos están separados en discos diferentes, pero sin redundancia.
- RAID 1: la información se replica en dos discos de manera espejo, soportando fallos en un disco.
- RAID 10: se crea una combinación de dos RAID 1 en una configuración RAID 0, aumentando mucho la tolerancia ante fallos, pero disminuyendo la velocidad de lectura o escritura.

La figura 18 esquematiza el reparto de los datos, A y B, en las diferentes configuraciones explicadas.



Figura 18 - Configuraciones RAID

La abstracción de la información de cara al sistema operativo viene dada por tecnología hardware o por software:

- RAID por hardware: utiliza un controlador de discos específico que está instalado en la placa base del sistema y es la que se encarga de crear y gestionar esta administración de la información.
- RAID por software: un programa instalado en el sistema operativo del sistema es el encargado de realizar la replicación de los datos.

El uso de uno u otro viene dado por la capacidad de inversión que se quiera realizar, siendo el primero más elevado ya que se debe comprar una controladora RAID específica, mientras que el segundo es más económico y fácil de configurar, ya que se realiza desde el sistema operativo y no desde la BIOS, pero a cambio introduce una carga de computación en la CPU que se debe asumir para que su funcionamiento sea el adecuado [23].

En el caso de las LUN, un mismo sistema de almacenamiento se puede configurar de diferente manera para satisfacer las necesidades de redundancia de datos o de velocidad de lectura y escritura que la aplicación de la máquina virtual requiera.

Una LUN no deja de ser una dirección de datos utilizada por un protocolo de almacenamiento, normalmente en red, para que una máquina virtual disponga de un sistema de virtualización de almacenamiento. Dependiendo del sistema utilizado, dentro de la LUN se podrá configurar como sistema de ficheros, como un bloque para la máquina virtual o se puede utilizar para virtualizar objetos [22].

En el ejemplo mostrado a continuación en la figura 19, la máquina virtual asignada a la LUN1 se ha configurado con un RAID más estricto para así mantener la integridad de los datos, asumiendo un mayor gasto de disco ya que hay más replicación, y para la segunda máquina virtual se han creado dos LUN independientes, LUN2 y LUN3, con menor replicación para conseguir una solución más económica, aunque menos robusta a fallos de disco.

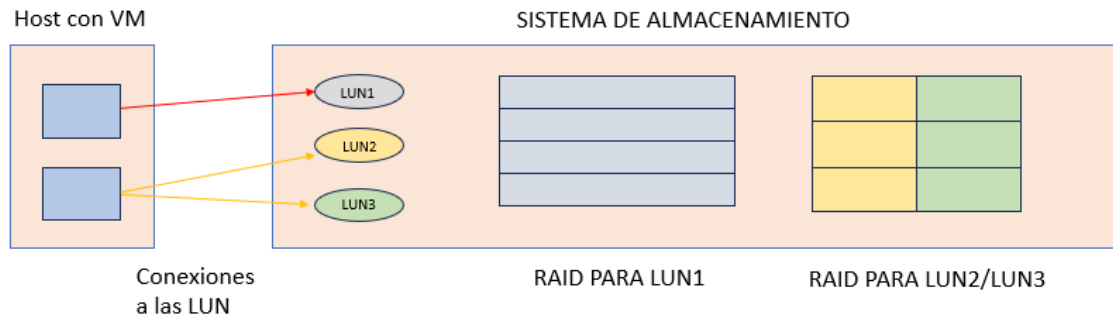


Figura 19 - Conexiones MV - Almacenamiento mediante LUN

Por otro lado, los volúmenes lógicos surgieron en los sistemas operativos Linux como la solución a la gestión del almacenamiento. Por ello, en su origen no surgieron como sistema de almacenamiento en red, pero fue una primera aproximación para la virtualización del almacenamiento [21].

Para ello, a partir de una configuración de discos de almacenamiento, ya sea el disco unitario o en sistema RAID, se genera una capa de abstracción para el sistema operativo donde el no accede directamente al disco si no a la abstracción que se crea configurando el almacenamiento. Esto se conoce como volumen físico, y con la suma de todos los volúmenes físicos instalados en el sistema operativo dispone de un grupo de volúmenes donde se crean los volúmenes lógicos que el sistema operativo utilizará para generar su estructura de directorios. Aquí la capa de virtualización la genera el sistema operativo, ya que el volumen lógico no sabe en qué disco físico están almacenados los datos con los que trabaja [23].

En el ejemplo de la figura 20, con 3 tipos de configuraciones de discos, cada una de un tamaño, se creará un volumen físico por cada una del mismo tamaño, consiguiendo así un grupo de volúmenes cuyo tamaño es la suma de los volúmenes físicos y ya es labor del sistema operativo asignar a cada volumen lógico el tamaño suficiente para cada sistema de ficheros, dimensionándolos para así disponer de espacio suficiente para su correcto funcionamiento. También se puede dejar espacio sin asignar para redimensionar el volumen lógico en el caso de que fuera necesario, teniendo en cuenta que debe haber espacio libre y disponible en el grupo de volúmenes subyacente [23].

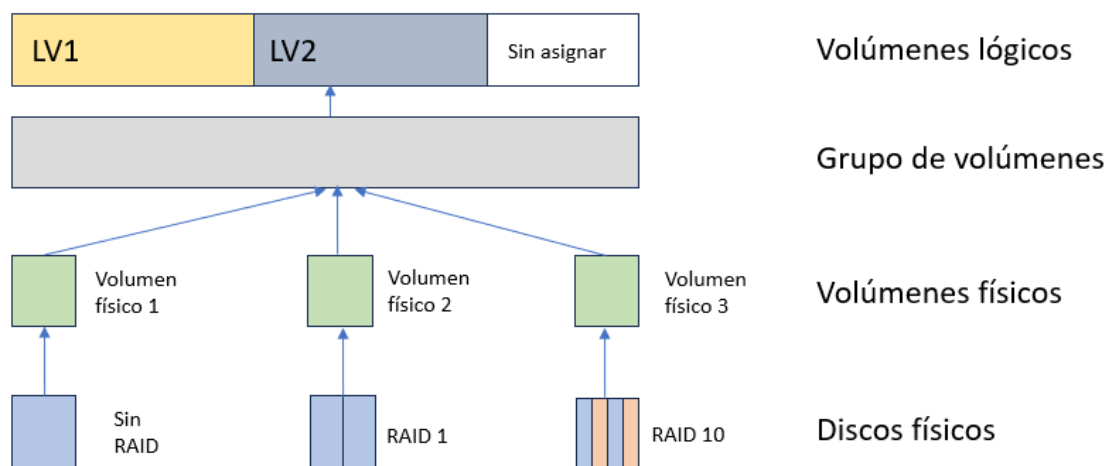


Figura 20 - Ejemplo creación de volúmenes

2.6.5. Virtualización de red

El término virtualización de red define el concepto de la abstracción de recursos de red físicos mediante un software, con el que se podrán combinar diferentes redes físicas en una única red virtual o, al contrario, dividir una red física en diferentes redes virtuales independientes [24].

En el contexto de las máquinas virtuales que se está desarrollando, la virtualización de la red se utiliza para poder comunicar diferentes sistemas que pueden estar en diferentes infraestructuras físicas.

Como se ha explicado en el apartado de virtualización de dispositivos, una máquina virtual dispone de uno o varios vNIC dados por el hipervisor que gestionan la transmisión de información a la red subyacente donde los NIC del servidor físico están conectados.

Como cada máquina virtual puede tener definidas direcciones de red de una o varias redes estando conectadas a la misma red física, hace falta un mecanismo de abstracción dentro de esta red, lo que se conoce como *Virtual Local Area Network* o VLAN.

Aunque las VLAN más típicas se definen a nivel de capa de enlace de red ya que es una extensión del concepto de LAN, los switches serán los encargados de gestionar esta abstracción ya que son los encargados de conectar equipos dentro de una misma red, aunque no por ello se podría definir otro tipo de abstracción de red en otras capas, como pudiera ser una VLAN por familia de MAC en vez de por dirección IP, por protocolo de red utilizado, o por tráfico de aplicaciones.

Aun así, el modelo de abstracción que se va a desarrollar a continuación es la gestión de VLANs mediante la configuración de los puertos de un switch, ya que es el más utilizado y el que ofrece más ventajas respecto a los otros.

La aproximación clásica de un switch consiste en conectar dispositivos que están en lugares separados físicamente para que puedan comunicarse entre sí, pero esta

comunicación solo ocurre dentro de la misma red, para poder salir de ella haría falta la utilización de un router para poder encaminar mensajes de diferentes redes entre sí:

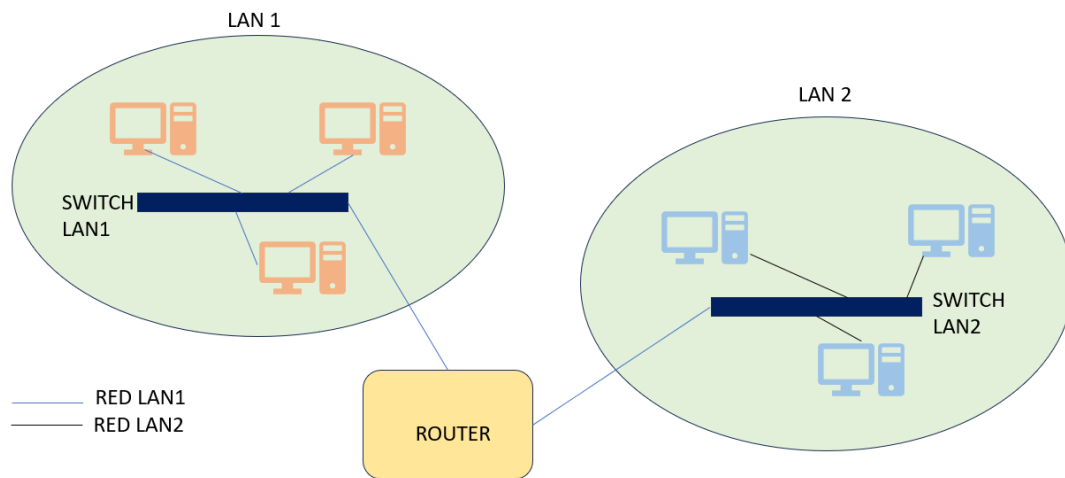


Figura 21 - Aproximación clásica de red física

A gran escala, puede ocasionar problemas como el agotamiento de direcciones IP dentro del rango de la LAN asignado, el tener todo el tráfico de los sistemas en una misma red, el no poder separar funcionalidades o no tener una gestión de los accesos.

Utilizando las VLAN, dentro de una misma red física se podrán establecer diferencias lógicas dependiendo de donde se quiera enviar la información. Para ello se harán divisiones lógicas dentro de esta red para así solucionar los problemas mencionados. Esto lo realizará el administrador de la red y lo configurará en el switch que será el elemento que disponga de la capa de software necesaria para realizar la virtualización de red.

El funcionamiento de la VLAN se basa en asignar a los puertos del switch identificadores dependiendo de a que VLAN queremos que una tarjeta de red esté conectada. De este modo, teniendo los switches de una red conectados entre sí, o incluso añadiendo routers para unir redes que no estén localizadas espacialmente en el mismo lugar, podemos tener dispositivos no conectados físicamente a la misma red, pero si lógicamente, consiguiendo que haya comunicación entre ellos.

Así, máquinas virtuales de diferentes departamentos de una misma organización pueden conectarse entre sí aun no estando en la misma infraestructura física. El ejemplo mostrado a continuación, muestra esta ventaja, disponiendo de una red separada en el espacio, con clientes físicos o virtuales, en la que los switches son los encargados de permitir la comunicación entre estos dispositivos.

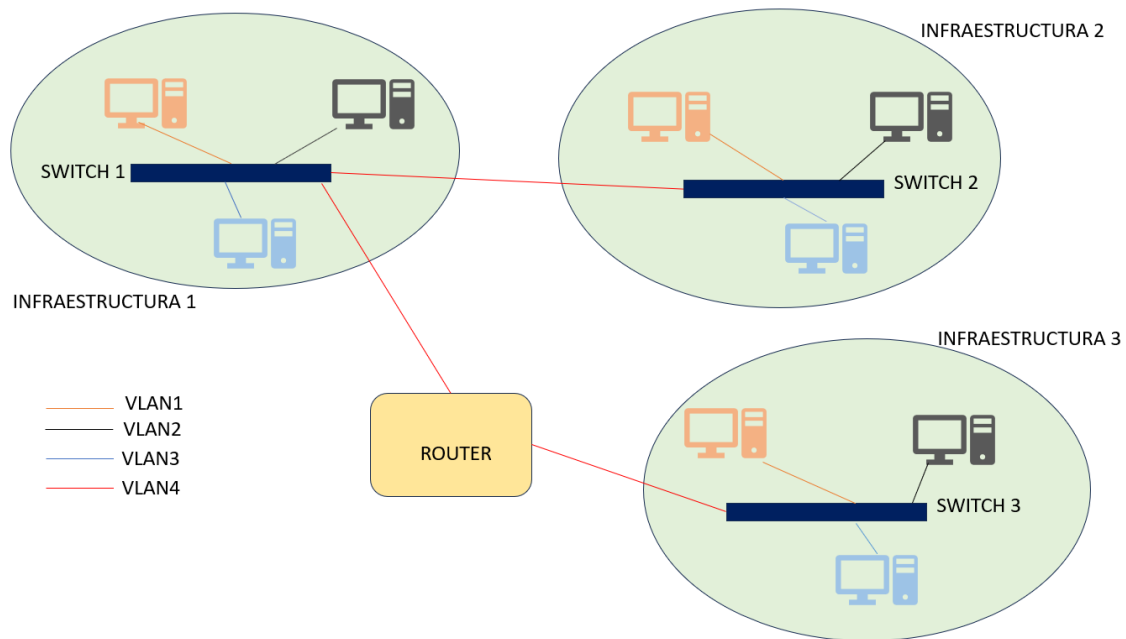


Figura 22 - Aproximación de red virtualizada

La infraestructura 1 y la infraestructura 2 se encuentran geográficamente cerca y es posible unirlos mediante cable, pero la infraestructura 3 necesita un router, con software dedicado de administración de VLANs, para poder acceder a las comunicaciones de los equipos de la infraestructura 1 y 2.

Aparece también una VLAN dedicada a la comunicación entre infraestructuras, en la que todo el tráfico puede circular por ella. Esto se conseguirá configurando los puertos de los switches que necesiten esta característica ya que si no sería imposible conectar dos infraestructuras diferentes. Este tipo de puertos se denominan *trunk* y en ellos se configuran las VLAN que se quieren transmitir por él [24].

Aquí, la virtualización viene dada por el software del switch que es el encargado de filtrar el tráfico dependiendo de la VLAN que se cree. Además, el hipervisor que gestiona las máquinas virtuales tiene que ser consciente de la creación de diferentes redes para así poder configurar su propio software de virtualización de redes.

Las VLAN ofrecen varias ventajas frente a la estructura LAN clásica, como pueden ser [25]:

- Facilitan la administración de la red, ya que se pueden agrupar usuarios de la red que no estén físicamente en el mismo espacio. Incluso cambiando de localización física, si se necesita conectarse a una VLAN específica, basta con configurar el switch para que disponga de esa VLAN y el puerto en cuestión al que se debe conectar el usuario final. Al inverso también funcionan, si un usuario cambia de función, solo es necesario cambiar el puerto de la VLAN a la que se conecta para que pueda comunicarse con los equipos correspondientes.
- Reduce el tráfico de broadcast dentro de la VLAN, ya que los usuarios finales solo escucharán el tráfico de la VLAN a la que estén conectados.

- Aumentan la seguridad de la red, ya que, si un usuario se conecta a un puerto de un switch de manera indebida, no podrá comunicarse con el resto de activos de la red si no se ha configurado ese puerto para ello.

Aunque las VLANs ofrezcan estas ventajas, hay que tener en cuenta que para desplegarlas hay que invertir en transformar la red, ya que los switches tienen que ser compatibles con esta tecnología, el protocolo IEEE 802.1Q, y si se desea conectar redes alejadas es necesario incluir routers compatibles. También se introduce una capa de abstracción más en la misma, la cual los administradores de la red tienen que gestionar.

2.6.6. Virtualización de escritorio

Este tipo de virtualización ya entra en juego cuando el usuario se relaciona con la infraestructura con la que trabaja. Ahí, la virtualización de escritorio entra en juego, siendo una herramienta que permite al usuario acceder desde cualquier terminal al escritorio del sistema operativo en el que está trabajando. De esta manera, se puede separar el contenido de la máquina virtual del lugar geográfico del usuario final, generando una flexibilidad a los clientes superior a la de alternativas con conexión fija a las máquinas virtuales.

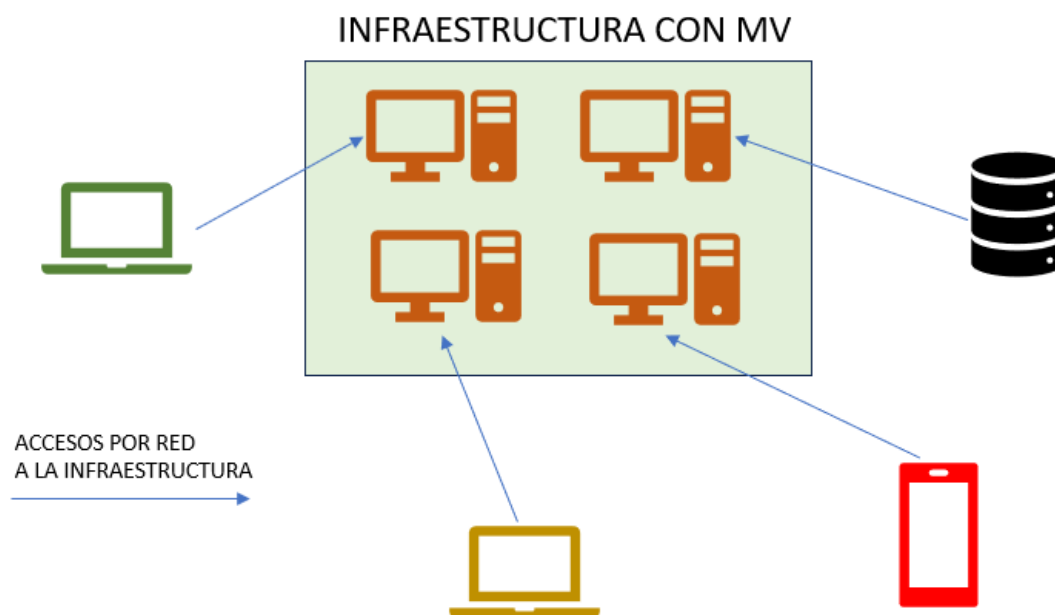


Figura 23 - Funcionamiento virtualización escritorio

Para ello, en un servidor central se creará una instancia del sistema operativo y de su escritorio que se independiza del sistema operativo y del escritorio del usuario. De este modo cada usuario dispone de recursos de CPU, memoria y almacenamiento dedicados sin tener que mantenerlos por él mismo. Para utilizar estos recursos, necesita un cliente,

que no tiene por qué tener grandes especificaciones de hardware para funcionar y conexión de red al servidor donde se esté ejecutando el escritorio remoto.

Las principales ventajas de este sistema son [26]:

- 1- Facilidad de administración del mismo, ya que a los usuarios finales se les puede proporcionar un terminal cliente independiente a de las necesidades que tengan.
- 2- Ahorro en la infraestructura, ya que estos clientes se pueden conseguir a un precio económico y se puede invertir en otras partes del sistema como mejorar la red o el núcleo de la infraestructura donde se conecten los clientes.
- 3- Seguridad y escalabilidad, ya que el núcleo de la infraestructura permanece estable ante fallos en los clientes de los usuarios y es sencillo introducir un nuevo cliente a la misma si se disponen de los recursos de red necesarios.

Las principales formas de uso de este sistema pasan por protocolos de conexión remota a la infraestructura, como las herramientas de software VDI (*Virtual Desktop Infrastructure*) o RDP (*Remote Desktop Protocol*) [26].

2.6.7. Virtualización de infraestructura

Tras haber virtualizado los componentes clásicos, puede aparecer la situación en la que un servidor donde se ha instalado un hipervisor tenga limitaciones de memoria, CPU, red o almacenamiento debido al gran número de máquinas virtuales que se han desplegado en él. La siguiente opción sería desplegar otro servidor para poder seguir desplegando máquinas virtuales, pero esto causaría un mayor esfuerzo en el mantenimiento de la infraestructura y la imposibilidad de aprovechar los recursos de los servidores completamente, ya que el uso de la CPU, memoria o red no tiene por qué escalar de manera lineal con el número de máquinas virtuales desplegadas.

Por ello, el siguiente paso lógico puede venir por intentar agrupar recursos como CPU, memoria o almacenamiento para que funcionen como un agregado, en vez de disponer de elementos discretos que funcionen de manera independiente.

Para conseguir esta nueva funcionalidad, además de introducir un hipervisor en cada servidor que se quiera conectar a la infraestructura, es necesario disponer de un software que funcione como orquestador de toda la infraestructura de servidores [27]. Así, se pueden agrupar todos los recursos de los mismos aprovechando de manera más eficiente los recursos desplegados. También sería recomendable aislar el almacenamiento de la memoria y la CPU, para así tener cada recurso de manera separada favoreciendo la granularidad de la infraestructura.

Este software deberá disponer de capacidad de asignación de recursos de manera dinámica en todos los nodos de la infraestructura, para tener el rendimiento más óptimo. Esto se puede conseguir migrando máquinas virtuales de un servidor a otro para así ejecutar las tareas de cada una en el servidor que mejores recursos pueda ofrecer en

un determinado momento [27]. Esto se debe conseguir de manera invisible para los usuarios que están utilizando las máquinas virtuales, sin perder ninguna funcionalidad en este proceso, por lo que hay que conseguir la disponibilidad de memoria, CPU, red y almacenamiento en todos los nodos de este sistema.

Así, cualquier migración de una máquina virtual de un servidor a otro se realizará gracias a la gestión del orquestador de la infraestructura y asegurará la integridad del sistema ante fallos de algún nodo o malfuncionamiento de algún recurso desplegado. Incluso, si hay un fallo de un nodo, se puede configurar el sistema para volver a encender las máquinas virtuales indisponibles en la infraestructura que sigue estando disponible.

En el siguiente ejemplo, 5 servidores físicos comparten los recursos de CPU y memoria para las máquinas virtuales alojadas en ellos. Una máquina virtual instalada dentro de la infraestructura controla los movimientos de las máquinas virtuales y el estado de la misma, y el almacenamiento está separado de los servidores, para poder trabajar con él de manera independiente.

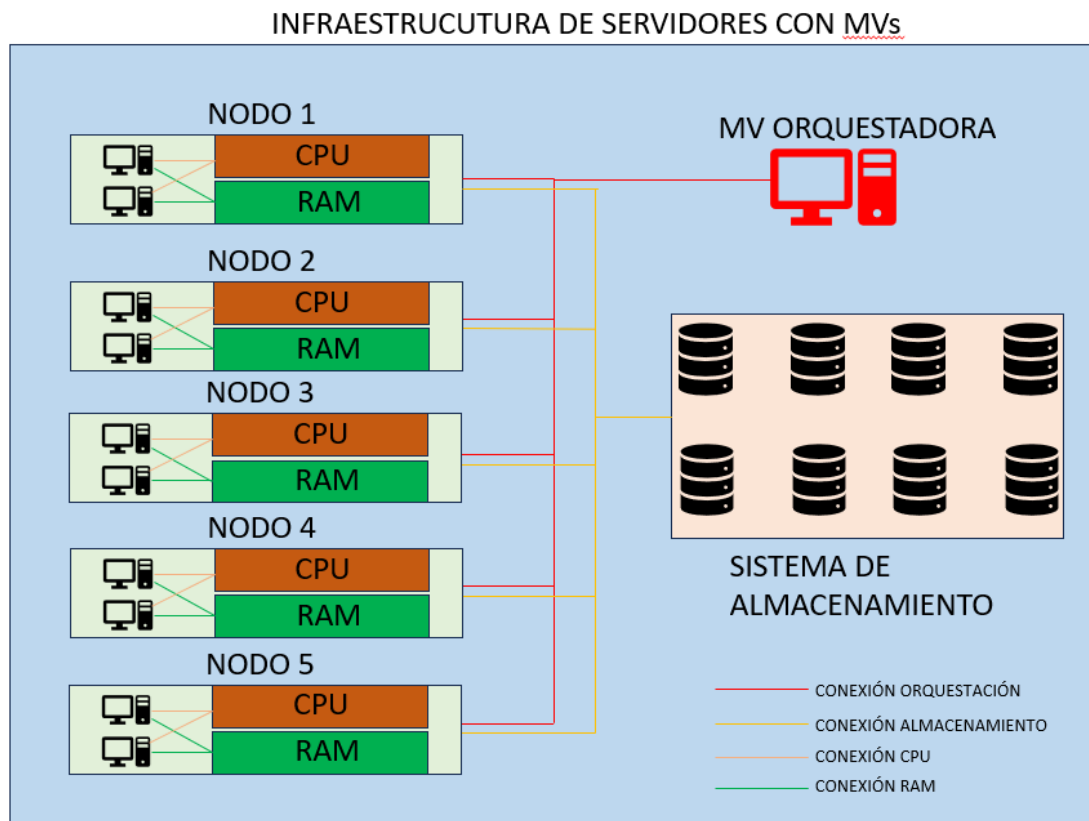


Figura 24 - Ejemplo virtualización de infraestructura

Este sistema de virtualización de infraestructura, tiene como principales ventajas:

- Uso eficiente de los recursos del sistema, ya que se consigue optimizar el uso de la memoria RAM y la CPU de manera completa para cada máquina virtual, consiguiendo no desaprovechar ningún recurso.

- Fiabilización de la infraestructura, ya que los fallos en un nodo o en un recurso determinado pueden ser solucionados por el uso de los recursos en otro nodo. Esta tolerancia ante fallos se puede incluso crear en salas separadas para poder tener protección ante fallos eléctricos o físicos del lugar donde estén instaladas.
- Se puede conseguir un equilibrio de la carga de red separando las máquinas virtuales que más recursos consuman en diferentes nodos.

Aun así, introducir esta infraestructura es costoso en el ámbito económico ya que hace falta invertir en nuevos recursos y en mantenimiento de la misma. Además, se debe disponer de una administración especializada para conseguir el funcionamiento óptimo del sistema.

3. Historia y evolución de la tecnología de virtualización

3.1. Motivos e inicio de la tecnología de virtualización.

Tras haber explicado los conceptos básicos de la virtualización, se va a proceder a realizar un análisis de la evolución de la tecnología. Desde sus orígenes, buscando saber por qué surgió la necesidad de utilizar máquinas virtuales, pasando por cómo se desarrolló hasta llegar a la actualidad, y saber cuál es el futuro de esta tecnología.

Los primeros ordenadores, de primera y segunda generación, desarrollados y utilizados entre 1940 y 1960, estaban desarrollados en lo conocido como programación por lotes. Este tipo de programación ejecuta los programas preparados por el usuario sin su supervisión directa [27]. Los programadores preparaban sus programas offline y luego eran ejecutados en estos ordenadores, dando un resultado que se enviaba al programados original por si debía cambiar las características del programa [28] [29].

Era un proceso lento ya que el programador realizaba este proceso en cintas perforadas y debía de ser ejecutado por un ordenador, proceso que podía llevar días. Programar directamente en el ordenador era ineficiente porque durante ese proceso no se podía ejecutar ninguna instrucción.

Aun así, las tareas que realizaban los ordenadores durante esa época daban mucho valor añadido pero los esfuerzos en investigación se focalizaban en el desarrollo de un sistema del uso compartido del tiempo, de manera que un ordenador pudiera atender a varios problemas de manera concurrente.

3.2. Años 60 y 70, IBM como promotor del mercado de la virtualización

Así, a partir de 1960, se empezó a desarrollar esta tecnología. Empresas como General Electric, o IBM invirtieron tiempo, dinero y esfuerzo en desarrollar máquinas de tiempo compartido [27].

Las universidades y los laboratorios que eran los usuarios finales necesitaban de esta tecnología para realizar sus investigaciones ya que era muy poco eficiente no disponer de ordenadores donde se pudiera aprovechar al máximo el tiempo de programación y ejecución de los programas, y tanto *Bell Telephone Laboratories* como el MIT escogieron el prototipo proporcionado por GE [27].

IBM no se quiso quedar atrás y en 1968 publicó el primer sistema operativo basado en uso compartido del tiempo, CP/CMS (*Control Program/Cambridge Monitor System*) [30].

Los objetivos finales de este desarrollo era crear un sistema informático de múltiples sesiones para los requisitos de computación que necesitaban y el uso de memorias asociativas en entornos de programación multiusuario. De este modo, múltiples usuarios

podían disponer de su propia instancia de un sistema operativo, independiente al resto, para compartir los recursos de los mainframes, que eran muy costosos para la época [31].

Con el uso compartido del tiempo, se incrementaba la eficiencia tanto de los usuarios finales que utilizaban el sistema como de los recursos del mismo.

Este sistema operativo consta de dos partes independientes [30]:

- CP, el programa de control de las máquinas virtuales, que creaba el entorno para estas y que proporcionaba a los usuarios una simulación del mainframe System/360, lo que venía a ser un ordenador privado por usuario.
- CMS, el sistema de monitorización que proporcionaba a los usuarios un sistema operativo interactivo monousuario. Era un terminal que funcionaba como una máquina virtual dentro del CP, permitiendo a los usuarios compartir un solo sistema S/360.

Este sistema, cumplía el concepto de uso de máquinas virtuales, ya que separaban a diferentes usuarios en diferentes sesiones por medio del CMS, simulaba un sistema completo gracias al CP, además de dar una interfaz de usuario diferente a cada utilizador mediante el CMS [30].

Hubo varias revisiones del sistema, pero la que estableció las bases de la virtualización fue el sistema operativo CP-40 para el mainframe System/360 de IBM, el cual soportaba 12 máquinas virtuales a la vez. No fue comercializado pero los beneficios de la virtualización se mostraron a los desarrolladores del momento y favoreció el desarrollo de nuevas versiones más pulidas [30] [31].

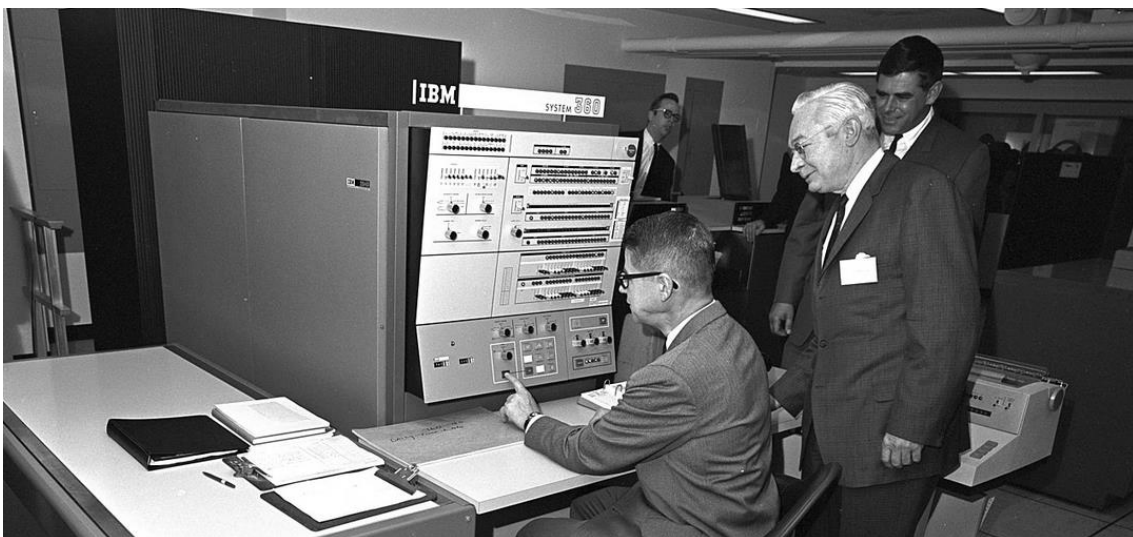


Figura 25 - IBM System/360 Model 40.

Fuente: https://en.wikipedia.org/wiki/IBM_System/360_Model_40

La siguiente revisión fue el CP-67, el cual desarrolló el concepto de memoria compartida dando a cada usuario su espacio virtual de memoria para ejecutar sus programas. El CMS

no evolucionó, pero con el CP-67 ahora se podían ejecutar hasta 24 máquinas virtuales a la vez. Varias revisiones del sistema operativo se publicaron añadiendo una mayor compatibilidad con dispositivos de entrada salida, posibilidad de más usuarios conectados simultáneamente o más CPU [30] [31].



Figura 26 - IBM System/360 Model 67-2 (duplex) at the University of Michigan, c. 1969
Fuente: https://en.wikipedia.org/wiki/IBM_System/360_Model_67

Otro obstáculo al que se enfrentaban era la disponibilidad de memoria en los mainframes. Cada usuario disponía de una partición de la memoria instalada en los sistemas físicos y con la cantidad de máquinas virtuales que se ejecutaban a la vez en cada sistema, se volvía cada vez menor la memoria disponible para cada usuario.

Para solucionar este problema, se desarrolló el concepto de memoria virtual, el cual permitía a los procesos disponer de más memoria de la que realmente existe físicamente en el sistema. Esta solución consistía en poder disponer de bloques de memoria en disco duro (el cual es muy lento en comparación con las memorias RAM) para así hacer creer al sistema que puede asignar más memoria a procesos que se estén ejecutando en él.

Con el soporte para memoria virtual, IBM lanzó el sistema operativo VM/370 en 1972, soportando más carga de trabajo que los anteriores modelos que se ejecutaban en la plataforma System/360 [31].

De igual manera que los sistemas precursores CP-40 o CP-67, VM/370 combina el uso de máquinas virtuales con las sesiones conversacionales independientes desarrolladas por ellos en versiones anteriores de sistemas CP/CMS. Se renombró la parte de CMS de *Cambridge Monitor System* a *Conversational Monitor System* [31].

De este modo con la VM se podían ejecutar los programas creados y con la parte CMS los desarrolladores de software podrían tener su interfaz particular de programación. Este sistema operativo, fue el predecesor de la línea actual de los sistemas operativos Z/VM que IBM desarrolla actualmente [31].

Fue lanzado en modo *open source* hasta que en 1977 empezaron a publicar sus nuevas distribuciones VM/SE, VM/BSE y VM/SP como software no libre, por lo que se requería de una licencia para poder trabajar con estos sistemas operativos [30] [31].

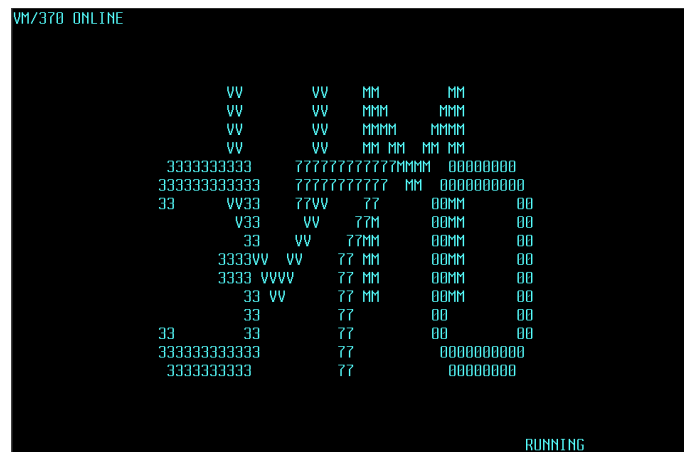


Figura 27 - Parte de VM
Fuente [https://es.wikipedia.org/wiki/VM_\(sistema_operativo\)](https://es.wikipedia.org/wiki/VM_(sistema_operativo))

Aun con las mejoras realizadas, la popularidad de uso de máquinas virtuales disminuyó, ya que aun ser una investigación propia de IBM, su interés final era la venta de más ordenadores, por lo que no potenciaban el uso de máquinas virtuales de cara a sus usuarios. Aun así, IBM focalizó la distribución de sus sistemas VM como soporte para otros sistemas operativos ya que así podían responder de mejor manera a las demandas de cada cliente.

Mientras el desarrollo de las máquinas virtuales tenía lugar entre los años 60 y 70, no fue hasta 1974 donde Gerald J. Popek y Robert P. Goldberg desarrollaron la teoría de los requerimientos para la virtualización de un sistema. Aunque desarrollaran un marco teórico sencillo y simplificaron el concepto de ordenador virtualizable, realizaron una abstracción de cómo debía ser la arquitectura de un ordenador para que soportara sin errores un proceso de virtualización además de dar ideas para el diseño de estas virtualizaciones [32].

3.3. Años 80, pausa de la tecnología ante el auge de los PC.

El siguiente momento clave en la historia de la virtualización fue la creación del procesador x86 por Intel en 1978 con la publicación de su microprocesador 8086. Los sistemas x86 están diseñados para funcionar directamente sobre el hardware físico del

servidor donde se ejecutan, lo que implica que el procesador tiene acceso de manera completa y sin restricciones a todos los recursos del sistema [33].

Entonces a partir de la creación y el uso común de este tipo de procesadores, se investigaron las maneras de poder crear máquinas virtuales con ellos, ya que parecía imposible de primeras realizarlo. Esto era debido a que capturar todas las interrupciones y excepciones generadas por el sistema, además de los accesos más privilegiados, era un desafío elevado, ya que el diseño de esta arquitectura no contaba con necesitar este tipo de acciones.

Con la aparición de sistemas operativos multiusuario, como fue el desarrollo de UNIX y la reducción de los costes de hardware, haciendo que fuera más accesible el acceso a un ordenador no solo para empresas sino para una mayor parte de la población, durante los años 80 no se realizó tanto inversión ni desarrollo de sistemas de virtualización, ya que nuevas arquitecturas de ordenadores, como la x86, fueron creadas y no incluían soporte para virtualización. Por ello, los esfuerzos de investigación durante esos años fueron destinados a la mejora de los sistemas monousuario.

IBM, que durante los años 60 y 70 fue la pionera en el desarrollo de los entornos de virtualización, se adecuó a las necesidades del mercado y dejó a un lado la investigación en plataformas mainframe y se centró en la venta de ordenadores personales, como el PC-IBM [31]:



Figura 28 - IBM Personal Computer
<https://www.muycomputer.com/2021/08/12/40-anos-del-ibm-pc/>

Durante la década de los 80, IBM disponía de una cuota de mercado en la venta de ordenadores personales del 80% por lo que dedicó sus esfuerzos a diseñarlos con más recursos y mayor rendimiento.

3.4. Años 90 y 2000, resurgimiento de la virtualización.

Al inicio de los años 90, cambia el paradigma de uso del uso de los mainframes en las empresas. Todas las investigaciones sobre hardware realizadas durante los años 80

llevaron a la aparición de los servidores físicos, donde se podían agrupar recursos de CPU, memoria RAM y almacenamiento de manera compacta y sin ocupar mucho espacio físico.

IBM seguía fabricándolos al llevar tantos años con esta tecnología en el mercado, y en el año 2000 publicó la serie IBM Z, que continúan hasta nuestros días y son una serie de mainframes de alto rendimiento diseñados para ejecutar la informática de bancos, gobiernos y otras organizaciones que necesiten requisitos de alta disponibilidad, seguridad y un alto tráfico de datos.

Además, tenían la capacidad de ejecutar múltiples sistemas operativos simultáneamente en diferentes máquinas virtuales como el propio z/OS, Linux en Z, su línea z/VM o z/VSE. Para poder ejecutarlos, desarrollaron el sistema PR/SM (*Processor Resource and System Manager*) que permitía dividir todos los recursos del mainframe en diferentes unidades lógicas donde ejecutar estos diferentes sistemas operativos. Cada división se podría considerar como un servidor físico independiente en otros sistemas de virtualización [31].

Tras hacer estas divisiones, es el momento en el que se pueden instalar los sistemas operativos en el mainframe. z/VM es el sistema operativo nativo del sistema IBM Z que permite ejecutar múltiples máquinas virtuales ya que funciona como un hipervisor y en él se pueden hacer funcionar el resto de sistemas operativos, o se pueden utilizar otras PR/SM para ejecutar el sistema operativo deseado [31].

Otra ventaja que esgrimían era la capacidad de poder ejecutar todas las aplicaciones que se hubieran desarrollado en otros sistemas IBM anteriores, como el System/360 mencionado anteriormente, por lo que muchas empresas que no deseaban rediseñar sus aplicaciones fundamentales podían migrar a este sistema que disponía de más recursos físicos y de software que los anteriores [31].

Aunque muchas empresas seguían operando con sus mainframes, la aparición de servidores a partir de los años 90 por empresas como Compaq provocó que las grandes estancias dedicadas a los mainframes pasaran a ser racks de almacenamiento de servidores donde se podían tener conectados varios de ellos.

El principal problema de la arquitectura con servidores independientes era su refrigeración, ya que estos servidores disipaban mucho calor y por ello se diseñaron sistemas de enfriamiento dedicados para estos servidores [33].

Aún con este problema, muchas empresas pudieran desplegar este tipo de tecnología sin necesidad de adecuar su infraestructura al gran espacio y energía requerido para disponer de un mainframe. En un rack, podían desplegar recursos y potencia de manera más económica que con el uso de un mainframe.

Tras los avances en el hardware, el siguiente paso fue la innovación en el software, con la creación de muchas soluciones que se siguen utilizando a día de hoy.

En 1994, Marc Ewing crea Red Hat Linux, un Sistema operativo especialmente dedicado para empresas. Desde ese momento, comenzaron a integrar software de otros fabricantes en el suyo propio, convirtiéndose poco a poco en una empresa importante dentro del mundo de los sistemas operativos. No se creó ningún útil para la virtualización, pero se plantó una semilla como sistema operativo empresarial que más tarde aprovecharían [34].

No fue hasta 1998 cuando VMWare planteó la solución al problema de la virtualización x86. Para ello, desarrolló la técnica de virtualización binaria, la cual permitía al hipervisor ejecutarse en el anillo 0 de privilegios para que estuviera aislado y tuviera un mejor rendimiento [35][36].

Esto provocó que el sistema operativo virtualizado tuviera que ejecutarse en un anillo superior, con más privilegios que las aplicaciones que se están ejecutando en el anillo 3 pero menos privilegios que el hipervisor, ya que este sería el encargado de gestionar al sistema operativo los recursos del *host*.

También desarrollado por ellos, en 1998, publicaron VMware Workstation, hipervisor de tipo 2 que funcionaba en sistemas operativos tanto Windows como Linux [36].

Tras ello, en 2001 publicaron ESX Server 1.0, su primer hipervisor de tipo 1 que soportaba máquinas virtuales de hasta 2GB. Se podían ejecutar varios sistemas operativos a la vez, como eran Windows NT, Windows 95/98, MS-DOS6 o Red Hat 5.0. ESX es un acrónimo de *Elastic Sky X* y se utilizó ESX como abreviatura del mismo [36].

Estos sistemas fueron patentados por VMWare en 2002. En la definición de la patente plantearon un sistema, basado en una CPU y memoria, con un hipervisor, capaz de virtualizar un ordenador mediante una máquina virtual. La máquina virtual se conectaría al hipervisor que sería el que ejecutase sus instrucciones mediante las técnicas de traducción binaria y ejecución directa en una arquitectura x86.

El siguiente hito alcanzado por VMWare ocurrió en 2003, donde debido a las demandas de disponibilidad de los sistemas que funcionaban en servidores bajo un hipervisor introdujeron un sistema conocido como vMotion, el cual permite migrar en tiempo real máquinas virtuales entre servidores independientes de una misma infraestructura [36].

Entonces, en momentos donde ocurran incidentes en el servidor donde una máquina virtual esté alojada, como pueden ser fallos de hardware, la sobrecapacidad de los recursos dispuestos para las máquinas virtuales del servidor o incluso la necesidad de ejecutar una cierta máquina virtual en un hardware específico por necesidades de los administradores de red, el hipervisor mediante esta funcionalidad puede encargarse de mover las máquinas virtuales en caliente sin necesidad de que estén apagadas, minimizando el tiempo de indisponibilidad de la aplicación.

Esta transferencia se basa el servidor destino reserva recursos de CPU, memoria RAM, red y almacenamiento para la máquina virtual seleccionada para la migración, que se ejecutará en el nuevo servidor cuando se consiga migrar el estado de la máquina virtual, con todos sus procesos y en el mismo estado que se encontraba en el servidor anterior.

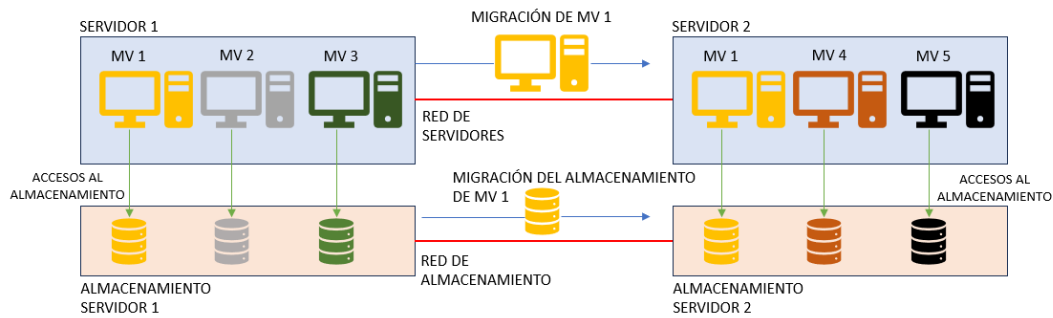


Figura 29 - Esquema funcionamiento vMotion

Este hipervisor de estas primeras versiones estaba basado en el sistema operativo creado por VMWare, VMKernel, que actuaba como una interfaz entre el hardware del servidor y las máquinas virtuales alojadas en él. En su desarrollo incluyeron funcionalidades comunes de otros sistemas operativos como creación y control de procesos, hilos o sistemas de ficheros. Se diferenciaba de otros sistemas operativos ya que introducía funcionalidades dedicadas para la gestión de máquinas virtuales como la disponibilidad de múltiples drivers de dispositivos, gestión de los recursos del sistema para así asociarlos a las máquinas virtuales o pilas de acceso para las entradas y salidas [37].

El VMKernel ha sido también desarrollado a lo largo de los años por VMWare incluyendo más funcionalidades como las mejoras en vMotion, gestión de ficheros en red o comunicaciones iSCSI [37].

Ambos proyectos, solo podían ejecutar máquinas virtuales con procesador de 32 bits, pero fue el inicio de VMware como uno de los principales proveedores de software de virtualización.

La siguiente innovación creada por VMWare fue la plataforma VCenter, publicada en 2003 y consistía en una máquina virtual instalada dentro de la infraestructura del cliente que le permitiría administrar todas las máquinas virtuales de diferentes *hosts* desde una misma interfaz. De este modo, permitían utilizar eficientemente la tecnología vMotion, ya que tendrían la visión a tiempo real del origen y destino de la migración de la máquina virtual [36].

Además, con esta herramienta se dispone de una visión del uso de los recursos de la infraestructura, por lo que los administradores del sistema pueden mover las máquinas virtuales de un servidor a otro para optimizar su carga y si alguno de ellos estuviera experimentando algún problema se podrían anticipar a su paso por cero migrándolo en tiempo real a otro servidor.

En 2004, publican el software ESXi, que era similar a ESX, pero siendo una versión más ligera. Desde la versión 5 en adelante, VMWare discontinuó ESX y las versiones de software que publicaron a partir de entonces llevaron la marca ESXi [36].

Paralelamente, el laboratorio de la Universidad de Cambridge estaba desarrollando el primer hipervisor de tipo 1 en formato *open-source*, iniciando este proceso en 1999. El equipo formado por Ian Pratt y su estudiante Keir Fraser iniciaron el desarrollo del proyecto como una plataforma para de soporte de máquinas virtuales Java donde se ejecutarían aplicaciones de clientes basadas en esa arquitectura, pero pronto se dieron cuenta que podían extender el uso de la tecnología a otros sistemas operativos [38].

El fin del hipervisor de las máquinas virtuales Java consistiría en encapsular las instrucciones de estas aplicaciones para ejecutarlas en el anillo 0 de procesamiento, debido a la arquitectura x86, pero este proceso de traducción binaria y emulación de instrucciones provocaba que las aplicaciones tuvieran un peor rendimiento que en su plataforma original.

Por esta razón, en vez de utilizar la metodología de traducción binaria optaron por desarrollar el hipervisor en modo de paravirtualización. Con esta base, establecieron varios puntos clave de los que pretendían conseguir con esta tecnología [38] [39]:

1. En infraestructuras con máquinas virtuales de diferentes clientes en el mismo hardware, querían ocultar el efecto de la virtualización proporcionando aislamiento entre ellas para que así no interfirieran en sus procesos y en su rendimiento.
2. El soporte de diferentes sistemas operativos donde se ejecuten aplicaciones de cualquier tipo lo veían esencial para que arquitecturas de aplicaciones basadas en diferentes sistemas pudieran funcionar dentro de la misma infraestructura.
3. Estas aplicaciones, deberían funcionar dentro del sistema operativo virtualizado sin sufrir ninguna modificación, para conseguir que más usuarios optasen por la utilización de Xen y no tuvieran que hacer un ejercicio adicional en migrar sus aplicaciones para que funcionasen en este sistema.

La primera versión que se publicó fue en 2003, con una licencia GNU GPLv2 (*General Public License version 2*) para el hipervisor [39].

Citrix Systems, una compañía de tecnología americana fundada en 1989, cuyos productos inicialmente se basaban en servidores multiusuario basados en Windows, donde distintos actores podían conectarse a un mismo sistema operativo de manera concurrente mediante un cliente ligero, creció en popularidad durante los años 90 y 2000 debido a la poca competencia que tenía en este sector. Entró en el mundo de la virtualización con la adquisición de Xen en 2007.

En 2005 y 2006, Intel y AMD, respectivamente, publicaron de manera independiente nuevos procesadores de arquitectura x86 que deberían ser utilizados para virtualización asistida por hardware. Por parte de Intel se publicaron los procesadores Pentium 4 modelos 662 y 672, mientras que por parte de AMD fue el Athlon 64 [29].

Estos procesadores incluían instrucciones dedicadas para la virtualización por hardware, facilitándola en gran medida, pero en demérito de la velocidad de procesamiento, por

lo que en un inicio no fueron la mejor alternativa para virtualizar, pero con la publicación de nuevas versiones fueron solventando este problema.

En 2005, la empresa israelí Qumranet, se introdujo en el mundo de la virtualización ofreciendo servicios de virtualización de escritorio, donde esta virtualización se realizaba mediante máquinas virtuales basadas en Kernel (KVM), que básicamente son módulos de virtualización donde se permite ejecutar el Kernel de Linux como hipervisor del sistema, es decir, hacen funcionar a un sistema operativo Linux como un hipervisor de tipo 1. Esta virtualización está basada en los procesadores de virtualización asistida por hardware por lo que sus avances van ligados a las mejoras realizadas por Intel o AMD [41].

Su éxito, provocó que la empresa Red Hat comprara esta solución software en 2008 y la integrara en su entorno de sistema operativo, sumándose así a la carrera de la virtualización con el resto de empresas que estaban realizando avances en el sector.

Microsoft no se quedó atrás, y en 2008 publicó Hyper-V, un hipervisor de tipo 1 desarrollado estrechamente con su sistema operativo Windows Server 2008. Es también el primer sistema operativo que solo funciona para la arquitectura de procesadores x64 [42].

A diferencia de otros hipervisores creados en esa época, Hyper-V, un estando instalado directamente sobre los recursos del sistema, necesita un sistema operativo padre Windows Server 2008 para funcionar. Esto trajo ventajas, como la disponibilidad de un gestor de las máquinas virtuales creadas desde el propio servidor WS2008 e inconvenientes como la dependencia del mismo para su funcionamiento, si por alguna razón el sistema operativo padre deja de funcionar, las máquinas virtuales lo harán también [42].

Oracle Corporation, empresa líder de tecnología que diseña, fabrica y publica productos tanto software como hardware, quiso también participar en el mundo de los hipervisores y en 2010 tras la compra de Sun Microsystems se hizo con el software Virtual Box, que había sido desarrollado desde 2007 por la empresa alemana InnoTek Systemberatung GmbH.

Virtual Box es un hipervisor de tipo 2 publicado bajo la licencia GNU por lo que se convierte en un software de código abierto. Permitía ser instalado en diferentes sistemas operativos como Windows, macOS o Linux y suportaba máquinas virtuales de múltiples sistemas operativos. Además, puede hacer funcionar estas máquinas virtuales tanto en virtualización por software como asistida por hardware.

3.5. Desde 2010 en adelante, establecimiento de la tecnología y auge de los contenedores.

Con 4 empresas dominando el mercado de la virtualización como eran VMWare, RedHat, XEN y Microsoft, la década de 2010 se estableció como la consagración de las máquinas virtuales, ya que los avances en la tecnología de los procesadores permitieron avances en el software de estas empresas, mejorando sus prestaciones y atractividad ante la alternativa de establecer un equipo físico sin virtualizar [43][44].

Respecto al hardware, el mayor avance fue la inclusión de servidores tipo Blade en vez de tipo rack, reduciendo así el espacio ocupado a costa de un mayor coste energético, ya que en el mismo espacio en el que se encontraba un servidor tipo rack pueden encajar varios servidores tipo Blade, dependiendo del modelo [43].

En 2010, Microsoft hace oficial y lanza el proyecto Windows Azure, renombrado a Microsoft Azure en 2010, donde ofrecía servicios de Software como servicio, plataforma como servicio e infraestructura como servicio. La más relacionada con la virtualización es la infraestructura como servicio, donde Microsoft crea instalaciones de múltiples servidores donde se pueden adquirir sus recursos mediante un sistema de suscripción [39].

Respecto a VMWare, a partir de 2010 descontinuaron el uso del software ESX y solo publicaron versiones de ESXi. Además, publicó el paquete vSphere como plataforma de virtualización, que combinaba tanto la gestión de la infraestructura con vCenter como el sistema operativo dedicado para la virtualización instalado en los servidores, ESXi. Su versión 5.1 incluía tecnologías útiles para entornos virtualizados [26][45]:

- vSphere Storage Appliance, que era una solución que permitía disponer de almacenamiento local en los *hosts* de la infraestructura sin la necesidad de mantener una infraestructura dedicada de almacenamiento. De este modo, se aprovechan los servidores tipo rack completamente llenándolos de discos y configurándolos como almacenamiento de datos.
- vSphere Data Protection, que es un sistema de backups que permite gestionar imágenes periódicas de las máquinas virtuales desplegadas en la infraestructura para así poder restaurarlas ante un error de las mismas.
- vSphere Replication, que es la función de migración de máquinas virtuales ante un malfuncionamiento del *host* físico donde se encuentren o la sala desde donde estén alimentados. Con esta tecnología se permitió mejorar el tiempo de respuesta antes catástrofes y caídas de la infraestructura.
- vShield Endpoint, que lo desplegaron como una solución de seguridad informática integrada en la infraestructura propia de VMWare que se haya desplegado. Sin tener que desplegar agentes dedicados en las máquinas virtuales, este antivirus permitía monitorizar su estado mediante una máquina virtual dedicada en la infraestructura del sistema.

En 2019, una de las mayores novedades que introdujo VMWare en su infraestructura fue vSphere Bitfusion, la cual permitía virtualizar las unidades de procesamiento gráfico (GPUs) para poder adaptarse así al mercado de inteligencia artificial y aprendizaje automático que empezaba a cobrar importancia en esa época. Para ello, desarrollaron

una capa de virtualización para captar los accesos CUDA que pedían los programas y aplicaciones de las máquinas virtuales y traducirlos a las GPUs que estuvieran instaladas en la infraestructura. De esta manera distintos clientes podían acceder a los recursos de las GPU sin necesidad de tener estos recursos dedicados en sus servidores [46].

Respecto a XEN, como ya se construyó como un hipervisor completo, las mejoras que recibió durante esta década fueron de rendimiento, estabilidad y la posibilidad de integrar más máquinas virtuales al igual que servidores con una mayor cantidad de recursos [38][39].

Por parte de RedHat, su estrategia pasó por seguir adquiriendo empresas de software aumentando su espectro de funcionamiento, pero mayormente centrado en empresas de software libre para seguir con la filosofía inicial que plantearon. Un momento clave en su historia reciente fue la adquisición por parte de IBM de la misma, convirtiéndose así en una empresa subsidiaria suya a partir de 2019 [40].

Hyper-V se ha seguido lanzando con cada versión nueva de Windows Server como una funcionalidad más del mismo, siendo su última versión la incluida en Windows Server 2019, Hyper-V Server 2019. Con cada versión han añadido funcionalidades como virtualización de red, recursos de almacenamiento compartidos, memoria compartida, virtualización anidada dentro de las máquinas virtuales y mejoras en el rendimiento y compatibilidad con otros sistemas operativos [42].

Tras Azure, aparecieron más empresas ofreciendo servicios como IaaS, siendo las más importantes Google y Amazon.

Respecto a Google, en 2013 lanzó al mercado este tipo de servicios bajo la marca Google Compute Engine, donde ofrecía todas las características necesarias para utilizar la infraestructura como servicio. Utilizando KVM como hipervisor, permite desplegar máquinas virtuales de 64 bits de diferentes sistemas operativos [41] [47].

Amazon dio los primeros pasos en el mundo de IaaS en 2006 con la publicación en la región de Estados Unidos de Amazon Elastic Compute Cloud, donde permitían alquilar máquinas virtuales para ejecutar aplicaciones propias de un ordenador. Esta solución fue expandiéndose globalmente por los distintos continentes para ofrecer menor latencia y mejor ancho de banda durante la década de 2010 [34].

Actualmente, ofrecen diferentes instancias de máquinas virtuales dependiendo de las necesidades de disponibilidad, recursos y optimización de los mismos. También disponen de varios sistemas operativos para poder desplegar como versiones de RedHat, Linux, Windows Server o MacOS [34].

En 2017, AWS en combinación con VMWare, desplegaron la iniciativa VMWare Cloud (VMC) en AWS, un modelo de Software como servicio el cual la infraestructura que los clientes tuvieran desplegada de manera local en VMWare anteriormente pudiera ser migrada completamente a la infraestructura de AWS en sus nodos regionales. Así, el cliente final no debía tener en su localización toda la infraestructura de servidores,

liberándose de su mantenimiento y solo centrándose en las funcionalidades de su sistema [36] [48].

En 2018, Amazon hizo pública una nueva tecnología de virtualización conocida como Amazon Firecracker Open Source, la cual utilizando KVM como base busca disponer de las ventajas de la ejecución de aplicaciones en contenedores disponiendo de una máquina virtual con pocos recursos. Básicamente, es una máquina virtual Linux con los requisitos mínimos para funcionar y ejecutar la aplicación deseada [49][50].

Ese mismo año, publicaron AWS Outposts, el cual ofrecía una infraestructura dedicada, con almacenamiento, CPU y memoria RAM, en la sucursal del cliente, para que ejecute sus aplicaciones dentro de su empresa sin necesidad de salir a la red. La gestión de la infraestructura la lleva AWS, como parte del nodo regional en el cual esté desplegado este servicio. De este modo AWS da la posibilidad a las empresas y a los centros de datos de disponer de las mismas formas de funcionamiento que sus sucursales, pero con todos los recursos dedicados a sus actividades [48].

Paralelamente a estas tecnologías ligadas al mundo de la virtualización, se fueron desarrollando las bases de la tecnología de contenedores.

La primera empresa que lanzó una herramienta de este estilo fue Docker en 2013, con el software Docker Engine, el cual era un producto que virtualizaba sistemas operativos para ofrecer software en forma de conjuntos de servicios conocidos como contenedores. Cada contenedor está programado de manera independiente y contienen las librerías y ficheros de configuración necesarios para hacer funcionar una aplicación. Con su software, estos contenedores pueden funcionar en diferentes sistemas operativos y al consumir pocos recursos se pueden ejecutar varios en el mismo servidor [34].

En 2014 Google desarrolló Kubernetes como herramienta para automatizar la administración de las plataformas de contenedores, aunque lo marcó como software de código abierto para que toda persona o equipo que desee colaborar en esta herramienta pueda realizarlo sin coste alguno [34].

Con ella, se permite orquestar toda la infraestructura desplegada de contenedores, con acciones como despliegue automático o escalado ante necesidades de recursos. Para utilizarlo, hace falta una infraestructura física donde desplegar la máquina virtual orquestadora que será la encargada de administrar los contenedores que se desplieguen en esa infraestructura.

VMware no se quedó atrás al ver que muchas empresas migraban del modelo clásico de máquinas virtuales hacia el modelo en contenedores, y por ello en 2019 lanzó el proyecto Pacific, el cual reestructura vSphere para poder integrar completamente su versión de Kubernetes, Tanzu [36][37][51].

Este software permite orquestar y dar recursos a servidores que, tanto lo instalen nuevo, como los ya existentes con máquinas virtuales. Permite la compatibilidad con herramientas desplegadas anteriormente por ellos como vSphere o VMC. Esta combinación de ambas tecnologías permite a los desarrolladores de aplicaciones utilizar

las herramientas de Kubernetes para desplegar sus proyectos y a los administradores de la infraestructura seguir utilizando vSphere para administrar tanto la infraestructura como las aplicaciones desplegadas en entorno de contenedores [44][45].

3.6. 2020 en adelante, futuro de la virtualización

Con todas las bases de los procesos de virtualización establecidos desde los años 2000, en la actualidad se vive una fase de adaptación y de mejora a estas tecnologías establecidas ya que el proceso de integración en empresas y particulares no es rápido, además de ser lento y costoso [52].

Las soluciones de virtualización nuevas ofrecidas al mercado son aquellas conocidas como “*as a service*”, que no dejan de ser múltiples servicios destinados a los usuarios finales para la computación en la nube [53][54].

Los servicios más comunes que ofrecen empresas como Microsoft, AWS o Google son:

- Infraestructura como servicio, IaaS: este servicio de informática en la nube ofrece recursos de computación, almacenamiento y comunicación de red a cambio de un pago por uso dependiendo de la calidad y cantidad de los recursos demandados. Ayuda a reducir el coste de mantenimiento del hardware físico desplegado en las empresas y ayudan a deslocalizar los recursos informáticos a grandes centros de datos donde están instaladas estas soluciones. Dentro de las empresas, queda instalar todo lo que se necesite dentro de esta infraestructura contratada, como son los sistemas operativos, las herramientas de desarrollo para la empresa dentro de estos sistemas y las aplicaciones que se ejecuten en estas máquinas virtuales.
- Plataforma como servicio, PaaS: este servicio de informática en la nube, además de ofrecer los mismos servicios que IaaS, añade todo el middleware necesario para desarrollar software y poder implementarlo en entornos de red. Añadir sistemas operativos y el software hace que las empresas se puedan olvidar de eliminar la administración de estas plataformas y el pago de las licencias de los servicios de manera dedicada, ya que aquí, al igual que con IaaS, se vende el servicio como un paquete completo. También, reduce el personal especializado en tecnología IT en la empresa ya que todos los procesos de mantenimiento de los sistemas operativos y las aplicaciones se contratan a la empresa a la cual se contrata el servicio.
- Software como servicio, SaaS: este servicio es el que completa el ciclo de las otras dos alternativas, ya que aquí se contrata el paquete completo de aplicaciones necesarias para que una empresa funcione sin tener que tener estas aplicaciones ni en la propia estructura ni en la plataforma subcontratada, como pueden ser servicios de correo electrónico o paquetes de aplicaciones comerciales. Así, liberando el uso de las aplicaciones empresariales, se permite funcionar a la

empresa con total libertad ante la hora de escoger proveedores, basándose así solo en las funcionalidades y servicios que estas ofrezcan.

Una empresa no tiene por qué contratar solo un tipo de modelo de servicio, si no que para cada una de sus necesidades puede plantear contratar un tipo. Si necesita aplicaciones comerciales se decantará por SaaS, si quiere trabajar con middleware preestablecido para desarrollar sus aplicaciones escogerá PaaS y si quiere mantener los sistemas operativos y las aplicaciones que se ejecutan en ellos ya están desarrolladas y pertenecen a la propia empresa elegirá IaaS.

Un esquema de la relación entre estos tres tipos de modelo de servicio se ve en el siguiente diagrama:

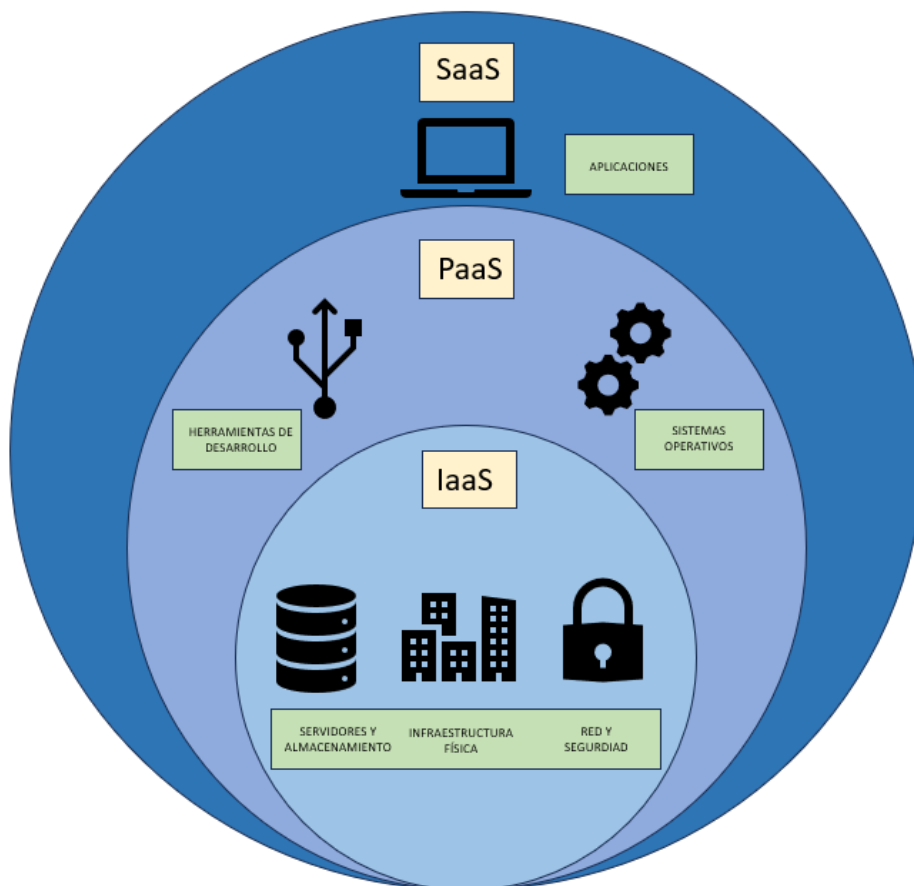


Figura 30 - Diferencias entre IaaS, PaaS y SaaS

Aún con estos servicios ganando en popularidad, las empresas pueden seguir disponiendo de su propia infraestructura propia y la pueden combinar con estas nuevas aplicaciones, construyendo un modelo de nube híbrida que da flexibilidad ante los cambios en el desarrollo de las aplicaciones.

4. Componentes de una infraestructura de virtualización. Ejemplos del mercado

Una vez estudiada la evolución de la tecnología, es necesario poner en contexto que empresas dominan cada componente de un sistema virtualizado y que productos ofrecen para así conocer sus características fundamentales y saber cuál escoger dependiendo del tipo de necesidad que el usuario final tenga.

4.1. Servidores

Este primer componente va a ser encargado de suministrar la CPU, RAM e incluso el almacenamiento si se decide no disponer de un sistema de almacenamiento dedicado. Como se vio durante la evolución de la tecnología, actualmente los tipos de servidores se dividen en tipo torre, tipo rack o tipo Blade y su uso viene dado principalmente por el soporte físico donde quieran ser instalados, y por ello sus características finales serán diferentes.

El primero de ellos, el servidor tipo torre, es el servidor más parecido a un ordenador de sobremesa en cuanto a su formato físico. Tiene formato de torre y está destinado a un uso en pequeñas y medianas empresas donde no se requiera una infraestructura de procesamiento o red compleja.

Físicamente no requiere un soporte especializado a diferencia de los servidores en rack o Blade, por lo que es más adaptable a cualquier lugar de almacenamiento. Por ello, no está pensado para disponer de muchos servidores tipo torre en el mismo espacio ya que no hay disponibles una solución para aumentar la densidad de recursos con ellos.

Su instalación y mantenimiento es sencillo por el fácil acceso físico que tienen, pero a la hora de expandirlos o realizar sustituciones de hardware, hay que tener en cuenta que no son tan compactos, pero disponen de espacio interno suficiente para realizarles modificaciones.

Como su uso no está pensado para ser intensivo como con los servidores rack o Blade, el ruido que generan es menor y sus necesidades energéticas también, por lo que el coste económico de mantenimiento se reduce considerablemente en comparación con los otros servidores.

Un servidor tipo rack es aquel que está diseñado para ser montado en un rack metálico o armario bastidor de salas informáticas de centros de datos. Dentro del rack se pueden conectar múltiples servidores, equipo de red o almacenamiento y permiten una gestión eficiente de todos los componentes que se instalen en él.

Su formato es compacto, están diseñados de manera rectangular y suelen tener un ancho estándar de 19 pulgadas, sobre 48,26cm [55][56]. Respecto a la altura, se mide en

unidades rack, abreviadas como "U". Un U equivale a 1,75 pulgadas, aproximadamente 4,45cm:



Figura 31 - Dimensiones de unidades rack
Fuente: - [55]

Dentro del mercado de servidores se pueden adquirir de 1, 2 o 4 U, dependiendo de sus componentes internos. La profundidad de los mismos es variable, pero permiten almacenar dispositivos de distintos tamaños optimizando el espacio de la infraestructura. Además, en caso de avería esta estructura facilita su gestión ya que se puede acceder fácilmente a los componentes que tienen instalados. Están diseñados para tener buena ventilación y enfriamiento ya que los componentes que están funcionando en el mismo pueden alcanzar altas temperaturas [55].

En la siguiente imagen se pueden ver diferentes alturas de chasis rack de 19 pulgadas [57]:



Figura 32 - Diferentes tamaños de chasis
Fuente: - [57]

Por otro lado, los servidores tipo Blade son servidores compactos y modulares que van encajados en chasis individuales que reciben energía, enfriamiento y red de manera compartida para todos los servidores Blade instalados en él.

Básicamente, un servidor tipo Blade dispone de la placa base donde se conectan los componentes, memoria, procesador y almacenamiento, pero no tiene alimentación, red o ventilación dentro del mismo a diferencia de los servidores tipo rack, ya que estos recursos vienen dados por el chasis Blade al que están conectados.

Este chasis es compartido por todo el inventario de servidores Blade y recibe los recursos compartidos citados, por ello se genera un entorno de alta densidad de servidores ya que se desea con esta instalación ahorrar espacio físico al máximo.

La conexión entre servidores Blade es muy eficiente y se pueden interconectar múltiples servidores Blade entre sí mediante sistemas de interconexión integrados dentro del chasis.

Como la energía es compartida para todo el chasis, los recursos dedicados a la alimentación eléctrica de los servidores y a su refrigeración se reducen en comparación con otros tipos de estructuras de servidores. Además, la gestión del chasis es fácil ya que sustituir Blades es tan sencillo como extraer y sustituir la unidad a reemplazar, facilitando la escalabilidad del sistema y su mantenimiento.

A la hora de escoger un servidor u otro, habrá que tener en cuenta las necesidades informáticas y de recursos económicos de la propia empresa [58].

Las principales ventajas de los servidores rack vienen por el ahorro de espacio en entornos de alta densidad de servidores, facilidad de manejo de cableado y su gestión, disminuyendo el desorden y una gran escalabilidad ya que se pueden añadir, retirar o sustituir servidores de manera adaptativa, además de poder combinar servidores de diferentes marcas ya que la mayoría de fabricantes siguen el estándar de tamaño citado. Inicialmente son más económicos que un servidor Blade ya que este necesitará de varias hojas para disponer de los mismos recursos que ofrece un único servidor rack.

Las ventajas de ese uso vienen dadas por el mayor ahorro de espacio que los servidores rack, pudiendo alojar muchos más servidores en el mismo espacio. También hay un ahorro de costes en gastos energéticos y de mantenimiento en comparación con los servidores rack y la configuración del sistema es más sencilla ya que no hace falta reconfigurar todo el servidor en cada operación sobre el mismo. Respecto al cableado, será más simple debido al mismo argumento que la energía, ya que es un entorno de red compartido.

Respecto al mercado de servidores, está compuesto por diversas empresas que ofrecen soluciones para necesidades como centros de datos, computación en la nube o aplicaciones empresariales.

En 2023, el mercado de los servidores estaba valorado entre 95 y 105 miles de millones de dólares y de cara a 2030 se calcula que podrá crecer anualmente entre un 7% y un 9,3% del mismo valor, pudiendo alcanzar cifras de hasta 200 mil millones de dólares. Los mayores beneficios se centran en los servidores tipo rack y el mercado de Norte América representa más del 40% del mercado mundial de servidores [59][60][61].

Las empresas más relevantes del mercado, a fecha de 2023, son las siguientes, ordenadas por cuota de mercado [59][60][61][62]:

- Dell Technologies, se encuentra en primera posición en ventas de servidores con una cuota del 19%. Tras la adquisición de la empresa americana en 2015

EMC, dedicada a la venta de soluciones de almacenamiento y software para los mismos, se consagró como una de las empresas más importantes de este sector, ofreciendo al mercado soluciones para todo tipo de empresa, desde pequeñas y medianas con servidores modestos como a centros de datos. Sus servidores más comercializados son el Dell EMC PowerEdge R740 (servidor en rack de 2U), Dell EMC PowerEdge T640 (servidor en torre) y Dell EMC PowerEdge MX7000 (Blade server).



Dell EMC PowerEdge R740

Dell EMC PowerEdge T640

Dell EMC PowerEdge MX7000

Tabla 1 - Ejemplos de servidores Dell comerciales [CC1]

- Hewlett Packard Enterprise, o más conocida como HPE, soporta un 13% de la cuota de mercado de servidores y dispone de servidores para todo tipo de soluciones. Su buque insignia son los servidores HPE ProLiant debido a su confiabilidad y rendimiento y se utilizan en todo tipo de entornos empresariales. Sus servidores más vendidos son el servidor tipo rack de 2U HPE ProLiant DL380 Gen10, el servidor tipo Blade HPE Synergy 12000 o el servidor tipo torre HPE ProLiant ML350 Gen10.



HPE ProLiant DL380 Gen10

HPE Synergy 12000

HPE ProLiant ML350 Gen10

Tabla 2 - Ejemplos de servidores HPE comerciales [CC2]

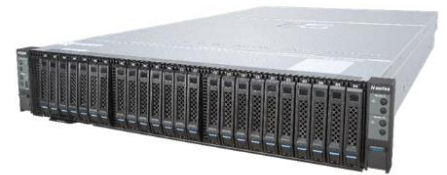
- Inspur, fabricante chino de servidores con alta presencia en los mercados asiáticos está ganando relevancia en el resto del mercado, con una cuota total del 4,5%. Su foco de trabajo está en servidores de alto rendimiento y personalización para las demandas de los usuarios que los deseen adquirir. Los servidores más vendidos son el Inspur NF5280M6, el Inspur NF5468M6 y el Inspur i24.



Inspur NF5280M6



Inspur NF5468M6



Inspur i24

Tabla 3 - Ejemplos de servidores Inspur comerciales [CC3] [CC4]

- Lenovo, compañía china que se hizo importante en el mercado global tras la adquisición de la división de servidores x86 de IBM en 2014, contando con un 4,4% de cuota de mercado. Sus servidores más vendidos son los servidores de 2U Lenovo ThinkSystem SR650 y Lenovo ThinkSystem SR550 o el servidor Blade Lenovo ThinkSystem SD530.



Lenovo ThinkSystem SR650



Lenovo ThinkSystem SR550



Lenovo ThinkSystem SD530

Tabla 4 - Ejemplos de servidores Lenovo comerciales [CC5]

- Supermicro es conocido por ofrecer servidores altamente configurables y personalizables, lo que los hace populares entre empresas con necesidades muy específicas, como necesidades de procesamiento gráfico para entornos de big data o IA. Cuenta con una cuota de mercado del 5,3% y sus servidores

más comercializados son el rack de 1U Supermicro SuperServer 1029U-TN10RT, el Supermicro BigTwin o el Blade Supermicro SuperBlade.



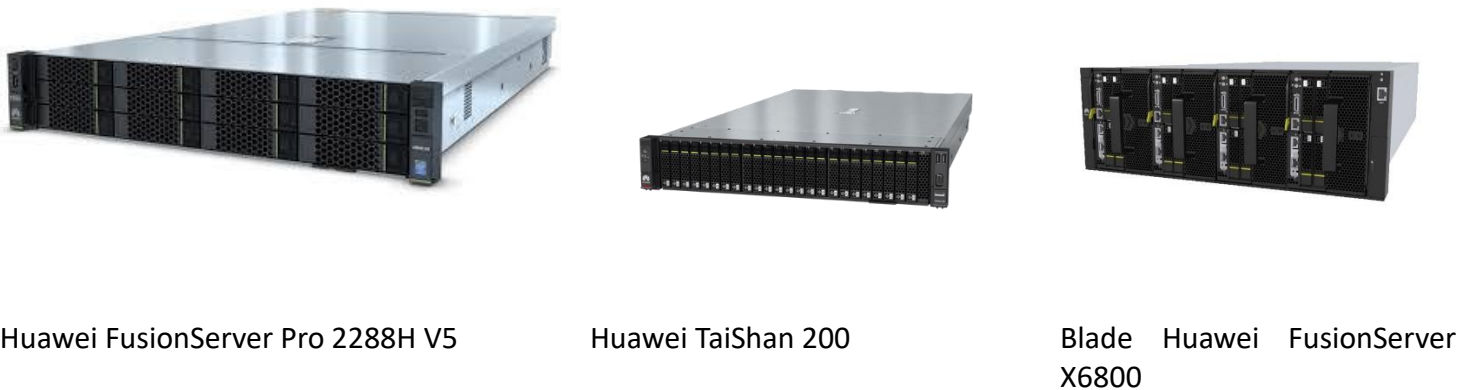
Supermicro SuperServer
1029U-TN10RT

Supermicro BigTwin

Supermicro SuperBlade

Tabla 5 - Ejemplos de servidores Supermicro comerciales [CC6]

- Huawei es un fabricante chino que ofrece soluciones de servidores tanto para empresas como para operadores de telecomunicaciones y centros de datos. Pese a las sanciones internacionales que afectan su acceso a mercados occidentales, sigue siendo un jugador importante en Asia y otros mercados emergentes. Cuenta con un porcentaje del mercado del 3,2% y los servidores más vendidos son el Huawei FusionServer Pro 2288H V5, el Huawei TaiShan 200 o el Blade Huawei FusionServer X6800.



Huawei FusionServer Pro 2288H V5

Huawei TaiShan 200

Blade Huawei FusionServer
X6800

Tabla 6 - Ejemplos de servidores Huawei comerciales [CC7]

- Cisco, empresa conocida principalmente por su liderazgo en sistemas de redes, también ha comenzado a tener presencia en el mercado de servidores a través de la línea Cisco UCS (Unified Computing System). Sus soluciones están muy enfocadas en la integración con la infraestructura de redes y virtualización y cuentan con un 2,4% del mercado. Ejemplos de servidores

vendidos son el servidor de 2U Cisco UCS C240 M5, el servidor de 1U Cisco UCS C220 M5 o el servidor Cisco UCS B200 M5 Blade.



Cisco UCS C240 M5

Cisco UCS C220 M5

Cisco UCS B200 M5 Blade

Tabla 7 - Ejemplos de servidores Cisco comerciales [CC8]

- IBM, respecto a la división de servidores, no cuenta con mucha cuota de mercado respecto a los competidores del mismo, alcanzando un 4,5% del mismo con modelos dentro de su serie Power Systems como el Power S1012 o el Power E1050. Son modelos rack, ya que no fabrican modelos Blade debido a la venta de estos productos a Lenovo en 2014. Respecto a los mainframes, tienen un 96% de cuota de mercado ya que pocas empresas se dedican a fabricarlos. Su último modelo fue publicado en 2022 y es el IBM z16, cuyas características más diferenciadoras son el elevado número de transacciones por segundo que puede realizar y la integración de sistemas de inteligencia artificial dentro del mainframe para disponer de análisis en tiempo real del estado del sistema [63].



Power S1012

Power E1050

IBM z16

Tabla 8 - Ejemplos de mainframes IBM comerciales [CC9]

4.2. Dispositivos de red

Una vez que disponemos de servidores, para poder trabajar con ellos en un entorno de red, además de todo el cableado necesario, hace falta conectarlos a dispositivos como son routers y switches que son los que dotan a las infraestructuras de conectividad.

Respecto al valor de los dispositivos de red más utilizados, los switches, se calcula que se encuentra alrededor de los 15 mil millones de dólares con expectativas de crecimiento de entre el 4% y 5% hasta 2030, alcanzando entonces cifras superiores a los 24 mil millones de dólares. Al igual que con el mercado de servidores, América del Norte es la región con mayores ventas de los mismos debido a que el crecimiento en la infraestructura de servidores debe ir acompañado del crecimiento de la infraestructura de red [64][65][66][67][68].

Dentro del mercado de los switches hay que diferenciarlos dependiendo del tipo del medio de transmisión que utilizan, ya sean de cobre para llegar al punto final donde estén los dispositivos o de fibra, que serán los encargados de realizar la distribución a lo largo de la extensión de la empresa [64][65][66][67][68].

- El mayor fabricante por cuota de mercado es Cisco Systems, que lo domina con una cuota del 43,7% del mismo. Ofrece soluciones para todo tipo de necesidades, ya sean empresas, centros de datos o redes de telecomunicaciones y dependiendo del tipo de switch dentro de su catálogo podemos encontrar ejemplos como el conjunto de switches de cobre Cisco Catalyst 2960-X-Series o la serie de switches de fibra óptica Cisco Nexus 9000 series.



Cisco Catalyst 2960-X-Series



Cisco Nexus 9000 series

Tabla 9 - Ejemplos de switches Cisco comerciales [CC10]

- El siguiente competidor es Huawei, que con una cuota del 9,4% del mercado predomina en el mercado asiático con switches como la familia de cobre Huawei S5700 Series o la de fibra Huawei CloudEngine 8800 Series.



Huawei S5700 Series



Huawei CloudEngine 8800 Series

Tabla 10 - Ejemplo de switches Huawei comerciales [CC11]

- El resto de empresas del mercado, como pueden ser Juniper Networks, Arista Networks, Aruba Networks, HPE o Dell EMC suman una gran parte del porcentaje restante.

También se han desarrollado switches dedicados para la transmisión de información entre servidores y dispositivos de almacenamiento, de manera que permiten direccionar tráfico de manera dedicada por fibra óptica para así reducir la latencia en la transmisión de información y realizarla a alta velocidad. Están desarrollados para utilizar protocolos como FC o iSCSI y permiten aislar el tráfico de datos de almacenamiento de otro tráfico de red de la infraestructura.

Se diferencian de los switches de cobre en que estos están diseñados para transmisión de información en redes de datos generales, entre dispositivos diversos y además los switches de fibra alcanzan velocidades de hasta 10Gbps si las condiciones de sus componentes son óptimas.

Aun compartiendo el medio de transmisión con los switches de fibra, los SAN switch están especializados en la transmisión de información de protocolos de almacenamiento, no como los switches usuales de fibra óptica que se utilizan para transmitir datos entre infraestructuras alejadas.

Del mismo modo que existe un protocolo de virtualización de red para las redes ethernet clásicas, también existe una virtualización de redes de fibra, conocida como *zoning*. Esta técnica se utiliza en las redes de fibra unidas mediante switches SAN y permite segmentar el tráfico de almacenamiento en áreas lógicas.

De este modo, los orígenes de datos, conocidos como iniciadores envían información a los almacenes de datos, los destinos, a través de los switches de fibra óptica dedicados y el *zoning* determinará que dispositivos dentro de esta red pueden establecer una comunicación entre sí.

La segmentación de la red aumenta la seguridad de la misma ya que se especifica qué dispositivos pueden comunicar entre sí, dando acceso solo a los datos necesarios por cada dispositivo. Además de este aumento de la seguridad de los datos, se añade un aislamiento ante fallos en la red al tenerla dividida por zonas y se mejora el rendimiento evitando el tráfico innecesario en el switch.

El *zoning* se puede definir a nivel de puerto, donde ciertos puertos de ese switch solo tienen permitido comunicar entre sí, similar a las VLAN, o se puede definir mediante identificador de dispositivo en la red de fibra, donde se definen los indicadores de dispositivos que pueden comunicarse entre sí de manera individual.

Al igual que con los switches de cobre o fibra, las empresas especializadas en su fabricación son Cisco Systems, Dell Technologies, Broadcom, HPE o IBM [67].

Respecto al cableado se puede dividir entre cobre y fibra óptica, dependiendo del dispositivo al que se vaya a conectar. Hay que tener en cuenta que es clave para la

infraestructura que se despliegue y hay que adquirirlo dependiendo de la velocidad, blindaje y resistencia a interferencias electromagnéticas o a condiciones adversas.

Esta última característica la confiere el blindaje del cable, que se puede dividir en UTP (par trenzado no blindado) el cual al no tener blindaje es más económico y flexible pero vulnerable ante interferencias, STP (par trenzado blindado), que dispone de blindaje para cada par y es el más caro y complejo, y FTP (par trenzado con lámina de blindaje) que contiene una lámina de blindaje para todos los pares, lo que proporciona una protección menor que el modelo STP [69].

Los cables de cobre se dividen por categorías y dependiendo de las características mencionadas, y en la siguiente tabla podemos ver un resumen de los límites de estas mismas [69]:

Categoría	Velocidad (hasta)	Frecuencia (hasta)	Blindaje	Uso
Cat5e	1 Gbps	100 MHz	UTP y STP	Conexiones a corta distancia poco sensibles.
Cat6	1 Gbps	250 MHz	UTP, STP y FTP	Entornos industriales ligeros.
Cat6a	10 Gbps	500 MHz	STP y FTP	Sistemas de control y baja latencia.
Cat7	10 Gbps	600 MHz	STP y FTP	Aplicaciones críticas de baja latencia.
Cat8	40 Gbps	2 GHz	STP	Transferencias de datos muy rápidas.

Tabla 11 - Clasificación de categorías de cable ethernet

Dentro del mercado de cables de cobre ethernet, nos encontramos con empresas como CommScope, Belden, Legrand o Prysmian Group [69].

Los cables de fibra óptica se tienen que utilizar para garantizar la transmisión de datos a largas distancias (mayores de 100m) con inmunidad a interferencias electromagnéticas y radiofrecuencia. Estos cables tienen más ancho de banda que los de cobre y ofrecen más fiabilidad en la transmisión. Principalmente se dividen en dos [70]:

- SMF (Fibra óptica monomodo), la cual tiene un núcleo pequeño por el que se transmite solo un modo de luz, lo que permite señales sin dispersión y baja atenuación. Se utilizará en aplicaciones que tengan que comunicarse a altas velocidades (a partir de 10Gbps) o largas distancias.
- MMF (Fibra óptica multimodo), la cual tiene un núcleo mayor que la SMF y permite que varios modos de luz circulen por el cable, lo que puede añadir más dispersión y limita las velocidades de transmisión, pero es más económica que la fibra monomodo por lo que se utiliza en entornos menos críticos donde no se requieran altas velocidades o largas distancias.

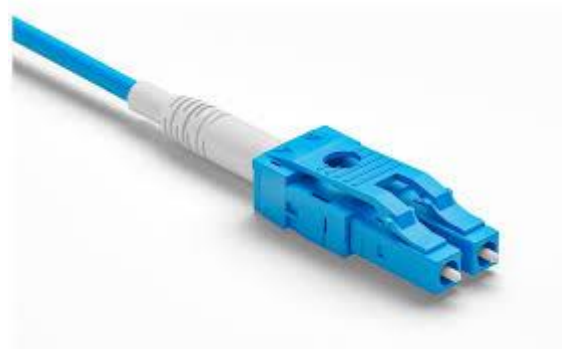
Se puede añadir refuerzos a la fibra para entornos donde el cableado pueda estar expuesto a productos contaminantes, agentes externos peligrosos o peligros mecánicos. Para ello aparecen alternativas como la fibra reforzada, blindada o con gel para exterior.

El último detalle que hay que tener en cuenta es el tipo de conector que se desea para la fibra dependiendo del dispositivo al que se conecte y a la densidad de

dispositivos. Los más comunes en el mercado de comunicación de dispositivos de red, servidores e infraestructura de almacenamiento son los conectores SC (Subscriber Connector), el cual tiene una estructura push-pull que proporciona una conexión firme y los conectores LC (Lucent Connector), los cuales tienen un mecanismo de acople que proporcione buen ajuste en el momento de la conexión [70].



Subscriber Connector



Lucent Connector

*Tabla 12 - Distintos tipos de conectores de fibra óptica
Fuente: - [70]*

Las empresas más importantes de este sector son Corning y Prysmian, seguidas por CommScope y Belden. También tienen participación en el mercado OFS o Sumitomo Electric [70].

4.3. Almacenamiento

El mercado de infraestructuras de almacenamiento es amplio y se compone de varias categorías de productos como la tecnología NAS, SAN o almacenamiento basado en software.

La tecnología NAS (Network Attached Storage) se basa en dispositivos de almacenamiento conectados a una red local que permiten a varios usuarios conectados a la misma acceder a estos repositorios de almacenamiento para gestionar los datos desde un sistema centralizado. Para la comunicación con ellos se pueden utilizar protocolos como SMB en Windows o NFS en Linux. Disponen de un sistema operativo propio con interfaz gráfica para gestionar los volúmenes de datos y la configuración del RAID del almacenamiento y el estado de sus discos, estando diseñado para poder virtualizar datos a nivel de fichero. Además, están contruidos para facilitar el acceso y la compartición de archivos y generar copias de seguridad de los datos almacenados en ellos [71][72][73].

Dependiendo de las necesidades de almacenamiento, las empresas dedicadas a este sector ofrecen diferentes productos que varían en tamaño y uso:

- Synology, con el 25-30% de cuota de mercado dentro de la tecnología NAS, ofrece soluciones versátiles y fáciles de usar. Dispone de productos más enfocados a un uso no extensivo como Synology DiskStation DS220+ pero también comercializa NAS de alto rendimiento como Synology RackStation RS3617xs+.



Synology DiskStation DS220+



Synology RackStation RS3617xs+

Tabla 13 - Ejemplos de NAS Synology comerciales [CC12]

- QNAP, sigue de cerca a Synology con un 20-25% de la cuota de mercado y dispone de dispositivos de uso doméstico, empresariales o más profesionales. Suele incluir bahías que se pueden expandir para disponer de maniobrabilidad ante cambios en la cantidad de datos a guardar. Algunos ejemplos son el QNAP-TS-873U-RP o el QNAP TVS-872XT.



QNAP-TS-873U-RP



QNAP TVS-872XT

Tabla 14 - Ejemplos de NAS QNAP comerciales [CC13]

- Western Digital, además de comercializar una gran variedad de discos duros, ofrece soluciones NAS para necesidades de espacio ligeras y estructuras poco críticas, como WD My Cloud Home o WD Sentinel DX4200. Compite con las otras dos empresas con una cuota del 5 al 10% del mercado.



WD My Cloud Home



WD Sentinel DX4200

Tabla 15 - Ejemplos de NAS Western Digital comerciales [CC14]

- Otras empresas que comercializan esta tecnología son Netgear, TerraMaster o Drobo, pero sin alcanzar las cuotas de los 3 grandes fabricantes citados.

Respecto a la tecnología SAN (*Storage Area Network*), que se basa en disponer de una red dedicada que proporciona acceso a nivel de bloque de datos a la información almacenada en los discos instalados. A diferencia de la tecnología NAS que está enfocada en el almacenamiento de todo tipo de ficheros, la tecnología SAN tiene como propósito conectar servidores a dispositivos de almacenamiento para que este sea el volumen de datos de los sistemas operativos de los servidores.

Utiliza protocolos de comunicación como FC, iSCSI o FCoE y el acceso a los datos mediante estos protocolos está diseñado para acceder a bloque, lo que significa que el SAN no tiene constancia de lo que se guarda en ese espacio de datos, solo lo cede como recurso a un sistema operativo o hipervisor que lo desee.

Además, es idóneo para la virtualización del almacenamiento por lo que distintos dispositivos físicos se pueden agrupar como uno o varios sistemas lógicos. Son soluciones mucho mejor que los NAS para entornos de alto rendimiento y baja latencia y se pueden configurar para tener alta disponibilidad y tolerancia ante fallos, pero en su contra está el precio más elevado.

Respecto a los fabricantes de SAN, los principales actores son los siguientes [74][75]:

- Dell Technologies, con su división Dell EMC, es uno de los principales fabricantes con una cuota de entre 25-30% del mercado, con productos como Dell EMC PowerMax o Dell EMC VMAX.



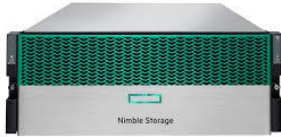
Dell EMC PowerMax



Dell EMC VMAX

Tabla 16 - Ejemplos de SAN Dell comerciales [CC15]

- HPE también se encuentra como fabricante de soluciones SAN con un poco menos de cuota de mercado de Dell, entre el 20-25% del mismo. Sus productos destacados son el HPE Nimble Storage, el HPE Primera o el HPE 3PAR StoreServ.



HPE Nimble Storage



HPE Primera



HPE 3PAR StoreServ

Tabla 17 - Ejemplos de SAN HPE comerciales [CC16]

- IBM participa en este mercado con un 10-15% de cuota y sus productos más destacados son la serie IBM Storwize o IBM DS8000.



IBM Storwize 7000



IBM DS8000

Tabla 18 - Ejemplos de SAN IBM comerciales [CC17]

- NetApp es la siguiente empresa importante que comercializa esta tecnología y cuenta con productos para la integración de datos en la nube como NetApp FAS Series o NetApp E-Series, obteniendo de un 15-20% del mercado.



NetApp FAS9500



NetApp E5700

Tabla 19 - Ejemplos de SAN NetApp comerciales [CC18]

- El resto de empresas que participan en esta tecnología con menores cuotas son Lenovo, Pure Storage, Hitachi Vantara o Fujitsu.

El último sistema de almacenamiento relacionado con entornos virtualizados es el almacenamiento definido por software (SDS). Es una tecnología que realiza una abstracción del hardware de almacenamiento físico y lo virtualiza para dar flexibilidad y escalabilidad en su uso.

Es decir, que, instalando este software en un sistema operativo, y haciendo que relacione distintos sistemas de almacenamiento, que no tienen por qué ser del mismo tipo o tecnología, puede mostrar al usuario final un conjunto único de almacenamiento sin que se sepa cual es el hardware subyacente.

Para realizar estas tareas este software suele contar con una interfaz de usuario para así gestionar todos los sistemas de almacenamiento relacionados. Además, se pueden aplicar políticas de retención de datos, replicación y seguridad desde la misma. Al igual que con los sistemas NAS o SAN, se puede expandir el sistema de almacenamiento de manera horizontal añadiendo más hardware y de manera dinámica, sin tiempos de parada entre acciones de mantenimiento.

Las principales empresas que han desarrollado este tipo de software son:

- VMWare con su software vSAN, que además de estar integrado con su plataforma propia vSphere proporciona almacenamiento para entornos virtualizados y tiene sinergias con otros productos de la misma marca.
- Datacore ofrece su aplicación DataCore SANsymphony la cual ofrece virtualización de almacenamiento para SAN y NAS, combinando así las tecnologías más comunes de la industria de la virtualización de almacenamiento.
- IBM con IBM Spectrum Virtualize proporciona virtualización de almacenamiento con equipos físicos o virtuales y además se integra con toda la gama de servidores que ofrece IBM.
- Nutanix ofrece también soluciones integradas de infraestructura hiperconvergente en la que buscan juntar todo el sistema de almacenamiento, potencia de cálculo con memoria y CPU además de la red como una única solución software. En la parte de almacenamiento, han publicado Nutanix AOS que funciona con su plataforma.
- Otras empresas del sector también ofrecen productos software como pueden ser HPE, Dell Technologies, Red Hat o Scale Computing.

El mercado del almacenamiento se sitúa alrededor de los 20 mil millones de dólares y tiene un crecimiento previsto de hasta los 50 mil millones de cara a 2030. Este crecimiento viene dado por las necesidades de almacenamiento eficientes por parte de las empresas debido a las instalaciones de todo tipo de dispositivos. La tecnología SAN y el protocolo FC es la evolución principal del mercado, ya que son dispositivos optimizados al máximo para el almacenamiento en red [73] [74][75].

4.4. Resumen de los componentes de los sistemas de virtualización.

Como se ha visto en este apartado, hay múltiples empresas que participan en el mercado de la virtualización, con servidores, dispositivos de red y almacenamiento. Ante la gran cantidad de productos disponibles, el principal problema que aparece es saber cuál seleccionar para la solución a implementar.

Para tomarla, hay que tener en cuenta dos variables. El presupuesto del que se disponga, que será limitante en cuanto a la calidad del producto que se compre (mejores discos, CPUs de mejor calidad, memoria RAM más elevada) y también hay que tener en cuenta las necesidades físicas del producto que se necesite. No es necesario sobredimensionar los recursos que se adquieran si no hay un plan de crecimiento en el volumen de datos que se va a mover.

Por ello, hay que hacer un estudio previo de las necesidades físicas que se requieren y pensar un plan de futuro en el que se tenga en cuenta el mantenimiento de los dispositivos, su obsolescencia y su adaptación entre sí.

Respecto a la evolución del mercado, en todos los componentes hay perspectivas de crecimiento bastante amplias debido al incremento del uso de la tecnología por parte de empresas y centros de datos. Las fuentes señalan que la computación en la nube es uno de los mayores factores para este crecimiento y si no hay variabilidades se cumplirán las perspectivas de aumento de cara a 2030.

5. Casos de uso

En este apartado se van a presentar varios escenarios donde la tecnología de virtualización entra en juego y se van a explicar todas las acciones necesarias para poder implementarlos, desde diseño del sistema, con la compra de todos los componentes y materiales necesarios, hasta la implementación física y el análisis del posible rendimiento del sistema.

5.1. Adaptación de sistemas operativos obsoletos a la tecnología actual

En este caso de uso se plantea la necesidad de poder recuperar información de ordenadores antiguos que por obsolescencia o malfuncionamiento se han dejado de utilizar, y por ello información o aplicaciones que se hayan quedado instalados en ellos no se puede utilizar.

Hay aplicaciones que se diseñaron para sistemas operativos x32 y no funcionan correctamente en las versiones x64 actuales.

Otro ejemplo del uso de un hipervisor, en vez de para evitar obsolescencia sería la ejecución de aplicaciones en entornos controlados sin que afecten a la marcha corriente del ordenador principal, evitando así problemas en su rendimiento. También se puede ejecutar una aplicación en un hipervisor para ver su rendimiento en el entorno virtualizado antes de dar el paso a eliminar el sistema físico completamente.

Para ello, hay que realizar un proceso de virtualización del sistema, ya que no deseamos reinstalarlo en un sistema actual, si no que siga funcionando de la misma manera que si se estuviera ejecutando en el hardware físico original.

Con este proceso se conseguirá optimizar el uso de los recursos, ya que se asignarán a la máquina virtual únicamente los recursos necesarios para su funcionamiento, y se mejorará la eficiencia en cuando a la gestión y administración de los sistemas ya que dejaremos de depender de distintos hardware físicos para unirlos todos bajo una misma plataforma.

El proceso que se debe seguir para realizar este paso de máquina física a virtual consta de varias etapas:

5.1.1. Evaluación del estado de la máquina física

Aquí, hay que determinar en qué estado se encuentra la máquina y si es necesario proceder a realizar una virtualización del sistema. Respecto al hardware hay que comprobar los recursos de CPU, memoria RAM y almacenamiento, ya que tienen que ser replicados de la misma manera en la máquina virtual que se cree.

También se debe analizar el software del sistema para asegurarse de que es estrictamente necesario realizar el proceso de virtualización y no se puede hacer una migración a un sistema operativo o versión del programa más moderna, ya que suelen contar con más soporte de los desarrolladores en casos de problemas o lanzamiento de parches de seguridad.

Además, hay que analizar que todos los componentes físicos del sistema sean virtualizables, ya que puede ser que existan cartas analógicas o componentes especiales de hardware que no tengan los drivers de virtualización instalados y no se pueda ejecutar la máquina virtual en el entorno deseado.

5.1.2. Preparar la máquina física para su virtualización.

Antes de realizar cualquier modificación del sistema, es importante realizarle una copia de seguridad con algún software dedicado a ello. Hay múltiples herramientas en el mercado para realizar copias de seguridad y hay que decidir el uso de alguna dependiendo de nuestras necesidades.

El primer elemento que debemos tener en cuenta es la compatibilidad de la herramienta de *backup* que vayamos a seleccionar con el sistema operativo y el entorno en el que se vaya a utilizar. Puede haber casos en los que haya versiones de sistemas operativos que no puedan ejecutar el programa de *backup* o que la herramienta no esté diseñada para una infraestructura virtualizada.

Respecto al almacenamiento de esta copia de seguridad, hay que considerar donde va a realizarse. Si se dispone de una infraestructura con un NAS o SAN dedicada al almacenamiento de copias es recomendable utilizarlo por las políticas de tolerancia ante fallos y gestión de errores, si no, se pueden adquirir discos duros externos para mantener el número de copias replicado para disponer de ellas en caso de error de disco.

También hay que asumir que estas aplicaciones suelen tener un coste asociado, hay algunas de ellas que ofrecen versiones gratuitas, pero con funcionalidades limitadas, por lo que saber qué características de la aplicación necesitamos para realizar el *backup* es necesario.

Por último, si la copia de seguridad se va a almacenar en un entorno de red, hay que cifrar la copia o contar con alguna herramienta que lo realice para evitar posibles fugas de seguridad.

A continuación, se van a presentar algunas de ellas que serán utilizadas en los ejemplos que van a continuación:

- *Acronis Cyber Protect*: este software da la capacidad de realizar copias integrales del sistema o copias incrementales de seguridad. Es compatible con varios sistemas operativos como Windows, macOS o Linux y se puede crear una imagen de la cual se puede hacer boot al arranque del sistema

para crear la copia de seguridad, además de poder instalar el programa en el propio ordenador al que se quiere hacer la copia.

- *Veeam Backup*, software de la empresa del mismo nombre, y está optimizada y especialmente desarrollada para la plataforma vSphere. Permite hacer *backups* incrementales y completos, permitiendo reducir la carga de ejecución ante el caso de necesitar un *backup* rápido y ligero del sistema. Además, se pueden crear tareas programadas dentro del software para así ejecutar el trabajo de *backup* en el momento deseado sin tener que hacerlo manualmente. También permite analizar el fichero de *backup* y extraer de él ficheros del sistema, para no obligar a realizar la restauración completa del sistema. Es un software con licencia con la que permite realizar muchas funciones, pero la versión gratis también da la opción de realizar una copia de seguridad completa de un sistema.
- *Clonezilla* es una herramienta de clonación y creación de imágenes de discos duros de código abierto, la cual permite hacer copias de seguridad de diferentes sistemas operativos ya que es compatible con diferentes sistemas de ficheros. Permite realizar copias con red y tiene diferentes versiones dependiendo del uso, si es para uso particular o para clonaciones masivas. A diferencia de los otros softwares presentados que disponían de una interfaz gráfica este dispone de una interfaz basada en texto, por lo que es necesario aprender los comandos de ejecución de la aplicación.
- *Ghost Backup* era un software desarrollado por *Symantec*, pero discontinuado en sus actualizaciones desde 2013. Fue de los pioneros del sector y permite realizar imágenes del disco duro o de particiones individuales. También era compatible con distintos modos de sistemas de ficheros por lo que tenía compatibilidad con distintos sistemas operativos, además de poder clonar la información de un disco a otro.

Dentro del análisis de optimización del sistema, es importante no tener servicios o aplicaciones que no haga falta disponer de ellos en el nuevo entorno, ya sea porque no vayan a funcionar en un entorno virtualizado, como pudieran ser cartas de entradas/salidas analógicas que el hipervisor no tuviera posibilidad de virtualizar, o por necesitar algún recurso del que no se dispone, como pudiera ser alguna red que no se pudiera conectar al nuevo equipo virtualizado.

5.1.3. Proceso de virtualización

Tras haber escogido el software y haber optimizado el estado del sistema, se puede proceder a hacer el *backup* del mismo y tratar la imagen obtenida dependiendo del hipervisor donde se quiera arrancar el sistema operativo.

Tras obtener la imagen del sistema, el siguiente paso es la creación de la máquina virtual, asignando los recursos escogidos previamente dependiendo de las necesidades de la máquina virtual de origen y de la infraestructura disponible para ello. Tras comprobar que funciona, solo queda reconfigurar el estado de la máquina virtual con la red necesaria, los drivers o licencias que hayan podido desconfigurarse en el proceso y comprobar que la aplicación o los datos por los que se hicieron el proceso de migración funcionan correctamente.

Después de este punto, se puede dar por terminado el proceso de virtualización y si no se necesita más el equipo físico se puede decomisionar para ser utilizado para otros fines, o reciclarlo por los problemas de obsolescencia que pudiera generar.

5.1.4. Ejemplo de virtualización de un sistema obsoleto

Tras la explicación del proceso a seguir, se han escogido un sistema operativo obsoleto físico para poder migrarlo a plataformas más recientes. Este sistema operativo es un Windows 7 de 32 bits. Esta máquina física original disponía de un procesador de 2 núcleos, 2GB de memoria RAM y un disco de 100GB de espacio.

Se va a realizar la virtualización en dos hipervisores diferentes, *VMware Workstation Pro for Personal Use (For Windows) 17.5.2*, descargado gratuitamente desde la página de *Broadcom*, y *Oracle Virtual Box 7.0.20*, ambos hipervisores de tipo 2 [76][77].

Dentro de ambos hipervisores, la creación de una máquina virtual a partir de una máquina física viene dada por importar el *backup* que realicemos en formato VMDK, que es el tipo de fichero que los hipervisores controlan en entornos virtualizados. Este fichero contendrá toda la información necesaria del sistema de archivos de la máquina original para que funcione en el entorno virtualizado.

Ambos hipervisores funcionarán en un entorno de pruebas físico, Victus HP TG02 de 16GB de memoria RAM y CPU AMD Ryzen 5 5600G con Radeon Graphics. Además, cuenta con dos unidades de disco duro diferentes.

El primer disco es un Intel NVME de 512GB donde está instalada la partición del sistema operativo, Windows 11, y el segundo disco es un WD BLUE SA 510 2.5 de 512GB, que será donde se instalarán ambos hipervisores.

Tras haber realizado la instalación recomendada de los hipervisores, el siguiente paso es la copia de seguridad del sistema operativo a virtualizar. Hay que tener en cuenta que en los casos que uno se enfrente a un sistema operativo antiguo, muchos softwares de *backup* actuales no son instalables en él, por lo que es más recomendable optar por una opción en la que no haga falta instalar nada en el sistema operativo, solo ejecutar un programa bootable que además puede valer para realizar copias de sistemas operativos modernos.

En este caso, *Veeam Backup Agent* tiene una versión de 32 bits para Windows 7, pero la conversión de un fichero .vbm (el *backup* realizado con el programa) a un fichero que se pueda leer como información de disco de máquina virtual solo se obtiene con las versiones de pago de la infraestructura de *backup* de *Veeam*.

Lo mismo ocurre con *Acronis*, el software de *backup* es gratis, pero la instalación del agente en una máquina para generar el fichero VMDK a partir de un fichero .tib (la extensión del *backup* realizado por el programa de *backup* de *Acronis*), está dentro de las opciones de pago de este software.

Por ello, el siguiente programa que he analizado ha sido *Ghost Backup*, el cual, aun estar discontinuado por la empresa *Symantec*, y no publica más versiones desde 2013, es capaz de realizar el *backup* del sistema y luego convertir la imagen realizada en un fichero VMDK para sistemas operativos creados anteriormente a esta fecha.

Por la necesidad de disponer de un software gratuito de *backup* e igualmente de tener en la misma plataforma la opción de migrar a un formato que una máquina virtual entendiera como un disco, he escogido *Ghost Backup* como software para este caso de uso.

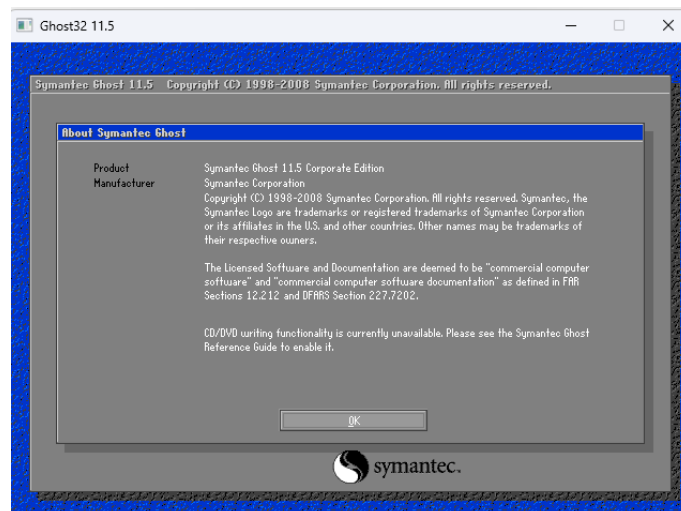


Figura 33 - Menú inicial del programa Ghost

Para realizar la copia del sistema operativo Windows 7 se ha realizado con el programa *Ghost Backup*, conectando al ordenador donde se va a realizar la virtualización el disco SATA del antiguo sistema operativo mediante un adaptador SATA-USB. Se seleccionan las opciones, *Local*, *Disk* y *To Image* y se selecciona el disco del cual se quiere realizar el *backup*:

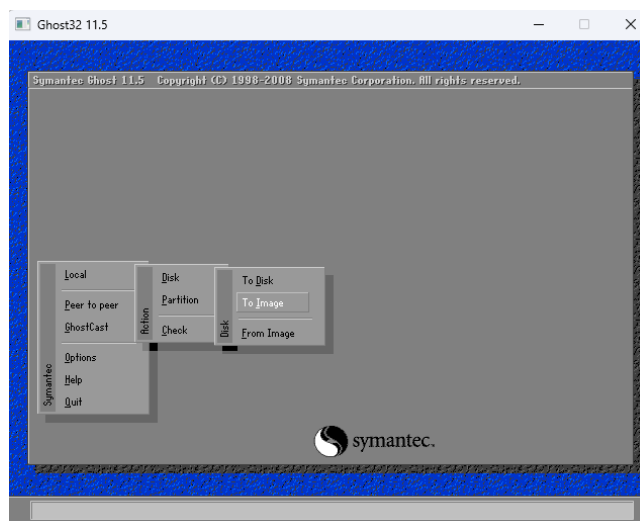


Figura 34 - Selección de opciones para realizar un backup dentro del programa Ghost

La selección de esta herramienta para la realización del *backup* ha sido por la facilidad de transformar la imagen a un formato que luego pueda ser exportado a una máquina virtual y también por la facilidad de eso del programa, ya que no hace falta instalar nada el debido a que es un ejecutable.

Tras ello se ha ejecutado el programa *Symantec Ghost 11.5* y ha generado un archivo GHO con la imagen del sistema operativo:

Windows7.GHO	20/07/2024 23:33	Archivo GHO	36.692.309 KB
--------------	------------------	-------------	---------------

Figura 35 - Archivo .GHO creado al realizar el backup

Tras disponer de las imágenes en los formatos de los programas, hay que transformarlas en un formato que el hipervisor pueda utilizar para desplegar el mismo disco virtual. Para ello hemos seleccionado el formato VMDK que es el formato de archivo de las máquinas virtuales de los hipervisores de VMWare y VirtualBox.

Para migrar la imagen en formato GHO a VMDK, mediante el mismo programa con el que hemos hecho la imagen podemos ejecutar el siguiente comando vía CMD para así transformar el fichero:

```
E:\Ghost_11_5>Ghost32115 -clone,mode=restore,src="E:\Ghost_11_5\Windows7.GHO",dst="E:\Ghost_11_5\Windows7vmdk.vmdk" -batch -sure
```

Figura 36 - Comando para convertir fichero .GHO en fichero .VMDK

Windows7vmdk.vmdk	10/08/2024 20:37	Archivo VMDK	63.741.952 KB
-------------------	------------------	--------------	---------------

Figura 37 - Fichero -VMDK obtenido tras ejecutar el anterior comando

Para hacer funcionar la máquina virtual, es conveniente seleccionar los mismos recursos o más que la máquina física original. Hay que tener en cuenta posibles limitaciones de memoria RAM en sistemas operativos x32, ya que solo pueden gestionar 4GB de la misma.

También hay que tener cuidado a la hora de seleccionar el tipo de conexión al sistema del dispositivo de almacenamiento.

En primer lugar, en VM Virtual Box se ofrecen varios tipos de conexión, y dependiendo de cómo estuviera establecida en la máquina física original hay que escoger una u otra. En este caso, la seleccionada es IDE, ya que al provenir de un disco físico con esa conexión en el equipo de origen es la que se debe escoger:



Figura 38 - Selección de conexión de almacenamiento con disco VMDK

Si se selecciona otro tipo de interfaz de conexión de datos, nos encontraremos con un error del tipo 0x7B, cuyo significado es que no puede encontrar un dispositivo bootable disponible:

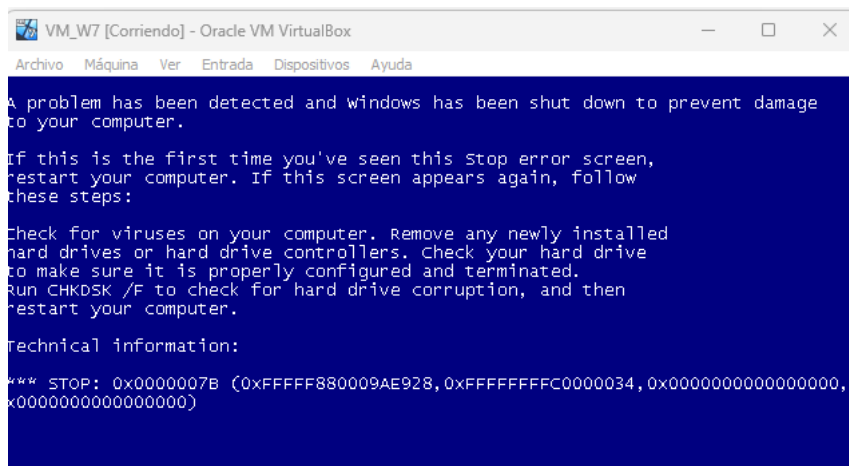


Figura 39 - Error que aparece al hacer boot con un formato de conexión de almacenamiento incorrecto

Por ello, tras seleccionar el tipo de dispositivo correcto, la máquina virtual será capaz de arrancar y tendremos el mismo estado que obtuvimos tras la copia física del sistema. Solo quedaría configurar la red para disponer del mismo sistema que disponíamos anteriormente:



Figura 40 - Máquina Virtual W7 funcionando en Virtual Box

Respecto a la instalación de la máquina virtual en VMWare Workstation, no cambia mucho a la hora de seleccionar los recursos excepto en el momento de seleccionar el disco que hay que especificar que es una el disco virtual del que queremos hacer funcionar ya existe como formato VMDK.

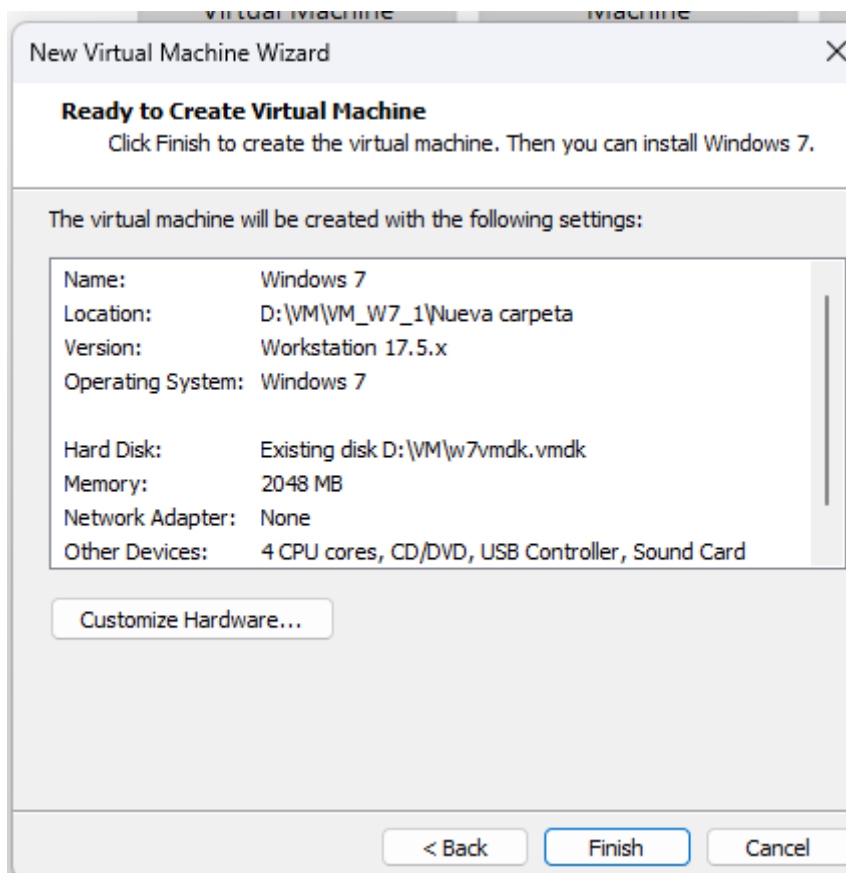


Figura 41 - Resumen de recursos seleccionados en VMWare Workstation para máquina virtual W7

Al arrancar la MV, nos encontramos con el mismo escenario que usando Oracle Virtual Box:

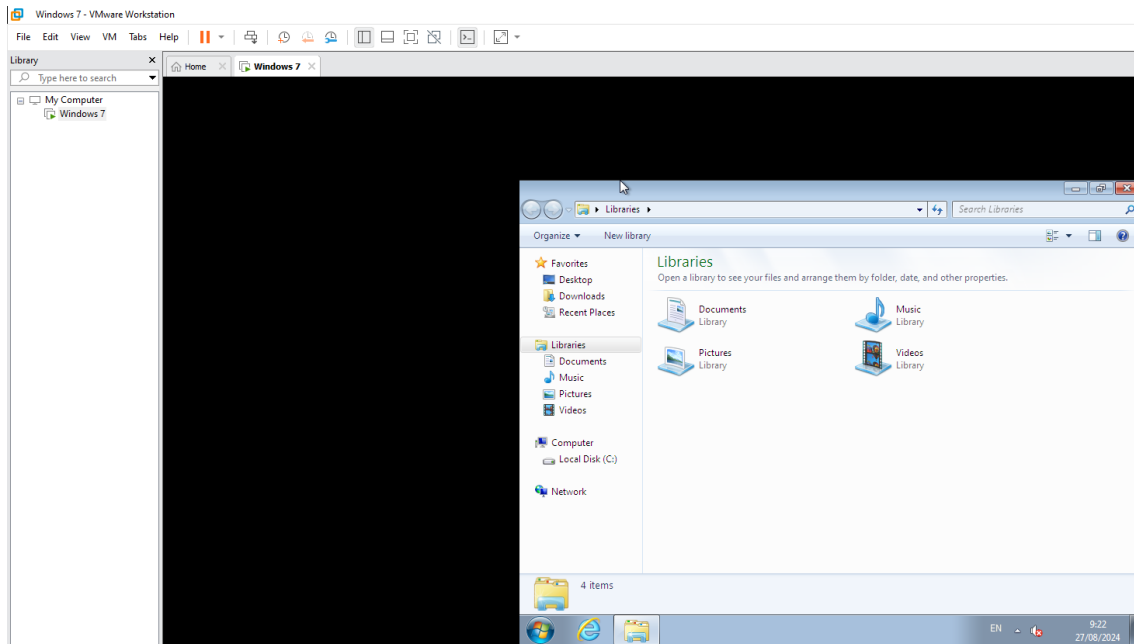


Figura 42 - Máquina virtual W7 funcionando en hipervisor VMWare Workstation

Si se fueran a ejecutar aplicaciones que necesiten un rendimiento considerable de algún recurso del ordenador como CPU, RAM o accesos a disco, sería recomendable analizar las métricas de rendimiento que ofrecen los hipervisores para así saber cuál de los entornos de virtualización se comporta mejor, obteniendo así la solución óptima a la hora de virtualizar un sistema operativo obsoleto.

5.2. Diseño de una infraestructura de servidores

Tras haber estudiado todo el sistema de virtualización y los componentes esenciales, se va a desarrollar una infraestructura para una empresa en la que se utilicen todos los componentes estudiados y se den diferentes alternativas para ese diseño. La infraestructura va a ser completamente física y sin necesidad de almacenar información en la nube, luego se hará una comparación con los servicios que ofrecen empresas de IaaS para saber las ventajas y los inconvenientes que ofrece establecer un contrato con una de esas empresas en vez de establecer toda la infraestructura de manera local.

El caso de uso va a desarrollar lo necesario para establecer la infraestructura, los pasos a tomar para ello y las decisiones que hay que tomar para ello.

El primer paso es decidir el lugar donde se va a situar la sala dentro de la empresa. Tiene que tener el tamaño adecuado para albergar todos los componentes que se vayan a adquirir y tiene que estar en un lugar estanco y sin riesgos físicos potenciales, como depósitos de agua, fluidos o que sea una zona que vaya a sufrir modificaciones. Va a ser el núcleo de toda la informática de la empresa y por ello hay que dimensionarla bien para los componentes que se vayan a adquirir y pensar en la escalabilidad a futuro.

Además, debería disponer de control de acceso para que solo las personas con las credenciales adecuadas pudieran acceder a ella.

Dentro de ella, se instalarán racks para alojar todos los dispositivos informáticos que se desplegarán dentro de la sala, como los servidores, los dispositivos de red, el almacenamiento y todo el cableado que lo una. Estos racks deben tener una correcta refrigeración ya que los dispositivos informáticos disipan calor y pueden alcanzar temperaturas elevadas, por lo que un estudio de localización de los racks es necesario.

Ya instalados los racks, el siguiente paso es llenar su contenido. Dependiendo del proyecto que se esté manejando, para una mayor facilidad de administración futura, es recomendable situar componentes del mismo tipo en el mismo rack, de este modo la organización del cableado es homogénea para todo el rack. Por lo que, en una infraestructura usual, se deberá disponer de un rack para los servidores, ya sean modelos de torre, rack o Blade, otro rack para los dispositivos de almacenamiento como NAS, SAN o servidores con una aplicación dedicada a la gestión del almacenamiento y en otro nodo los dispositivos de la infraestructura de red, como son los switches de cobre o fibra, los routers o los NAT.

En primer lugar, respecto a la red, sería recomendable disponer de red virtualizada para aprovechar completamente la infraestructura de servidores y la segmentación por red. En ella, se deberían definir distintas redes para distintos propósitos. Los más comunes suelen ser una red dedicada a la administración de los dispositivos, otra para el *backup*, otra para el tráfico de información y otra para el tráfico de otro tipo como pudiera ser tráfico de video, correo electrónico o tráfico independiente a la gestión de las aplicaciones de la empresa.

Además, a la hora de realizar la conexión entre los distintos dispositivos, es recomendable disponer de paneles de cobre donde se puedan hacer las conexiones de manera ordenada y se puede dejar instalado para que si en algún momento se instale algún componente nuevo o si se necesita utilizar otro puerto de red de algún servidor no haga falta deshacer el conjunto de cables ya instalado para añadir el siguiente.

Este cableado se puede dirigir por canaletas de cables por la parte superior de la sala o colocados bajo los servidores, dependiendo de la disposición de la misma. Además, hay que tener en cuenta que hay que llevar alimentación eléctrica a los racks para poder dar tensión a los elementos instalados en los mismos.

Respecto a los servidores, es recomendable instalar del mismo tipo para reducir así las variabilidades ante fallos y ayudar a los administradores del sistema a realizar una mejor gestión de los mismos.

En cuanto al almacenamiento, se pueden optar por varias opciones. Los servidores actuales cuentan con espacio suficiente físico en ellos para instalar discos en ellos, pero de este modo el almacenamiento estaría centralizado en los servidores y ante fallo de uno de ellos se puede corromper la información. Por ello se puede optar por instalar en la bahía de almacenamiento un sistema SAN o almacenamiento por software para que

funcionen los datos de las máquinas virtuales y seleccionar herramientas NAS para guardado masivo de documentos, imágenes, videos o *backup* de máquinas virtuales.

Además, si hubiera tecnología de diferente generación en la sala de servidores, como podría ser el caso de diferentes mainframes de IBM, sería recomendable situarla en distinto lugar dentro de la sala para no interferir en las labores de mantenimiento la una con la otra.

La principal ventaja que proporciona esta infraestructura es la capacidad de crecimiento en rack y la sencilla administración que plantea, ya que, con todas las partes situadas en el mismo lugar, no es necesario realizar ingeniería de cableado para conectar los nodos.

A continuación, se plantea el ejemplo de una sala con un rack de 3 cabinas, donde en una de ellos se instalan servidores, en otros dispositivos de almacenamiento y en otro se encuentra toda la red de dentro de la infraestructura. Si fuera posible en cuanto al espacio, sería conveniente preparar racks para un posible escalado de la infraestructura, pero todo ello depende de las necesidades a corto o medio plazo de la empresa que desee instalar este tipo de infraestructura informática.

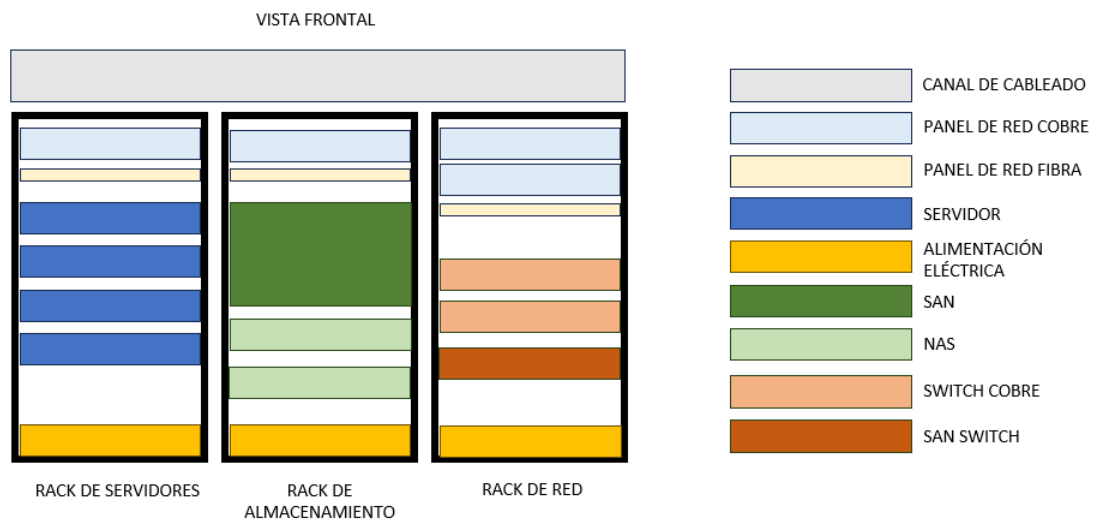


Figura 43 - Esquema infraestructura completa - Parte frontal

Respecto al cableado que hubiera que realizar en este ejemplo, se han instalado paneles de parcheo de cobre y fibra para facilitar la limpieza de la parte posterior de los racks y la administración sencilla del cableado. Se ha simplificado el cableado saliente de los servidores a los paneles de parcheo, pero dependiendo de la red que se quiera desplegar puede hacer falta ocupar todas las tarjetas de red de los elementos de la infraestructura:

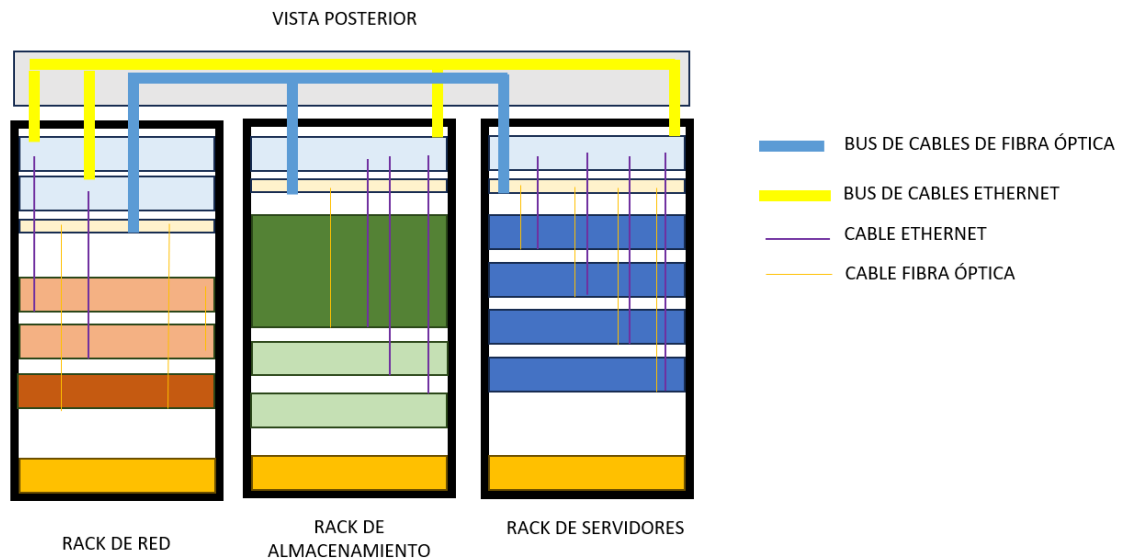


Figura 44 -Esquema infraestructura completa - Parte posterior

En cambio, uno de los problemas que plantea esta infraestructura es la poca redundancia ante fallos, ya que un fallo en uno de los elementos puede provocar la indisponibilidad completa de la infraestructura

La unicidad de los recursos se podría romper en el caso de que se estuvieran ejecutando aplicaciones sensibles en los servidores y se buscara aplicar redundancia a la infraestructura.

Por ello, si se crean nodos diferentes preparados para afrontar interrupciones físicas como una pérdida de la alimentación eléctrica, ruptura de comunicaciones, malfuncionamiento de un servidor o indisponibilidad de la sala donde están alojados los servidores, se generan nodos diferenciados que pueden funcionar independientemente uno de otro con la capacidad de soportar cada uno de ellos la infraestructura total del conjunto. Para realizarlo, bastaría con añadir switches de fibra óptica entre las dos salas para así tenerlas conectadas.

El problema de esta infraestructura es la inversión que hay que hacer para mantenerla, ya que, si ya además de tener que dimensionar ambos nodos cada vez que se aumente la capacidad de la misma, hay que establecer los requisitos de red y seguridad de la sala en ambas ubicaciones, por lo que el presupuesto de la infraestructura aumenta enormemente.

Realizando una estimación rápida se puede observar cuanto presupuesto habría que invertir en la misma y cuanto porcentaje del total de la inversión pertenece a cada componente, por lo que en caso de necesidad de ajustar el presupuesto se puede reducir el número de servidores o sus prestaciones, buscando modelos de menos calidad.

Respecto a los servidores, se ha escogido un modelo con al menos 256 GB de memoria RAM y 2 núcleos por servidor para poder instalar en ellos varias máquinas virtuales y que el hipervisor y el orquestador que se instale en ellos puedan disponer de recursos

suficientes para realizar sus operaciones. Dependiendo de los requisitos de la empresa se podría optar por un modelo u otro, siempre pensando en la homogeneidad de la infraestructura para evitar problemas de carga en servidores antes fallos en los mismos.

En cuanto al cableado, es preferible completar el panel de parcheo desde el principio, para que así en ampliaciones futuras de la infraestructura solo sea necesario cablear las conexiones entre los dispositivos y estos paneles de parcheo. A ese cableado hay que añadir

Los ejemplos de componentes escogidos son orientativos, escogiendo elementos de los ejemplos citados en el apartado anterior del mismo trabajo. Si se quisiera ajustar el presupuesto, bastaría con realizar un análisis económico de lo que se estaría dispuesto a invertir en la instalación del hardware que se va a adquirir.

Componente	Nombre	Cantidad	Precio Unid	Total
Canalización cableado	Canalización de cables RS PRO de Acero Inoxidable 304 Gris, 50 mm x 50mm, long. 3m	10	277,27	2772,7
RACK	Bastidor rack APC ER6822, 48U	3	2147,75	6443,25
Panel de parcheo cobre	Panel de conexión, Patch Panel RS PRO, 24 puertos, RJ45, 1U, Negro	4	61,08	244,32
Panel de parcheo fibra	Patch Panel de fibra óptica, RS PRO, ST, 24 puertos, Modo Único, Rack de 1U	3	137,13	411,39
Metros ethernet Cat7 Panel de pa	Cable Ethernet Cat7 apantallado Phoenix Contact de color Azul, long. 100m	2	760,51	1521,02
Cables ethernet Cat6 Conexiones	Cable Ethernet Cat7 U/FTP Roline de color Blanco, long. 3m, funda de LSZH	72	8,02	577,44
Metros fibra Panel de parcheo	Cable de fibra óptica RS PRO OM1, con A: ST, con B: ST, long. 100m	2	211,79	423,58
Cables Fibra óptica Conexiones	Cable de fibra óptica StarTech.com OS2, con A: LC, con B: LC, long. 2m Amarillo	16	33,4	534,4
Alimentación eléctrica	Regleta de enchufes brennenstuhl Premium-Line, con interruptor, long. cable 3m, 10 tomas Tipo F	3	53,95	161,85
Servidor	PowerEdge R6625 Rack Server for HPC	4	11106,59	44426,4
SAN	FlashStation FS6400	1	13675	13675
Discos SAN	SSD SATA de 2,5 pulgadas serie Enterprise	24	320	7680
NAS	RackStation RS2821RP+	2	3455,9	6911,8
Discos NAS	HDD SATA de 3,5 pulgadas serie Enterprise	32	126	4032
Switch Cobre	Cisco C9200-24PXG-A	2	2550	5100
SAN Switch	Connectrix DS-6610B: hasta 24 puertos, 32 Gb/s máximo	1	2800	2800

Figura 45 - Presupuesto general de la infraestructura

Subtotal Cableado	13089,95	13%
Subtotal Servidores	44426,36	45%
Subtotal Almacenamiento	32298,8	33%
Subtotal Switches	7900	8%
Total	97715,11	100%

Figura 46 - Presupuesto por tipo de componente de la infraestructura

Dentro del presupuesto de la construcción de una infraestructura, hay que tener en cuenta las licencias del software que se quiere adquirir y los contratos de mantenimiento con las empresas suministradoras de hardware, por lo que antes de realizar una instalación de este tipo es recomendable tomar la decisión de si es necesaria la creación de una infraestructura de manera local o se pueden contratar soluciones de pago por uso.

Habría que añadir este presupuesto al total, ya que sistemas operativos como Windows Server o los hipervisores de VMWare tienen licencias que hay que adquirir para conseguir el máximo rendimiento de la instalación. Además, la instalación de toda la infraestructura y su puesta en marcha también tiene que ser tomada en cuenta a la hora de tomar esta decisión, siendo realizada por técnicos de la empresa o realizando una subcontratación a una empresa especializada en ello.

6. Relación de la virtualización con los objetivos de desarrollo sostenible

6.1. Introducción

En 2015 la Organización de las Naciones Unidas aprobó la Agenda 2030 sobre el desarrollo sostenible, una iniciativa para que países y organizaciones enfocaran sus objetivos locales de desarrollo hacia ciertas metas globales con el objetivo de mejorar la vida de todas las personas de la Tierra, para así poder afrontar los desafíos más urgentes que se enfrenta el planeta durante los próximos años, procurando realizarlos de manera sostenible, equitativa y próspera.

La principal característica que tienen es que son de carácter universal, lo que significa que son aplicables a todos los países sin importar su nivel de desarrollo por lo que son un compromiso global. Además, están interrelacionados entre sí, mejorar en un objetivo puede causar mejoras en otros por lo que su progreso está relacionado [78].

Estos objetivos se basan en progreso social, económico y ambiental, y están resumidos en la siguiente imagen:



Producido en colaboración con TROLLBÄCK & COMPANY | TheGlobalSustainableBank.com | +1 212 609 1010
Para cualquier duda sobre la utilización, por favor comuníquese con: dg@campagnelab.org

Figura 47 - Objetivos de Desarrollo Sostenible
Fuente: - [55]

Respecto a la tecnología de virtualización, los objetivos con los que más relación tiene son el 9 y el 12 debido a su naturaleza tecnológica e industrial.

6.2. Relación de la virtualización con el Objetivo 9 de Desarrollo Sostenible

El Objetivo de Desarrollo Sostenible 9 se centra en la Industria, innovación e infraestructura. Su propósito es construir infraestructuras de todo tipo pero que sean resilientes en el tiempo, para así promover una industrialización sostenible para fomentar una innovación continua.

Como se ha explicado en este trabajo, la tecnología de la virtualización puede ayudar a reducir el impacto medioambiental ya que por naturaleza está diseñada para optimizar el uso de recursos físicos como son los servidores, el almacenamiento o la red.

Al tener que desplegar muchos sistemas de información en una máquina física, se reduce proporcionalmente la cantidad de hardware necesario en una empresa, disminuyendo el uso energético y la generación de residuos electrónicos. Por ello, se fomenta así la industrialización sostenible y ecológica.

La virtualización también facilita la creación de entornos de prueba y simulación sin tener que invertir en infraestructura física cuando se quiere realizar este propósito. De este modo se puede mejorar la innovación de las empresas ya que se pueden crear entornos de desarrollo rápidamente y sin un gran coste de despliegue.

Además, la creación de infraestructuras escalables dentro de las empresas es más flexible gracias a los sistemas de virtualización. Disponiendo de una infraestructura escalable, se pueden hacer planes de crecimiento sostenible a lo largo del tiempo para no desperdiciar los recursos de la misma.

Por último, como esta tecnología está en constante crecimiento y los costos de implementación son cada vez menores, permite el acceso a recursos informáticos a una parte de la población que antes podía no disponer de ellos. Con herramientas como el escritorio remoto y la comercialización de servicios como IaaS, PaaS o SaaS, muchas pequeñas empresas, organizaciones o comunidades sin grandes capacidades de inversión pueden disponer de servicios tecnológicos sin ellos mismos tener que desplegar una infraestructura de virtualización.

6.3. Relación de la virtualización con el Objetivo 12 de Desarrollo Sostenible

El Objetivo de Desarrollo Sostenible 12 se focaliza en garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles minimizando el impacto medioambiental del consumo y la producción tratando además de promover el uso eficiente de los recursos del sistema y la reducción de residuos físicos.

El uso eficiente de los recursos, al igual que en el objetivo 9, es una de las bases de la tecnología de virtualización. El mismo argumento explicado anteriormente funciona para este objetivo sostenible.

Al reducir la dependencia con el hardware físico, la virtualización disminuye la producción de residuos electrónicos. Es importante afrontar este tema ya que estos residuos son uno de los grandes focos de este objetivo ya que son uno de los desechos que más rápido crece en el mundo, provocando contaminación si no se reciclan correctamente sus componentes.

La prolongación de la vida útil de los equipos a través de infraestructuras de virtualización puede ayudar a reducir el número de recursos que se desechen por parte de empresas y particulares.

Además, al poder disponer de plataformas de virtualización, las evoluciones en el software o en sistemas operativos se pueden desplegar sobre las mismas sin la necesidad de adquirir nuevos componentes, aumenta así la vida útil de los productos electrónicos de los que disponemos sin caer en prácticas de obsolescencia.

No solo ocurre con el software, sino también con el hardware. Al tener desplegados servidores físicos con una gran cantidad de recursos, ante necesidades de aumento de RAM o CPU se pueden sustituir estos componentes de manera progresiva sin la necesidad de adquirir un nuevo equipo completo.

La reducción de servidores físicos también ayuda a reducir las necesidades energéticas de las empresas, pero sí que es cierto que aparecen centros de datos donde se consumen grandes cantidades de energía por el gran número de dispositivos conectados a ellos y sus necesidades de refrigeración.

Optimizar los sistemas energéticos de estas plantas para que así no generen grandes cantidades de emisiones de gases de efecto invernadero es un punto importante a tratar en las empresas, como pudiera ser instalando placas solares o generadores eléctricos en vez de aquellos sostenidos por energías menos sostenibles.

6.4. Diferencia de consumo energético entre un servidor con y sin virtualización

La virtualización en servidores tiene un impacto positivo en el consumo energético ya que permite que múltiples máquinas virtuales se ejecuten en los mismos recursos de hardware.

En un servidor sin virtualización, como funciona como una máquina independiente con solo un sistema operativo, es complicado utilizar toda su capacidad de manera óptima ya que el servidor utiliza todos los recursos que dispone para él mismo. Desde el punto de vista energético, el servidor consume el 100% de la electricidad que le suministra

independientemente de su carga de trabajo, por lo que la relación entre la energía suministrada y la eficiencia de trabajo ofrecida es baja.

Además, para disponer de varias aplicaciones se suelen desplegar varios servidores físicos, por lo que la relación mencionada se reduce aún más si por cada aplicación se despliega un servidor físico. El espacio necesario para desplegar estos servidores es mayor, y por ello la energía necesaria para refrigerarlos también aumenta.

En cambio, con el despliegue de un servidor con herramientas de virtualización, se optimiza el uso de los recursos del sistema ya que el mismo servidor físico desplegado puede encargarse de administrar múltiples máquinas virtuales, lo que aumenta el uso del hardware del sistema. Por ello, aunque el servidor siga consumiendo el 100% de la energía suministrada, esta carga se reparte entre las máquinas virtuales que se estén ejecutando en él, por lo que el rendimiento del conjunto aumenta.

Respecto a la utilización de servidores físicos, en este caso de usar un entorno virtualizado se reduce el inventario de los mismos, consiguiendo optimizar el espacio y reducir por ello los costes de refrigeración de la sala donde estén alojados.

Por estas razones, el uso de un entorno virtualizado ante uno sin él mejora la escalabilidad y la eficiencia de la infraestructura.

Por ejemplo, un servidor Lenovo SR590 consume de media entre 550W y 750W. Instalando un sistema operativo directamente sobre ese servidor, consumirá el 100% de energía suministrada pero los recursos como CPU y RAM podrán estar infrutilizados ya que el servidor suele estar sobredimensionado para recursos totales que administra. En una infraestructura con más servidores sin virtualizar, por ejemplo 10, esta carga subirá a 5500W-7500W.

En cambio, añadiendo virtualización al sistema, suponiendo que cada servidor pueda alojar 4 máquinas virtuales para que así dispongan de recursos suficientes ante situaciones de carga de trabajo puntual, con 3 servidores físicos con herramientas de virtualización instaladas se podría dar servicio a la infraestructura, reduciendo el consumo a valores de entre 1650W o 2250W.

7. Conclusiones

Este trabajo ha intentado resumir todos los participantes de los sistemas de virtualización para así poder comprender por qué es una tecnología que ha sido fundamental en el desarrollo tecnológico de los últimos 40 años.

Desde la expansión de Internet desde los inicios de los años 2000, la tecnología de la virtualización ha experimentado una evolución constante ante las necesidades del mercado y muchos proveedores tecnológicos tradicionales crecieron debido a ello.

Tras ello, muchas empresas se interesaron en el mercado y provocó un crecimiento de los servidores que se impulsó ante los inicios de la computación en la nube. La creación de centros de datos provocó que se consolidaran muchos fabricantes y dominasen los mercados, y la eficiencia de los componentes tanto hardware como software aumentara.

Estos últimos años, con el interés de las empresas por la transformación digital y la IA, ha provocado que sea una tecnología robusta con una gran importancia dentro del mercado tecnológico, y la evolución del mismo vendrá dado por los intereses en infraestructura digital y renovación de la misma, provocando la consolidación de las empresas que participan en él.

Como se ha podido ver, estas empresas participan en la evolución del mismo y las tendencias actuales pasan por una migración de los sistemas físicos instalados en las empresas hacia infraestructuras en nube.

Es un trabajo costoso, pero libera a las empresas de mantenimiento de equipos y soporte informático local, pero no hay que olvidar que los datos serán almacenados en sistemas externos y pueden ser comprometidos.

Por ello, cada empresa debe buscar el equilibrio entre las soluciones locales y las ofrecidas por empresas como Google, AMW o Microsoft.

Las líneas futuras de este trabajo pueden pasar por implementar distintos tipos de sistemas operativos en diferentes infraestructuras y analizar con ello el rendimiento. Para ello hay que seleccionar aplicaciones concretas y someterlas a test de esfuerzo para ver cómo se comportan en diferentes entornos virtualizados.

8. Referencias

- [1] *Virtualization Software Market Size, Share, Trends, Growth Outlook*. (2023, octubre). usdanalytics. <https://www.usdanalytics.com/industry-reports/virtualization-software-market>
- [2] *GVR Report cover Data Center Virtualization Market Size, Share & Trends Analysis Report By Type (Server, Storage), By Component (Software, Services), By Organization Size (SMEs), By Service, By End-use, By Region, And Segment Forecasts, 2023 - 2030*. (2023). Grandviewresearch. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/data-center-virtualization-market-report>
- [3] *¿Qué es la virtualización?* | IBM. (s. f.). <https://www.ibm.com/es-es/topics/virtualization>
- [4] *¿Qué es la virtualización? - Explicación de la virtualización de la computación en la nube - AWS*. (s. f.). Amazon Web Services, Inc. <https://aws.amazon.com/es/what-is/virtualization/>
- [5] Executrain. (2021, 24 septiembre). *Emulación o virtualización ¿Qué es qué?* Executrain. <https://executrain.com.mx/emulacion-o-virtualizacion-que-es-que/>
- [6] *How did the term «hypervisor» come into use?* (s. f.). Software Engineering Stack Exchange. <https://softwareengineering.stackexchange.com/questions/196405/how-did-the-term-hypervisor-come-into-use>
- [7] MacPherson, J. (2023, 13 abril). *What Is a Hypervisor? – Types, Benefits & How Does It Work?* Park Place Technologies. <https://www.parkplacetechnologies.com/blog/what-is-hypervisor-types-benefits/>
- [8] *What are microservices?* | IBM. (s. f.). <https://www.ibm.com/topics/microservices>
- [9] Sharma, M. (2024, 2 enero). Introduction to Virtualization - Mohit Sharma - Medium. *Medium*. <https://mohitdtumce.medium.com/introduction-to-virtualization-3ac306d955b0>
- [10] Dittner, R., & Rule, D. (2007). *The Best Damn Server Virtualization Book Period: Including Vmware, Xen, and Microsoft Virtual Server*.
- [11] Popek, G. J., & Goldberg, R. P. (1974). Formal requirements for virtualizable third generation architectures. *Communications Of The ACM*, 17(7), 412-421.
- [12] Nigam, N. (2023, 23 septiembre). Delving into Bell and Whistle of Virtualization (Part 5). *Medium*. <https://medium.com/@a2zlearningzone/delving-into-bell-and-whistle-of-virtualization-part-5-5855860144e>
- [13] GeeksforGeeks. (2021, 25 agosto). *Virtualization VMware full virtualization*. GeeksforGeeks. <https://www.geeksforgeeks.org/virtualization-vmware-full-virtualization/>
- [14] VMWare. (2007, 16 noviembre). *White Paper: Understanding Full Virtualization, Paravirtualization, and Hardware Assist*. [blogs.vmware.com. https://blogs.vmware.com/vmtn/2007/11/white-paper-und.html](https://blogs.vmware.com/vmtn/2007/11/white-paper-und.html)
- [15] GeeksforGeeks. (2024, 30 julio). *Virtual Memory in Operating System*. GeeksforGeeks. <https://www.geeksforgeeks.org/virtual-memory-in-operating-system/>

- [16] *Virtual memory - Memory and storage - OCR - GCSE Computer Science Revision - OCR - BBC Bitesize.* (2024, 12 mayo). BBC Bitesize. <https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/zd4r97h/revision/4>
- [17] VMware. (s. f.). *VSphere Resource Management.* DocsVMWare. <https://docs.vmware.com/en/VMware-vSphere/7.0/vsphere-esxi-vcenter-server-703-resource-management-guide.pdf>
- [18] Arminderkaur. (2024, 26 junio). *What is vNIC virtualized NIC.* TELCOMA Training & Certifications. <https://telcomatraining.com/what-is-vnic-virtualized-nic/>
- [19] *Virtual NICs: The Heart of Network I/O Virtualization - Alibaba Cloud.* (s. f.). https://www.alibabacloud.com/tech-news/a/i/o_virtualization/gunqxpafh2-virtual-nics-the-heart-of-network-io-virtualization
- [20] HPE. (s. f.). *What is virtualization?* hpe.com. https://www.hpe.com/emea_europe/en/what-is/virtualization.html
- [21] HPE. (s. f.-a). *What is Block Storage?* HPE.com. https://www.hpe.com/emea_europe/en/what-is/block-storage.html
- [22] Daisy. (2024, 11 enero). *What is a LUN? Logical unit number explained.* EaseUS. <https://www.easeus.com/knowledge-center/logical-unit-number.html>
- [23] *Aprende sobre RAID y sus conceptos básicos.* (s. f.). Crucial. <https://www.crucial.es/support/articles-faq-ssd/basics-raid>
- [24] *What is Network Virtualization? | VMware Glossary.* (s. f.). <https://www.vmware.com/topics/network-virtualization>
- [25] English, J. (2022, 9 junio). *What is network virtualization? Everything you need to know.* Networking. <https://www.techtarget.com/searchnetworking/What-is-network-virtualization-Everything-you-need-to-know>
- [26] *¿Qué es la virtualización de escritorio? | IBM.* (s. f.). <https://www.ibm.com/es-es/topics/desktop-virtualization>
- [27] Muñoz, S. (2019, 24 octubre). *The history of virtualization and its mark on data center management.* IT Operations. <https://www.techtarget.com/searchitoperations/feature/The-history-of-virtualization-and-its-mark-on-data-center-management>
- [28] Hashemi-Pour, C., Brush, K., & Kirsch, B. (2024, 5 junio). *virtualization.* IT Operations. <https://www.techtarget.com/searchitoperations/definition/virtualization>
- [29] Heiser, G. (2008). *The role of virtualization in embedded systems.* <https://doi.org/10.1145/1435458.1435461>
- [30] Creasy, R. J. (1981). *The Origin of the VM/370 Time-Sharing System.* *IBM Journal Of Research And Development*, 25(5), 483-490. <https://doi.org/10.1147/rd.255.0483>
- [31] Jim Elliott. (s. f.). *50 Years of Mainframe Virtualization CP/40 to z/VM.* vmworkshop.org. <http://www.vmworkshop.org/pres2017/50years.pdf>
- [32] Goldberg, R. P. (1973). *Architectural Principles for Virtual Computer Systems.* <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/772809.pdf>

- [33] *Virtualization Internals Part 1 - Intro to Virtualization*. (2018, 12 diciembre). Saferwall. <https://docs.saferwall.com/blog/virtualization-internals-part-1-intro-to-virtualization/>
- [34] Mell, E. (2023, 20 enero). *The evolution of containers: Docker, Kubernetes and the future*. IT Operations. <https://www.techtarget.com/searchitoperations/feature/Dive-into-the-decades-long-history-of-container-technology>
- [35] Roundy, J. (2023, 11 diciembre). *Dive into the history of server hardware*. Data Center. <https://www.techtarget.com/searchdatacenter/feature/Dive-into-the-history-of-server-hardware>
- [36] Nakivo. (2024, 15 abril). *History of VMware: Evolution Timeline - NAKIVO* - Medium. *Medium*. <https://nakivo.medium.com/history-of-vmware-evolution-timeline-6173482c6d21>
- [37] Awati, R. (2022, 22 febrero). *VMKernel*. SearchVMware. <https://www.techtarget.com/searchvmware/definition/VMkernel>
- [38] *The Birth of Xen: A Journey from XenServers to Cloud Virtualization*. (s. f.). XenServer. <https://www.xenserver.com/story>
- [39] Xen and the art of virtualization. (2003). En *www.cl.cam.ac.uk* (University of Cambridge Computer Laboratory). <https://www.cl.cam.ac.uk/research/srg/netos/papers/2003-xensosp.pdf>
- [40] *The IBM PC*. (s. f.). <https://www.ibm.com/history/personal-computer>
- [41] *¿Qué es KVM?* (s. f.). <https://www.redhat.com/es/topics/virtualization/what-is-KVM>
- [42] Wikipedia contributors. (2024b, agosto 21). *Hyper-V*. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Hyper-V>
- [43] *Beginners Guide to Server Racks*. (s. f.). Raising Electronics. <https://risingracks.com/blog/beginners-guide-to-server-racks/>
- [44] Rosoff, J. (2020, 15 septiembre). *Project Pacific - Technical Overview - VMware vSphere blog*. VMware vSphere Blog. <https://blogs.vmware.com/vsphere/2019/08/project-pacific-technical-overview.html>
- [45] *Proyecto Pacific – Generalidades*. (2023, 19 abril). VirtualizationAge. <https://virtualizationage.wordpress.com/2019/12/31/proyecto-pacific-generalidades/>
- [46] *Qué es VMware vSphere Bitfusion*. (s. f.). <https://docs.vmware.com/es/VMware-vSphere-Bitfusion/4.0/Install-Guide/GUID-6F08501B-F3CB-4032-939C-EACEC0605FE1.html>
- [47] Valero, J. (2024, 21 marzo). *¿Qué es Google Compute Engine?* *Beservices*. <https://blog.beservices.es/blog/google-cloud-platform-que-es-google-compute-engine>
- [48] *What is AWS Outposts? - AWS Outposts*. (s. f.). <https://docs.aws.amazon.com/outposts/latest/userguide/what-is-outposts.html>
- [49] Firecracker-Microvm. (s. f.). *GitHub - firecracker-microvm/firecracker: Secure and fast microVMs for serverless computing*. GitHub. <https://github.com/firecracker-microvm/firecracker>
- [50] *Firecracker – Lightweight Virtualization for Serverless Computing | Amazon Web Services*. (2022, 3 noviembre). Amazon Web Services. <https://aws.amazon.com/es/blogs/aws/firecracker-lightweight-virtualization-for-serverless-computing/>

- [51] *Descripción general de VMware Tanzu*. (2024, 16 mayo). https://docs.netapp.com/es-es/netapp-solutions/containers/vtwn_overview_vmware_tanzu.html
- [52] *The 2020 State of Virtualization Technology - Marketing*. (2024, 11 marzo). Marketing. <https://www.spiceworks.com/sw-marketing/reports/state-of-virtualization/>
- [53] *¿Qué es IaaS?* (s. f.). [azure.microsoft.com](https://azure.microsoft.com/es-es/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-iaas). <https://azure.microsoft.com/es-es/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-iaas>
- [54] Robb, D. (2022, 26 junio). *5 Top Server Virtualization Trends in 2022 | Enterprise Storage Forum*. Enterprise Storage Forum. <https://www.enterprisestorageforum.com/hardware/server-virtualization-trends/>
- [55] *Understanding Server Rack Needs Based on Units*. (2014). Racksolutions. <https://www.racksolutions.eu/news/data-center-trends/understanding-server-rack-needs-based-on-units/>
- [56] *Rack Unit Converter: How To Convert Rack "U" Height*. (2022, 20 abril). <https://www.racksolutions.eu/news/blog/rack-unit-converter-how-to-convert-rack-u-height/>
- [57] AddOn Networks. (s. f.). *Choose the Right Data Center Server Rack Size*. <https://www.addonnetworks.com/solutions/insights/choose-the-right-data-center-server-rack-size>
- [58] Hingley, M., & Hingley, M. (2024, 7 mayo). *Server market 2023 – a virtualized, x86, Windows driven world - ITCandor*. ITCandor - *Information Technology and Communications research*. <https://www.itcandor.com/server-2023/>
- [59] Market Research Future. (s. f.). *Servers Market Size, Industry growth 2032*. <https://www.marketresearchfuture.com/reports/servers-market-16189>
- [60] *Server Market Size & Outlook, 2030*. (2024). <https://www.grandviewresearch.com/horizon/outlook/server-market-size/global>
- [61] *Server Market Size, Share, & Trends Analysis Report by product, by enterprise size (Micro, Small, Medium, Large size), by channel, by end-use, by region, and segment Forecasts, 2024 - 2030*. (s. f.). <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/server-market>
- [62] *The 10 Largest Server Companies Powering the Digital World*. (2024). History Tools. <https://www.historytools.org/companies/largest-server-companies-in-the-world-and-what-they-do>
- [63] *Worldwide Ethernet Switch Market Delivered Robust Growth in 2023 While the Router Market Saw a Slight Decline, according to IDC Trackers*. (s. f.). IDC: The Premier Global Market Intelligence Company. <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS51948824>
- [64] *IDC's Worldwide Quarterly Ethernet Switch Tracker Shows Strong Market Growth Continuing in First Quarter of 2023*. (s. f.). IDC: The Premier Global Market Intelligence Company. <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS50865023>
- [65] *Ethernet Switch Market Size, Share and Forecast to 2030*. (s. f.). Spherical Insights. <https://www.sphericalinsights.com/reports/ethernet-switch-market>
- [66] Gujar, S., & Ugale, S. (8400). *Ethernet Switch market size, by speed (1G, 10G, 25G, 40G, 100G, others), by type (Modular Ethernet Switches, Fixed configuration Ethernet switches) by*

configuration (Unmanaged, Smart, Managed L2, Managed L3, divided) Forecast 2024 - 2032. En *Global Market Insights Inc.* <https://www.gminsights.com/industry-analysis/ethernet-switch-market>

[67] Consegic Business Intelligence. (2024, 21 agosto). *Ethernet Switch Market - Size, Share & Forecast 2023-2030*. <https://www.consegicbusinessintelligence.com/ethernet-switch-market>

[68] Maximize Market Research Pvt Ltd. (2024, 21 junio). *Ethernet Cable Market- Industry Analysis and Forecast (2024-2030)*. MAXIMIZE MARKET RESEARCH. <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/ethernet-cable-market/66964/>

[69] Moris. (s. f.). *Fiber Connector Types, What's the Difference? | FS Community*. Knowledge. <https://community.fs.com/article/four-types-connectors-of-fiber-optic-patch-cable.html>

[70] Elad, B. (2024, 14 mayo). Network Attached Storage (NAS) Statistics 2024 and Facts. *Cooler Gadgets*. <https://www.cooler-gadgets.com/network-attached-storage-nas-statistics>

[71] DataDrivenInsights. (2023, 1 septiembre). *2023 Global SAN Switches Market Share, Demand, and SWOT: 2030 Outlook*. <https://www.linkedin.com/pulse/2023-global-san-switches-market-share-demand-swot>

[72] Adshead, A. (2023, 21 diciembre). *Storage suppliers' market share and strategy 2023*. ComputerWeekly.com. <https://www.computerweekly.com/feature/Storage-suppliers-market-share-and-strategy-2023>

[73] Allied Market Research, <https://www.alliedmarketresearch.com/>. (s. f.). *Mainframe Market Size, Share, Competitive Landscape and Trend Analysis Report, by Type, by End User: Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2023-2032*. Allied Market Research. <https://www.alliedmarketresearch.com/mainframe-market>

[74] Allied Market Research, <https://www.alliedmarketresearch.com/>. (s. f.-b). *Storage Area Network (SAN) Market Size, Share, Competitive Landscape and Trend Analysis Report, by Technology, by Type, by Component, by Industry Vertical: Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2023-2032*. Allied Market Research. <https://www.alliedmarketresearch.com/storage-area-network-market-A48037>

[75] *Network Attached Storage Market size, share, industry, Top companies 2022 - 2030*. (s. f.). MarketsandMarkets. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/network-attached-storage-market-35395533.html>

[76] *Broadcom. – Support Portal*. (s. f.). <https://support.broadcom.com/group/ecx/productdownloads?subfamily=VMware%20Workstation%20Pro>

[77] *Downloads – Oracle VM VirtualBox*. (s. f.). <https://www.virtualbox.org/wiki/Downloads>

[78] Gamez, M. J. (2024, 2 agosto). *Portada - Desarrollo sostenible*. Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

9. Referencias – Componentes comerciales

[CC1] <https://www.dell.com/es-es/shop/scc/sc/servers#portfolio>

[CC2] <https://www.hpe.com/psnow/doc/a00120421enw>

[CC3] <https://www.hpcwire.com/off-the-wire/inspur-information-releases-a6-server-portfolio-supporting-amd-epyc-milan-processors/>

[CC4] <https://en.inspur.com/en/2822489/index.html>

[CC5] <https://lenovopress.lenovo.com/lp1553-lenovo-servers-and-storage-portfolio-guide>

[CC6] <https://www.supermicro.com/en/>

[CC7] <https://e.huawei.com/es/material/datacenter/server/3e817687a42e43aa80469fb18bf440fd>

[CC8] <https://www.cisco.com/site/us/en/products/computing/servers-unified-computing-systems/index.html>

[CC9] <https://www.ibm.com/power>

[CC10] <https://www.cisco.com/c/en/us/products/switches/product-listing.html>

[CC11] <https://e.huawei.com/es/products/switches>

[CC12] <https://www.synology.com/es-es/products>

[CC13] <https://www.qnap.com/en/product>

[CC14] <https://www.westerndigital.com/es-es/products/product-portfolio>

[CC15] <https://www.dell.com/en-us/dt/learn/data-storage/san-storage.htm>

[CC16] <https://www.hpe.com/es/es/storage/entry-level.html>

[CC17] <https://www.ibm.com/es-es/storage-area-network>

[CC18] <https://www.netapp.com/es/products-a-z/>

10. Referencias – Presupuesto Caso de Uso

Componente	Referencia
Canalización cableado	https://es.rs-online.com/web/p/canalizaciones-para-cables/4711647
RACK	https://es.rs-online.com/web/p/bastidores-racks/2387199?gb=s
Panel de parcheo cobre	https://es.rs-online.com/web/p/paneles-de-conexiones-rj/2010581?gb=s
Panel de parcheo fibra	https://es.rs-online.com/web/p/paneles-de-conexiones-de-fibra-optica/1258406?gb=s
Metros ethernet Cat7 Panel de parcheo	https://es.rs-online.com/web/p/cables-ethernet/2532314?gb=s
Cables ethernet Cat6 Conexiones	https://es.rs-online.com/web/p/cables-ethernet/2660714?gb=s
Metros fibra Panel de parcheo	https://es.rs-online.com/web/p/cables-de-fibra-optica/0135553?gb=s
Cables Fibra óptica Conexiones	https://es.rs-online.com/web/p/cables-de-fibra-optica/2873397?gb=s
Alimentación eléctrica	https://es.rs-online.com/web/p/bases-multiples-enrollacables-y-prolongadores/7685403?gb=s
Servidor	https://www.dell.com/es-es/shop/servidores-almacenamiento-y-redes/smart-selection-poweredge-r6625-rack-server-for-hpc/spd/powerededge-r6625/per6625hpc
SAN	https://www.synology.com/es-es/products/FS6400
Discos SAN	https://www.synology.com/es-es/products/drives/ssd/enterprise-sat
NAS	https://www.synology.com/es-es/products/RS2821RP+
Discos NAS	https://www.synology.com/es-es/products/drives/hdd/enterprise-hat
Switch Cobre	https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/catalyst-9200-series-switches/nb-06-cat9200-ser-data-sheet-cte-en.html
SAN Switch	https://www.dell.com/es-es/dt/storage/connectrix/connectrix-switches.htm#